

## **TUGAS AKHIR**

**ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN  
FONDASI TIANG BOR MENGGUNAKAN DATA SPT  
PADA PROYEK RENOVASI PASAR TERBAN  
DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA  
(*ANALYSIS OF BEARING CAPACITY AND  
SETTLEMENT OF BORED PILE FOUNDATIONS AT  
PROYEK RENOVASI PASAR TERBAN DAERAH  
ISTIMEWA YOGYAKARTA*)**

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



**Marfa Lena Sangkala  
22511184**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
PROGRAM SARJANA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2026**

## TUGAS AKHIR

# ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI TIANG BOR MENGGUNAKAN DATA SPT PADA PROYEK RENOVASI PASAR TERBAN DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA (*ANALYSIS OF BEARING CAPACITY AND SETTLEMENT OF BORED PILE FOUNDATIONS AT PROYEK RENOVASI PASAR TERBAN DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA*)

Disusun Oleh

**Marfa Lena Sangkala**  
22511184

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

Diuji pada tanggal 08 Juli 2026

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Penguji I

Penguji II

Dr. Ir. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T.

NIK: 045110407

Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng.

NIK: 215111305

Ir. Muhammad Irfan Marasabessy, S.T., M.T.

NIK: 245110502

Mengesahkan,

Plt. Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dinia Anggraheni, S.T., M. Eng

NIK: 165110105

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan 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, 08 Juli 2026

Yang membuat pernyataan,



Marfa Lena Sangkala  
(22511184)

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur yang tidak henti-hentinya saya panjatkan kepada ALLAH SWT atas segala limpahan rahmat-Nya, sehingga Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Bor Menggunakan Data SPT pada Proyek Renovasi Pasar Teban Daerah Istimewa Yogyakarta* dapat saya selesaikan, Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik dalam Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia untuk mendapatkan gelar sarjana strata satu.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, saya banyak mendapatkan bantuan, arahan, bimbingan, serta kritik dan saran sehingga saya dapat menyelesaikan laporan ini dengan hasil yang baik, Dengan ini, saya sebagai penulis laporan ini ingin menyampaikan terima kasih saya kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Hanindya Kusuma Artati, S. T., M.T. Selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan bimbingan dan arahan dengan penuh kesabaran,
2. Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. Selaku Dosen Penguji I,
3. Bapak Ir Muhammad Irfan Marasabessy, S.T., M.T. Selaku Dosen Penguji II,
4. Balai Prasarana dan Permukiman Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta,
5. Bapak Irwan Sangkala dan Ibu Santi Komala selaku kedua orang tua tercinta penulis, yang dengan penuh kasih sayang senantiasa mencurahkan doa, motivasi, dan dukungan tanpa henti sehingga laporan ini dapat terselesaikan dengan baik,
6. Fawwaz Dwi Alista dan Malka Syarief Firdaus, selaku kedua adik tersayang penulis yang kehadirannya selalu menjadi sumber semangat dan pengingat bahwa setiap perjuangan ini memiliki makna yang jauh lebih besar,
7. Fanzza Dwinandatyan Reynata Nugraha, yang dengan setia menemani penulis dan menjadi *support system* yang paling berarti selama proses penyusunan laporan ini,

8. Noona, Dumboo, dan Kyro, selaku kucing-kucing kesayangan penulis yang selalu memberikan ketenangan tersendiri bagi penulis dalam menyusun laporan ini,
9. Aurora Indri Yuristiara, Nisya Indriyani, dan keluarga "Jotos" (Ika Nur Fatma Sholiha Lubis, Helga Natura Khalida, Firda Maulidiah Sari, Achmad Al Revanza Nugraha, Febriansyah Fajar Sidiq, Syahrul Ramadhan Rahman) selaku sahabat-sahabat penulis yang selalu menghadirkan kebahagiaan serta telah menjadi tempat berbagi keluh kesah selama menjalani masa studi hingga akhirnya laporan ini dapat terselesaikan,
10. Semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Yogyakarta, 08 Juli 2026



Yang Membuat Pernyataan,

Marfa Lena Sangkala  
(22511184)

## DAFTAR ISI

|                                                  |       |
|--------------------------------------------------|-------|
| HALAMAN JUDUL                                    | i     |
| HALAMAN PENGESAHAN                               | ii    |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI                        | ii    |
| KATA PENGANTAR                                   | iv    |
| DAFTAR ISI                                       | vi    |
| DAFTAR GAMBAR                                    | x     |
| DAFTAR TABEL                                     | xiv   |
| DAFTAR LAMPIRAN                                  | xvii  |
| DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN                      | xviii |
| ABSTRAK                                          | xxi   |
| ABSTRACT                                         | xxii  |
| BAB 1 PENDAHULUAN                                | 1     |
| 1.1 Latar Belakang                               | 1     |
| 1.2 Rumusan Masalah                              | 2     |
| 1.3 Tujuan Penelitian                            | 2     |
| 1.4 Manfaat Penelitian                           | 2     |
| 1.5 Batasan Masalah                              | 3     |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA                          | 4     |
| 2.1 Umum                                         | 4     |
| 2.2 Analisis Fondasi <i>Bored pile</i>           | 4     |
| 2.2.1 Kapasitas Dukung Fondasi <i>Bored Pile</i> | 4     |
| 2.2.2 Penurunan Fondasi <i>Bored Pile</i>        | 6     |
| 2.2.3 Analisis Fondasi Menggunakan PLAXIS 2D     | 7     |

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| BAB III LANDASAN TEORI                           | 13 |
| 3.1 Tanah                                        | 13 |
| 3.1.1 Klasifikasi Tanah                          | 14 |
| 3.2 Penyelidikan Tanah                           | 17 |
| 3.2.1 <i>Standard Penetration Test</i> (SPT)     | 18 |
| 3.3 Analisis Pembebanan                          | 21 |
| 3.3.1 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko | 21 |
| 3.3.2 Kelas Situs                                | 23 |
| 3.3.3 Parameter Percepatan Perpetakan            | 24 |
| 3.4 Fondasi Tiang Bor ( <i>Bored Pile</i> )      | 30 |
| 3.5 Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor           | 30 |
| 3.5.1 Kapasitas Dukung Tiang Tunggal             | 31 |
| 3.5.2 Kapasitas Dukung Tiang Kelompok            | 36 |
| 3.6 Penurunan                                    | 39 |
| 3.6.1 Penurunan tiang tunggal                    | 39 |
| 3.6.2 Penurunan Kelompok tiang                   | 41 |
| 3.7 <i>Software</i> Plaxis 2D                    | 42 |
| BAB IV METODE PENELITIAN                         | 44 |
| 4.1 Metode Penelitian                            | 44 |
| 4.2 Studi Pustaka                                | 44 |
| 4.3 Lokasi Penelitian                            | 45 |
| 4.4 Pengumpulan Data                             | 45 |
| 4.5 Analisis Fondasi <i>Bored Pile</i>           | 48 |
| 4.6 Bagan Alir                                   | 48 |
| BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN                    | 51 |

|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| 5.1 Data Proyek                                        | 51  |
| 5.1.1 Data Umum                                        | 52  |
| 5.1.2 Spesifikasi Material                             | 52  |
| 5.1.3 Denah konstruksi                                 | 52  |
| 5.1.4 Data Struktur                                    | 54  |
| 5.2 Pembebanan Struktur                                | 54  |
| 5.2.1 Peraturan Pembebanan                             | 54  |
| 5.2.2 Kombinasi Pembebanan                             | 55  |
| 5.2.3 Penentuan gaya gempa struktur                    | 56  |
| 5.2.4 <i>Output</i> ETABS                              | 60  |
| 5.3 Data Tanah                                         | 62  |
| 5.4 Desain Pondasi Bor Dengan Data SPT                 | 63  |
| 5.3.1 Daya Dukung Tiang Tunggal Metode Mayerhof        | 64  |
| 5.3.2 Daya Dukung Tiang Tunggal Metode Reese & Wright  | 81  |
| 5.4 Daya Dukung Tiang Kelompok                         | 96  |
| 5.4.1 Daya Dukung Tiang Kelompok Metode Mayerhof       | 96  |
| 5.4.2 Daya Dukung Tiang Kelompok Metode Reese & Wright | 109 |
| 5.5 Distribusi Beban Elastis                           | 122 |
| 5.5.1 Distribusi Beban Elastis Metode Mayerhoff        | 122 |
| 5.5.2 Distribusi Beban Elastis Metode Reese & Wright   | 137 |
| 5.6 Penurunan                                          | 152 |
| 5.5.1 Penurunan Tiang Tunggal                          | 152 |
| 5.6.2 Penurunan Tiang Kelompok                         | 164 |
| 5.7 Analisis Pondasi Menggunakan PLAXIS 2D             | 170 |
| 5.7.1 <i>Input Soil Properties</i>                     | 170 |

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.7.2 <i>Output</i> Penurunan Tiang                                  | 174 |
| 5.7.3 Faktor Kemanan                                                 | 187 |
| 5.8 Pembahasan                                                       | 188 |
| 5.8.1 Hasil Analisis Struktur Atas Menggunakan <i>Software</i> ETABS | 189 |
| 5.8.2 Analisis Perbandingan Kapasitas Dukung Tiang Tunggal           | 189 |
| 5.8.3 Analisis Perbandingan Kapasitas Dukung Tiang Kelompok          | 197 |
| 5.8.4 Analisis Perbandingan Penurunan Fondasi Tiang Bor              | 202 |
| BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN                                          | 210 |
| 6.1 Kesimpulan                                                       | 210 |
| 6.2 Saran                                                            | 212 |
| DAFTAR PUSTAKA                                                       | 213 |
| LAMPIRAN                                                             | 215 |

## DAFTAR GAMBAR

|             |                                                        |     |
|-------------|--------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 3.1  | Hubungan nilai SPT, $\phi$ dan faktor kapasitas dukung | 19  |
| Gambar 3.2  | Parameter Gerak Tanah Periode Pendek                   | 24  |
| Gambar 3.3  | Parameter Gerak Tanah Periode 1 Detik                  | 24  |
| Gambar 3.4  | Grafik Korelasi $q_p$ dan $N_{spt}$                    | 32  |
| Gambar 4.1  | Lokasi penelitian                                      | 45  |
| Gambar 4.2  | Denah Fondasi Tiang Bor                                | 46  |
| Gambar 4.3  | Detail Fondasi Tiang Bor                               | 47  |
| Gambar 4.4  | Lokasi Pengujian CPT dan SPT                           | 48  |
| Gambar 4.5  | Bagan Alir Metode Penelitian Tugas Akhir               | 49  |
| Gambar 4.6  | Bagan Alir Program Plaxis 2D                           | 50  |
| Gambar 5.1  | Lokasi Penelitian dan Titik Pengujian SPT              | 51  |
| Gambar 5.2  | Denah <i>Pilecap</i>                                   | 53  |
| Gambar 5.3  | Denah Balok                                            | 53  |
| Gambar 5.4  | Kombinasi Pembebanan ETABS                             | 55  |
| Gambar 5.5  | Grafik Respon Spektra                                  | 58  |
| Gambar 5.6  | Hasil Analisis Struktur Atas ETABS                     | 60  |
| Gambar 5.7  | <i>Joint</i> yang Ditinjau                             | 61  |
| Gambar 5.8  | <i>Design</i> Permodelan Beban Pada Pondasi Tiang Bor  | 64  |
| Gambar 5.9  | Susunan 3 Tiang Diameter 0,6 Label 123                 | 122 |
| Gambar 5.10 | Susunan 2 Tiang Diameter 0,6 Label 143                 | 125 |
| Gambar 5.11 | Susunan 4 Tiang Diameter 0,5 Label 123                 | 127 |
| Gambar 5.12 | Susunan 2 Tiang Diameter 0,5 Label 143                 | 130 |
| Gambar 5.13 | Susunan 2 Tiang Diameter 0,8 Label 123                 | 132 |
| Gambar 5.14 | Susunan 2 Tiang Diameter 0,8 Label 143                 | 135 |
| Gambar 5.15 | Susunan 3 Tiang Diameter 0,6 Label 123                 | 137 |
| Gambar 5.16 | Susunan 2 Tiang Diameter 0,6 Label 143                 | 140 |
| Gambar 5.17 | Susunan 4 Tiang Diameter 0,5 Label 123                 | 142 |
| Gambar 5.18 | Susunan 2 Tiang Diameter 0,5 Label 143                 | 145 |

|              |                                                        |     |
|--------------|--------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 5.19  | Susunan 2 Tiang Diameter 0,8 Label 123                 | 147 |
| Gambar 5.20  | Susunan 2 Tiang Diameter 0,8 Label 143                 | 150 |
| Gambar 5.21  | Tabel <i>Input Soil Properties</i> Plaxis 2D (Lapis 1) | 172 |
| Gambar 5.22  | Tabel <i>Input Soil Properties</i> Plaxis 2D (Lapis 2) | 172 |
| Gambar 5.23  | Tabel <i>Input Soil Properties</i> Plaxis 2D (Lapis 3) | 173 |
| Gambar 5.24  | Pemodelan Lapis Tanah Pada Plaxis 2D                   | 173 |
| Gambar 5.25  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,6 m (BH 3) 123               | 174 |
| Gambar 5.26  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,6 m (BH 3) 143               | 175 |
| Gambar 5.27  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,5 m (BH 3) 123               | 175 |
| Gambar 5.28  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,5 m (BH 3) 143               | 176 |
| Gambar 5.29  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,8 m (BH 3) 123               | 176 |
| Gambar 5.30  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,8 m (BH 3) 143               | 177 |
| Gambar 5, 31 | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,6 m (BH 4) 123               | 177 |
| Gambar 5.32  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,6 m (BH 4) 143               | 178 |
| Gambar 5.33  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,5 m (BH 4) 123               | 178 |
| Gambar 5.34  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,5 m (BH 4) 143               | 179 |
| Gambar 5.35  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,8 m (BH 4) 123               | 179 |
| Gambar 5.36  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,8 m (BH 4) 143               | 180 |
| Gambar 5.37  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,6 m (BH 3) 123               | 180 |
| Gambar 5.38  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,6 m (BH 3) 143               | 181 |
| Gambar 5.39  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,5 m (BH 3) 123               | 181 |
| Gambar 5.40  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,5 m (BH 3) 143               | 182 |
| Gambar 5.41  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,8 m (BH 3) 123               | 182 |
| Gambar 5.42  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,8 m (BH 3) 143               | 183 |
| Gambar 5.43  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,6 m (BH 4) 123               | 183 |
| Gambar 5.44  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,6 m (BH 4) 143               | 184 |
| Gambar 5.45  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,5 m (BH 4) 123               | 184 |
| Gambar 5.46  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,5 m (BH 4) 143               | 185 |
| Gambar 5.47  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,8 m (BH 4) 123               | 185 |
| Gambar 5.48  | <i>Output</i> Plaxis 2D 0,8 m (BH 4) 143               | 186 |

|             |                                                                                                         |           |     |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----|
| Gambar 5.49 | Perbandingan Nilai Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal (Qu) Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 3       | 123       | 192 |
| Gambar 5.50 | Perbandingan Nilai Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal (Qu) Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 3       | 143       | 193 |
| Gambar 5.51 | Perbandingan Nilai Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal (Qu) Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 4       | 123       | 193 |
| Gambar 5.52 | Perbandingan Nilai Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal (Qu) Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 4       | 143       | 194 |
| Gambar 5.53 | Perbandingan Nilai Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal (Qu) Metode Reese & Wright dan Plaxis 2D BH 3 | 123       | 195 |
| Gambar 5.54 | Perbandingan Nilai Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal (Qu) Metode Reese & Wright dan Plaxis 2D BH 3 | 143       | 195 |
| Gambar 5.55 | Perbandingan Nilai Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal (Qu) Metode Reese & Wright dan Plaxis 2D BH 4 | 123       | 196 |
| Gambar 5.56 | Perbandingan Nilai Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal (Qu) Metode Reese & Wright dan Plaxis 2D BH 4 | 143       | 196 |
| Gambar 5.57 | Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok (Qg) Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH3                           | Label 123 | 198 |
| Gambar 5.58 | Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok (Qg) Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 3                          | Label 143 | 199 |
| Gambar 5.59 | Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok (Qg) Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 4                          | Label 123 | 199 |
| Gambar 5.60 | Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok (Qg) Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 4                          | Label 143 | 200 |
| Gambar 5.61 | Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok (Qg) Metode Reese & Wright BH 3                                  | Label 123 | 200 |
| Gambar 5.62 | Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok (Qg) Metode Reese & Wright BH 3                                  | Label 143 | 201 |
| Gambar 5.63 | Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok (Qg) Metode Reese & Wright BH 4                                  | Label 123 | 201 |

|             |                                                                                       |     |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 5.64 | Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok ( $Q_g$ ) Metode Reese & Wright BH 4 Label 143 | 202 |
| Gambar 5.65 | Perbandingan Nilai Penurunan Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 3 Label 123             | 204 |
| Gambar 5.66 | Perbandingan Nilai Penurunan Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 3 Label 143             | 204 |
| Gambar 5.67 | Perbandingan Nilai Penurunan Metode Reese & Wright dan Plaxis 2D BH 3 Label 123       | 205 |
| Gambar 5.68 | Perbandingan Nilai Penurunan Metode Reese & Wright dan Plaxis 2D BH 3 Label 143       | 206 |
| Gambar 5.69 | Perbandingan Nilai Penurunan Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 4 Label 123             | 207 |
| Gambar 5.70 | Perbandingan Nilai Penurunan Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 4 Label 143             | 207 |
| Gambar 5.71 | Perbandingan Nilai Penurunan Metode Reese & Wright dan Plaxis 2D BH 4 Label 123       | 208 |
| Gambar 5.72 | Perbandingan Nilai Penurunan Metode Reese & Wright dan Plaxis 2D BH 4 Label 143       | 208 |

## DAFTAR TABEL

|            |                                                                                          |     |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 2.1  | Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang                                | 9   |
| Tabel 3.1  | Sistem Klasifikasi Tanah USCS                                                            | 15  |
| Tabel 3.2  | Nilai Perkiraan Modulus Elastis Tanah (Bowles 1997)                                      | 20  |
| Tabel 3.3  | Kategori Risiko Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa                                  | 21  |
| Tabel 3.4  | Faktor Keutamaan Gempa                                                                   | 23  |
| Tabel 3.5  | Klasifikasi Kelas Situs                                                                  | 23  |
| Tabel 3.6  | Koefisien Untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung                                    | 25  |
| Tabel 3.7  | Nilai Parameter periode Pendekatan $C_t$ dan $x$                                         | 26  |
| Tabel 3.8  | Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons<br>Percepatan pada Periode Pendek  | 28  |
| Tabel 3.9  | Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons<br>Percepatan pada Periode 1 Detik | 28  |
| Tabel 5.1  | Parameter Seismik                                                                        | 57  |
| Tabel 5.2  | Hasil Data Tanah BH 3                                                                    | 62  |
| Tabel 5.3  | Hasil Data Tanah BH 4                                                                    | 62  |
| Tabel 5.4  | Rekapitulasi Perhitungan Metode Mayerhoff BH 3                                           | 81  |
| Tabel 5.5  | Rekapitulasi Perhitungan Metode Mayerhoff BH 4                                           | 81  |
| Tabel 5.6  | Rekapitulasi Perhitungan Metode Reese & Wright BH 3                                      | 96  |
| Tabel 5.7  | Rekapitulasi Perhitungan Metode Reese & Wright BH 4                                      | 96  |
| Tabel 5.8  | Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok BH 3 Label 123                                   | 108 |
| Tabel 5.9  | Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok BH 4 Label 123                                   | 108 |
| Tabel 5.10 | Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok BH 3                                             | 109 |
| Tabel 5.11 | Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok BH 4                                             | 109 |
| Tabel 5.12 | Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok BH 3                                             | 121 |
| Tabel 5.13 | Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok BH 4                                             | 121 |

|            |                                                        |     |
|------------|--------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 5.14 | Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok BH 3           | 122 |
| Tabel 5.15 | Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok BH 4           | 122 |
| Tabel 5.16 | Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor                      | 124 |
| Tabel 5.17 | Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor                      | 126 |
| Tabel 5.18 | Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor                      | 129 |
| Tabel 5.19 | Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor                      | 131 |
| Tabel 5.20 | Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor                      | 134 |
| Tabel 5.21 | Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor                      | 136 |
| Tabel 5.22 | Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor                      | 139 |
| Tabel 5.23 | Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor                      | 141 |
| Tabel 5.24 | Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor                      | 144 |
| Tabel 5.25 | Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor                      | 146 |
| Tabel 5.26 | Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor                      | 149 |
| Tabel 5.27 | Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor                      | 151 |
| Tabel 5.28 | Rekapitulasi Penurunan Tiang Tunggal BH 3              | 158 |
| Tabel 5.29 | Rekapitulasi Penurunan Tiang Tunggal BH 4              | 158 |
| Tabel 5.30 | Rekapitulasi Penurunan Tiang Tunggal BH 3 Label 143    | 158 |
| Tabel 5.31 | Rekapitulasi Penurunan Tiang Tunggal BH 4 Label 143    | 158 |
| Tabel 5.32 | Rekapitulasi Penurunan Tiang Tunggal BH 3              | 164 |
| Tabel 5.33 | Rekapitulasi Penurunan Tiang Tunggal BH 4              | 164 |
| Tabel 5.34 | Rekapitulasi Penurunan Tiang Tunggal BH 3 label 143    | 164 |
| Tabel 5.35 | Rekapitulasi Penurunan Tiang Tunggal BH 4 Label 143    | 164 |
| Tabel 5.36 | Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Kelompok BH 3 | 166 |
| Tabel 5.37 | Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Kelompok BH 4 | 167 |
| Tabel 5.38 | Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Kelompok BH 3 | 167 |
| Tabel 5.39 | Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Kelompok BH 4 | 167 |
| Tabel 5.40 | Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Kelompok BH 3 | 169 |
| Tabel 5.41 | Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Kelompok BH 4 | 170 |
| Tabel 5.42 | Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Kelompok BH 3 | 170 |
| Tabel 5.43 | Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Kelompok BH 4 | 170 |
| Tabel 544  | Data Input Soil Properties BH3                         | 171 |

|            |                                                                                       |     |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 5.45 | Data Input Soil Properties BH4                                                        | 171 |
| Tabel 5.47 | Data Input Pile Properties dengan Embedded Beam BH 1                                  | 174 |
| Tabel 5.48 | Rekapitulasi Penurunan Hasil PLAXIS 2D (BH 3)                                         | 186 |
| Tabel 5.49 | Rekapitulasi Penurunan Hasil PLAXIS 2D (BH 4)                                         | 187 |
| Tabel 5.50 | Rekapitulasi (Qu) Hasil PLAXIS 2D (BH 3)                                              | 187 |
| Tabel 5.51 | Rekapitulasi (Qu) Hasil PLAXIS 2D (BH 4)                                              | 188 |
| Tabel 5.52 | Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Tunggal (Qu)                    | 190 |
| Tabel 5.54 | Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok (Qg) BH 3 Label 123          | 197 |
| Tabel 5.55 | Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok (Qg) BH 3 Label 143          | 197 |
| Tabel 5.56 | Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok (Qg) BH 4 Label 123          | 198 |
| Tabel 5.57 | Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok (Qg) BH 4 Label 143          | 198 |
| Tabel 5.58 | Rekapitulasi Hasil Perhitungan Penurunan Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 3 Label 123 | 203 |
| Tabel 5.59 | Rekapitulasi Hasil Perhitungan Penurunan Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 3 Label 143 | 203 |
| Tabel 5.60 | Rekapitulasi Hasil Perhitungan Penurunan Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 4 Label 123 | 206 |
| Tabel 5.61 | Rekapitulasi Hasil Perhitungan Penurunan Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 4 Label 143 | 207 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|            |                                                         |     |
|------------|---------------------------------------------------------|-----|
| Lampiran 1 | Denah Lokasi Proyek                                     | 216 |
| Lampiran 2 | Lokasi Pengujian <i>Standart Penetration Test</i> (SPT) | 217 |
| Lampiran 3 | Data Tanah (BH-3)                                       | 218 |
| Lampiran 5 | Data Tanah (BH-4)                                       | 220 |
| Lampiran 7 | Titik <i>Joint</i> yang Ditinjau                        | 222 |
| Lampiran 8 | Detail Fondasi <i>Bored Pile</i>                        | 223 |
| Lampiran 9 | Denah Fondasi <i>Bored Pile</i>                         | 224 |

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

|           |                                                                                          |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| $G$       | = Kerikil ( <i>Gravel</i> )                                                              |
| $S$       | = Pasir ( <i>Sand</i> )                                                                  |
| $C$       | = Lempung ( <i>Clay</i> )                                                                |
| $M$       | = Lanau ( <i>Silt</i> )                                                                  |
| $O$       | = Lanau atau lempung organik ( <i>Organic Silt or Clay</i> )                             |
| $Pt$      | = Tanah gambut dan tanah organik tinggi ( <i>Peat and Higly Organic Soil</i> )           |
| $W$       | = Gradasi baik ( <i>Well-Graded</i> )                                                    |
| $n$       | = Jumlah tingkat                                                                         |
| $A_B$     | = Luas dasar struktur (m <sup>2</sup> )                                                  |
| $A_i$     | = Luas badan dinding geser ke-i (m <sup>2</sup> )                                        |
| $D_i$     | = Panjang dinding geser ke i (m)                                                         |
| $C_s$     | = Koefisien respon seismik yang ditentukan sesuai dengan 0                               |
| $W$       | = Berat seismik efektif menurut 0                                                        |
| $S_{Ds}$  | = Parameter percepatan respon spektral desain dalam periode pendek                       |
| $S_{SI}$  | = Parameter percepatan respon spektral desain periode 0,1 detik                          |
| $R$       | = Koefisien modifikasi respon                                                            |
| $I_e$     | = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 0                                 |
| $T$       | = Periode fundamental (detik) yang ditentukan 0                                          |
| $S_I$     | = Parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan yang ditentukan sesuai 0 |
| $Q_{ult}$ | = Daya dukung ultimit tiang (ton)                                                        |
| $Q_b$     | = Daya dukung ultimit ujung tiang (ton)                                                  |
| $Q_s$     | = Daya dukung ultimit selimut tiang (ton)                                                |
| $W_p$     | = Berat tiang (kN)                                                                       |
| $Q_p$     | = Daya dukung ujung (ton)                                                                |

|            |                                                                  |
|------------|------------------------------------------------------------------|
| $A_p$      | = Luas penampang bored pile ( $m^2$ )                            |
| $q_p$      | = Tahanan ujung per satuan luas ( $ton/m^2$ )                    |
| $f$        | = Gesekan selimut tiang persatuan luas ( $ton/m^2$ )             |
| $L$        | = Panjang tiang bor (m)                                          |
| $p$        | = Keliling penampang tiang (m)                                   |
| $Q_{all}$  | = Kapasitas dukung izin tiang (ton)                              |
| $Q_u$      | = daya dukung ultimit (ton)                                      |
| $S$        | = Jarak antar pusat tiang ke pusat tiang lainnya (m)             |
| $D$        | = Diameter (m)                                                   |
| $SF$       | = Angka aman untuk tahanan ujung tiang (ton)                     |
| $E_g$      | = Efisiensi kelompok tiang                                       |
| $m$        | = Jumlah baris                                                   |
| $n$        | = Jumlah barisan tiang dalam satu baris                          |
| $\theta$   | = Arc tg d/s dalam derajat                                       |
| $s$        | = Jarak pusat tiang ke pusat tiang lainnya (m)                   |
| $d$        | = Diameter tiang (m)                                             |
| $S_{pg}$   | = Penurunan kelompok tiang                                       |
| $C_c$      | = Indeks kompresi                                                |
| $\Delta H$ | = Tebal lapisan (m)                                              |
| $e_0$      | = Tegangan efektif tanah pada lapisan ke 1 ( $\frac{kg}{cm^2}$ ) |
| $P_o'$     | = Tegangan efektif tanah ( $\frac{kg}{cm^2}$ )                   |
| $V_i$      | = beban aksial pada tiang ke-i                                   |
| $\sum P$   | = jumlah beban vertikal yang bekerja pada pusat kelompok tiang   |
| $n$        | = Banyaknya tiang bor dalam kelompok                             |
| $M_y, M_x$ | = Momen yang berkerja pada bidang tegak lurus sumbu x, y         |

|            |                                                              |
|------------|--------------------------------------------------------------|
| $x_i, y_i$ | = Absis atau jarak tiang ke pusat berat kelompok tiang No,-i |
| $\sum x^2$ | = Jumlah kuadrat absis-absis tiang bor                       |
| $\sum y^2$ | = Jumlah kuadrat ordinat-ordinat tiang bor                   |
| $S$        | = Penurunan total fondasi tiang tunggal (m)                  |
| $S_1$      | = Penurunan akibat deformasi tiang tunggal (m)               |
| $S_2$      | = Penurunan dari ujung tiang (m)                             |
| $S_3$      | = Penurunan akibat beban (m)                                 |
| $C_p$      | = Koefisien empiris                                          |
| $Q_p$      | = Beban yang didukung ujung tian (kN)                        |
| $D$        | = Diameter tiang (m)                                         |
| $qp$       | = Kapasitas dukung batas ujung tiang ( $\frac{kg}{cm^2}$ )   |
| $A_p$      | = Luas penamapang tiang (kN)                                 |
| $E_p$      | = Modulus elastis tiang ( $\frac{kg}{cm^2}$ )                |
| $Q_f$      | = Beban yang di dukung selimut tiang (kN)                    |
| $P$        | = Keliling tiang (m)                                         |
| $E_s$      | = Modulus elastis tanah ( $\frac{kg}{cm^2}$ )                |
| $\mu^2$    | = Angka <i>poisson</i> (m)                                   |
| $\alpha$   | = Koefisien (Vesic, 1977, $\alpha = 0,33-0,50$ )             |
| $A_b$      | = Luas penampang (m <sup>2</sup> )                           |
| $E_b$      | = Modulus elastisitas tiang                                  |
| $L$        | = Panjang tiang tertanam (m)                                 |
| $Q$        | = Beban yang bekerja pada tiang (kN)                         |
| $S_{pg}$   | = Penurunan kelompok tiang (m)                               |
| $\Delta H$ | = Tebal lapisan (m)                                          |
| $S_{izin}$ | = Penurunan yang diizinkan (cm)                              |

## ABSTRAK

Fondasi tiang bor banyak digunakan pada bangunan bertingkat. Proyek Renovasi Pasar Terban, Yogyakarta, memiliki kondisi tanah yang didominasi oleh lapisan pasir dengan nilai N-SPT yang bervariasi, sehingga memerlukan perencanaan fondasi yang tepat. Penelitian ini bertujuan menganalisis daya dukung dan penurunan fondasi tiang bor berdasarkan data SPT menggunakan metode analitis dan pemodelan numerik.

Analisis daya dukung tiang tunggal dilakukan dengan metode Meyerhof dan Reese & Wright berdasarkan data SPT dari dua titik bor, BH-3 dan BH-4, serta pemodelan numerik menggunakan Plaxis 2D. Tiang bor yang dianalisis memiliki panjang 12 m dengan variasi diameter 0,5 m, 0,6 m dan 0,8 m, serta faktor keamanan (SF) sebesar 1,6. Beban aksial rencana dari analisis ETABS sebesar 2963,85 kN (Label 123) dan 853,31 kN (Label 143). Analisis tiang kelompok memperhitungkan efisiensi kelompok (Eg) dengan metode Converse-Labarre, sedangkan penurunan kelompok tiang dianalisis dengan metode Vesic dan dibandingkan dengan Plaxis 2D.

Hasil menunjukkan kapasitas dukung izin (Qall) tiang tunggal meningkat seiring bertambahnya diameter, dengan metode Meyerhof menghasilkan 999,71–2.616,95 kN dan Reese & Wright 1098,89 sampai 1987,21 kN. Plaxis 2D menghasilkan kapasitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode manual pada beban besar (Label 123), namun lebih konservatif pada beban kecil (Label 143). Seluruh konfigurasi tiang kelompok dinyatakan AMAN, dengan kapasitas dukung kelompok (Qg) manual berkisar 1794,65 sampai 4697,86 kN. Penurunan kelompok tiang dengan metode Vesic berkisar 5,46 sampai 32,55 mm dan Plaxis 2D 4,88 sampai 23,31 mm, keduanya jauh di bawah batas izin SNI ( $S_{izin} = 150 \text{ mm} + B/600$ ), sehingga fondasi dinyatakan aman dan memenuhi syarat penurunan.

**Kata kunci:** Tiang Bor, Kapasitas Dukung, Penurunan, SPT, Plaxis 2D

## ABSTRACT

*Bored pile foundations are widely used in multi-story buildings. The Pasar Terban Renovation Project, Yogyakarta, has soil dominated by sandy layers with varied N-SPT values, requiring careful foundation design. This study analyzes the bearing capacity and settlement of bored pile foundations based on SPT data using analytical methods and numerical modelling.*

*Single pile bearing capacity was analyzed using the Meyerhof and Reese & Wright methods based on SPT data from two boreholes, BH-3 and BH-4, along with numerical modelling in Plaxis 2D. The bored piles have a length of 12 m, diameter variations of 0.5 m, 0.6 m, and 0.8 m, and a safety factor of 1.6. Design axial loads from ETABS are 2,963.85 kN (Label 123) and 853.31 kN (Label 143). Group analysis incorporates the group efficiency factor ( $E_g$ ) using the ConverseLabarre method, while group settlement is analyzed using the Vesic method and compared with Plaxis 2D.*

*Results show that allowable bearing capacity ( $Q_{all}$ ) increases with diameter, with the Meyerhof method yielding 999.71 to 2616.95 kN and Reese & Wright yielding 1098.89 to 1987.21 kN. Plaxis 2D yields higher capacity under large loads (Label 123) and more conservative results under smaller loads (Label 143). All pile group configurations are SAFE, with manual group capacity ( $Q_g$ ) ranging from 1794.65 to 4697.86 kN. Group settlement using the Vesic method ranges from 5.46 to 32.55 mm, and Plaxis 2D from 4.88 to 23.31 mm, both well below the SNI allowable limit ( $S_{izin} = 150 \text{ mm} + B/600$ ), confirming that the foundation is safe and meets settlement requirements.*

**Keywords:** *Bored Pile, Bearing Capacity, Settlement, SPT, Plaxis 2D*

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Fondasi merupakan suatu elemen struktur penting dalam setiap struktur bangunan karena terletak di bawah struktur bangunan, Fondasi sendiri memiliki fungsi untuk menyalurkan beban dari struktur atas berupa beban hidup, beban mati, beban gempa, dan juga beban angin (Hardiyatmo, 2015). Di kawasan perkotaan seperti Yogyakarta, kondisi tanah sangat bervariasi dan padatnya bangunan warga juga menjadi hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan fondasi yang tepat agar bangunan dapat tetap stabil dan aman. Oleh karena itu, penggunaan fondasi *bored pile* menjadi solusi yang paling efektif untuk mengurangi gangguan getaran dan suara terhadap lingkungan sekitar selama proses konstruksi, Sebagai pusat perdagangan dengan aktivitas tinggi di Indonesia, khususnya di wilayah Yogyakarta, sangat rentan terhadap aktivitas seismik dan perubahan cuaca ekstrem (SNI 1726:2019).

Kondisi bangunan lama Pasar Terban tercatat mengalami kegagalan struktural berupa amblesnya lantai kios (JPNN, 2023). Hal ini mengindikasikan bahwa lapisan tanah permukaan memiliki daya dukung yang sangat rendah dan kompresibilitas yang tinggi. Berdasarkan hasil investigasi tanah terbaru, terkonfirmasi adanya lapisan tanah dengan nilai N-SPT rendah pada kedalaman dangkal. Oleh karena itu, penggunaan fondasi bored pile dengan diameter 0,6 m dan panjang 12 meter pada proyek revitalisasi ini menjadi pilihan yang tepat untuk menghindari terulangnya fenomena ambles tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai daya dukung dan penurunan fondasi eksisting dengan menggunakan data lapangan seperti SPT, serta melakukan simulasi numerik menggunakan *software* PLAXIS 2D, lalu membandingkan hasil tersebut dengan hasil perhitungan *redesign* variasi diameter 0,5 m dan 0,8 m.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah nilai kapasitas dukung fondasi tiang bor berdiameter 0,6 m menggunakan metode Meyerhof , Reese & Wright dan *software* Plaxis 2D ?
2. Bagaimanakah nilai penurunan (*settlement*) fondasi tiang bor berdiameter 0,6 m menggunakan metode Vesic dan *software* Plaxis 2D ?
3. Bagaimanakah nilai kapasitas dukung fondasi tiang bor dengan variasi diameter 0,5 m dan 0,8 m (panjang tetap 12 m) menggunakan metode Meyerhof , Reese & Wright dan *software* Plaxis 2D ?
4. Bagaimanakah nilai penurunan (*settlement*) fondasi menggunakan variasi diameter 0,5 m dan 0,8 m (dengan panjang tiang tetap 12 m) menggunakan metode Vesic dan *software* Plaxis 2D ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui nilai kapasitas dukung fondasi tiang bor berdiameter 0,6 m menggunakan metode Meyerhof , Reese & Wright dan *software* PLAXIS 2D,
2. Mengetahui penurunan (*settlement*) fondasi tiang bor berdiameter 0,6 m menggunakan metode Vesic dan *software* Plaxis 2D.
3. Mengetahui nilai kapasitas dukung fondasi tiang bor dengan variasi diameter 0,5 m dan 0,8 m (panjang tetap 12 m) menggunakan metode Meyerhof , Reese & Wright dan *software* Plaxis 2D.
4. Mengetahui nilai penurunan (*settlement*) fondasi menggunakan variasi diameter 0,5 m dan 0,8 m (dengan panjang tiang tetap 12 m) menggunakan metode Vesic dan *software* Plaxis 2D.

## 1.4 Manfaat Penelitian

1. Menambah pengetahuan tentang analisis risiko penurunan fondasi menggunakan data lapangan berupa data SPT dengan simulasi menggunakan *software* PLAXIS 2D.
2. Penelitian ini dapat membantu perencana mendesain fondasi terutama pada wilayah yang rentan terhadap aktivitas seismik dan memiliki jenis tanah yang bervariasi serta membantu mengurangi risiko terjadinya kegagalan struktur akibat penurunan fondasi bangunan.

### 1.5 Batasan Masalah

1. Mengetahui kapasitas daya dukung fondasi tiang bor berdiameter 0,6 m, 0,5 m dan 0,8 m dengan menggunakan data SPT yang diperoleh dari lokasi proyek renovasi Pasar Terban.
2. Mengetahui kapasitas penurunan fondasi tiang bor berdiameter 0,6 m, 0,5 m dan 0,8 m dengan menggunakan data SPT yang diperoleh dari lokasi proyek renovasi Pasar Terban.
3. Simulasi numerik perilaku tanah dan fondasi menggunakan *software* PLAXIS 2D untuk memprediksi penurunan fondasi.
4. Penelitian ini hanya fokus pada fondasi tiang bor.
5. Karena kurangnya data, maka dilakukan perhitungan beban ulang dengan *software* ETABS.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Fondasi merupakan bagian yang berfungsi untuk meneruskan beban struktur ke dalam tanah. Dalam perancangannya, fondasi harus memenuhi 3 kriteria utama, yaitu keamanan terhadap keruntuhan geser tanah, penurunan, serta geser lateral (Hardiyatmo, 2015). Sementara itu, pengertian fondasi tiang bor adalah fondasi tiang yang dibuat dengan cara melakukan pengeboran tanah terlebih dahulu, kemudian dipasangkan tulangan dan dicor dengan beton segar. Fungsi tiang bor adalah untuk memindahkan beban struktur ke lapisan tanah yang daya dukungnya memadai, baik melalui gesekan selimut (*Skin Friction*) maupun daya dukung ujung (Reese & Wright, 1977). Pada Proyek Renovasi Pasar Terban, penerapan fondasi tiang bor diharapkan dapat mengatasi masalah kompresibilitas tanah permukaan yang tinggi dengan menyalurkan beban struktur ke lapisan tanah yang lebih kompeten di kedalaman 12 meter.

#### **2.2 Analisis Fondasi *Bored pile***

Berikut merupakan penelitian terdahulu yang menjadi acuan dalam penelitian yang dilakukan.

##### **2.2.1 Kapasitas Dukung Fondasi *Bored Pile***

Alviani dan Amalina (2025) melakukan penelitian pada proyek gedung rumah susun di Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian ini membandingkan pengaruh variasi diameter pada daya dukung dan penurunan fondasi. Berdasarkan hasil analisis daya dukung tiang kelompok ( $Q_g$ ) pada rumah susun yang didesain ulang menggunakan fondasi tiang pancang dengan variasi 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 perhitungan menggunakan metode Meyerhof

diperoleh kapasitas dukung fondasi kelompok ( $Q_g$ ) pada rumah susun yang didesain ulang menggunakan fondasi tiang pancang dengan variasi 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 perhitungan menggunakan metode Meyerhof diperoleh kapasitas dukung fondasi kelompok ( $Q_g$ ) masing-masing sebesar 3,588,683 kN, 4,286,948 kN, dan 4,533,659 kN, dan hasil perhitungan tersebut dinyatakan aman dan memenuhi syarat.

Septory dkk, (2023) melakukan penelitian pada sebuah fondasi *bored pile* bangunan di daerah Kota Jayapura, Papua. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung dan penurunan fondasi *bored pile* dengan variasi diameter 0,5 m, 0,6 m, 0,7 m menggunakan *software* GEO5. Dari hasil analisis didapatkan kapasitas dukung fondasi untuk diameter 0,5 m sebesar 338,70 kN dengan beban 195,70 kN, sehingga didapatkan nilai *safety factor*  $1,73 > 2$ , tidak memenuhi syarat. Untuk diameter 0,6 m didapatkan nilai sebesar 417,05 kN dengan beban 195,70 kN, sehingga menghasilkan nilai *safety factor*  $2,13 > 2$ . Dengan begitu, dengan diameter 0,6 m dinyatakan aman. Untuk 0,7 m, nilainya sebesar 498,92 kN dengan beban 195,70 kN, didapatkan nilai *safety factor*  $2,55 > 2$ , sehingga dinyatakan aman.

Billah dan Abdurrozak (2024) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis perbandingan daya dukung dan penurunan pondasi tiang bor menggunakan metode analitis dan metode elemen hingga” melakukan evaluasi terhadap kapasitas dukung aksial fondasi tiang bor pada proyek pembangunan Jembatan Jalan Lingkar Utara Tasikmalaya (Jembatan Ciloseh). Studi ini menganalisis konfigurasi fondasi *bored pile* menggunakan variasi diameter alternatif sebesar 1,2 m dengan kedalaman tiang 24 m pada titik tinjauan P4/BH-05. Estimasi kapasitas dukung dilakukan secara manual menggunakan pendekatan metode statis analitis, yaitu metode Meyerhoff dan metode Reese & Wright, dengan memanfaatkan parameter tanah dari data uji *Standard Penetration Test* (SPT). Hasil perhitungan manual menggunakan

metode Meyerhoff menunjukkan nilai kapasitas daya dukung ultimit tiang tunggal ( $Q_u$ ) sebesar 14,462,27 kN dan daya dukung izin tiang tunggal ( $Q_{all}$ ) sebesar 4,820,75 kN. Dengan efisiensi kelompok tiang sebesar 0,683 untuk total konfigurasi 21 tiang, diperoleh nilai kapasitas daya dukung total kelompok tiang ( $Q_g$ ) sebesar 197,412,63 kN. Di sisi lain, analisis menggunakan metode Reese & Wright menghasilkan parameter yang lebih konservatif, di mana nilai daya dukung ultimit tiang tunggal ( $Q_u$ ) diperoleh sebesar 8,387,57 kN dengan daya dukung izin tiang tunggal ( $Q_{all}$ ) sebesar 2,795,86 kN. Melalui metode ini, kebutuhan jumlah tiang menjadi lebih banyak, yaitu 36 tiang yang menghasilkan efisiensi kelompok sebesar 0,664 dan nilai kapasitas daya dukung total kelompok tiang ( $Q_g$ ) sebesar 200,587,57 kN. Berdasarkan kedua metode analitis tersebut, kapasitas dukung kelompok tiang yang dihasilkan dinyatakan aman karena telah melampaui total beban desain jembatan yang disyaratkan,

### 2.2.2 Penurunan Fondasi *Bored Pile*

Billah dan Abdurrozak (2024) dalam penelitiannya yang berjudul “*Analisis perbandingan daya dukung dan penurunan fondasi tiang bor menggunakan metode analitis dan metode elemen hingga*” juga melakukan penelitian mengenai perilaku deformasi vertikal berupa penurunan (*settlement*) kelompok tiang bor berdiameter 1,2 m dengan kedalaman 24 m pada proyek Jembatan Ciloseh di titik P4/BH-05. Analisis magnitudo penurunan total ( $S$ ) dalam penelitian tersebut diperoleh secara analitis manual melalui akumulasi nilai penurunan segera (*immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*). Pada pemodelan jumlah tiang dari hasil metode Meyerhoff, komponen penurunan segera tercatat sebesar 0,027 m dan penurunan konsolidasi sebesar 0,015 m, sehingga menghasilkan total penurunan kelompok sebesar 0,043 m. Di sisi lain, estimasi penurunan untuk konfigurasi jumlah tiang dari metode Reese & Wright menghasilkan pergerakan yang cenderung lebih besar, di mana nilai penurunan segera diperoleh sebesar 0,060 m dan penurunan konsolidasi

sebesar 0,010 m, dengan akumulasi penurunan total kelompok senilai 0,071 m. Berdasarkan hasil akhir tersebut, kedua pemodelan penurunan secara teoritis manual ini disimpulkan aman dan memenuhi syarat batas layanan geoteknik karena tidak ada nilainya yang melampaui batas penurunan izin proyek yang ditentukan sebesar 0,096 m.

Alviani dan Amalina (2025) melakukan penelitian pada proyek gedung rumah susun di Daerah Istimewa Yogyakarta, Penelitian ini membandingkan pengaruh variasi diameter pada daya dukung dan penurunan fondasi, Hasil perhitungan penurunan pada fondasi kelompok (Sg) pada rumah susun yang didesain ulang menggunakan fondasi tiang pancang dengan diameter 0,45 m, 0,5 m, dan 0,6 m dengan metode Poulos, Davis, dan Mayerhof diperoleh hasil yang sama, yaitu 1,397 cm, 1,246 cm, dan 0,547 cm, Secara keseluruhan, nilai yang didapatkan sudah aman karena nilai penurunan sudah lebih kecil dari nilai penurunan yang diizinkan,

### 2.2.3 Analisis Fondasi Menggunakan PLAXIS 2D

Ardana dkk, (2025) melakukan penelitian pada wilayah Ibu Kota Nusantara (IKN), Kalimantan Timur, Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung dan penurunan fondasi *bored pile* pada proyek Apartemen ASN-4IKN menggunakan metode pemodelan PLAXIS 2D dan *PDA test*. Hasil analisis penurunan fondasi *bored pile* dengan menggunakan metode empiris dan metode elemen hingga menghasilkan nilai penurunan sebesar 10,082 mm dan 2,742 mm. Analisis presentasi perbedaan daya dukungnya yang dihasilkan dari metode Reese & Wright terhadap metode elemen hingga serta uji PDA masing-masing adalah 48,118% dan 10,808%, Sedangkan dalam analisis penurunannya, persentase perbedaan antara metode empiris dan metode elemen hingga pada uji PDA menghasilkan nilai sebesar 1,070% dan 0,060%. Berdasarkan analisis pada penelitian ini, disimpulkan bahwa uji PDA memberikan hasil yang paling konservatif dan dianggap paling mendekati kondisi nyata di lapangan.

Kasmana dkk, (2024) melakukan penelitian analisis daya dukung dan penurunan fondasi *bored pile* pada daerah Jatinegara, Jakarta Timur untuk proyek pembangunan fasilitas perkeretaapian manggarai-jatinegara dengan menggunakan metode Meyerhof, Reese & Wright, PDA Test, dan menganalisis penurunannya dengan beberapa metode seperti metode semi empiris, metode Vesic, PLAXIS 2D, dan PDA Test. Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini adalah analisis daya dukung fondasi menggunakan metode Meyerhof berdasarkan data sondir titik S-2 dengan kedalaman 14,4 meter menunjukkan nilai Qult 383,33 ton dan Qijin 79,28 ton. Sementara itu, dengan metode Reese & Wright berdasarkan data borlog titik BH-3/P-7 dengan kedalaman 35 m, nilai Qult sebesar 358,61 ton dan Qijin sebesar 143,44 ton. Maka, daya dukung *bored pile* tunggal tipe B2 di gedung wing kiri Stasiun Manggarai telah memenuhi persyaratan, Penurunan fondasi tipe B2 pada gedung wing kiri Stasiun Manggarai menunjukkan hasil yang aman dengan nilai penurunannya sebesar 122,62 mm untuk metode semi empiris, 11,45 mm untuk metode Versic, dan 12,28 mm untuk metode Plaxis 2D.

Tabel 2, 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

| Aspek    | Penelitian Terdahulu                                                                                               |                                                                                                              |                                                                                                                                            |                                                                                                                  |                                                                                                                        | Penelitian yang Dilakukan                                                                                                              |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Peneliti | Ardana dkk                                                                                                         | Kasmana dkk                                                                                                  | Alviani dan Amalina                                                                                                                        | Septory dkk                                                                                                      | Billah dan Abdurrozak                                                                                                  | Sangkala                                                                                                                               |
| Tahun    | 2025                                                                                                               | 2024                                                                                                         | 2025                                                                                                                                       | 2023                                                                                                             | 2025                                                                                                                   | 2025                                                                                                                                   |
| Judul    | Bearing Capacity and Settlement Analysis of Drilled Pile Foundation at The ASN-4IKN Apartment Construction Project | Analisis Daya Dukung Fondasi Bore Pile pada Proyek Pembangunan Fasilitas Perkeretaapian Manggarai-Jatinegara | Pengaruh Variasi Diameter Terhadap Kapasitas Dukung dan Penurunan Fondasi pada Tanah Pasir (studi kasus; gedung rumah susun di yogyakarta) | Analisis Fondasi Bore Pile dengan Variasi Diameter pada Proyek Rumah Sakit Bhayangkara Menggunakan Software GEO5 | Analisis perbandingan daya dukung dan penurunan pondasi tiang bor menggunakan metode analitis dan metode elemen hingga | Analisis Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Bor Menggunakan Data SPT pada Proyek Renovasi Pasar Terban Daerah Istimewa Yogyakarta |
| Tujuan   | Menganalisis nilai kapasitas daya dukung dan penurunan fondasi <i>Bore</i>                                         | Menganalisis nilai kapasitas daya dukung dan penurunan fondasi bore pile Proyek                              | Menganalisis dan membandingkan nilai pengaruh variasi diameter                                                                             | Menganalisis nilai daya dukung dan penurunan fondasi Bore Pile dengan                                            | Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kapasitas daya dukung kelompok fondasi <i>bored</i>                    | Menganalisis dan membandingkan nilai kapasitas daya dukung dan penurunan                                                               |

Lanjutan Tabel 2,1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

| Aspek    | Penelitian Terdahulu                        |                                                           |                                        |                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                   | Penelitian yang Dilakukan                                                                                  |
|----------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Peneliti | Ardana dkk                                  | Kasmana dkk                                               | Alviani dan Amalina                    | Septory dkk                           | Billah dan Abdurrozak                                                                                                                                                                                                                                             | Marfa                                                                                                      |
| Tahun    | 2025                                        | 2024                                                      | 2025                                   | 2023                                  | 2025                                                                                                                                                                                                                                                              | 2025                                                                                                       |
| Tujuan   | <i>Pile</i> pada proyek Apartement ASN-4IKN | Pembangunan Fasilitas Perkeretaapian Manggarai-Jatinegara | pada daya dukung dan penurunan fondasi | variasi diameter 0,5 m, 0,6 m, 0,7 m, | <i>pile</i> dengan variasi diameter alternatif 1,2 m menggunakan metode Meyerhoff dan Reese & Wright, menghitung besar penurunan total yang terjadi, serta memvalidasi dan membandingkan hasil perhitungan analitis tersebut dengan simulasi metode elemen hingga | Fondasi berdiameter 0,6 m dengan nilai hasil <i>Redesign</i> fondasi menggunakan diameter 0,5 m dan 0,8 m, |

Lanjutan Tabel 2,1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

| Aspek    | Penelitian Terdahulu                                                                                                            |                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                       | Penelitian yang Dilakukan                                                                                                                |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Peneliti | Made Doediek, dkk                                                                                                               | Bagus, dkk                                                                                                                                           | Ziahul, dkk                                                                                                                                     | Vira, dkk                                                                                                                                         | Billah dan Abdurrozak                                                                                                                                 | Marfa                                                                                                                                    |
| Tahun    | 2025                                                                                                                            | 2024                                                                                                                                                 | 2025                                                                                                                                            | 2023                                                                                                                                              | 2025                                                                                                                                                  | 2025                                                                                                                                     |
| Metode   | Metode empiris, metode elemen hingga, permodelan <i>Plaxis</i> 2D, PDA test dan metode <i>Reese&amp;Wright</i>                  | Metode Meyerhof, Reese&Wright, PDA Test, metode Semi Empiris, metode Vesic, <i>Plaxis</i> 2D                                                         | Metode Poulos & Davis, metode mayerhof                                                                                                          | Software GEO5                                                                                                                                     | menggunakan <i>software</i> PLAXIS 2D V,20, Metode Meyerhoff, Metode Reese & Wright,                                                                  | Metode Reese & Wright, metode Mayerhof dan permodelan PLAXIS 2D                                                                          |
| Hasil    | Berdasarkan analisis pada penelitian ini disimpulkan bahwa uji PDA memberikan Hasil yang paling konservatif dan dianggap paling | Berdasarkan analisis pada penelitian ini disimpulkan bahwa metode Mayerhof Memberikan nilai daya dukung yang lebih kecil dari metode Reese & Wright, | Berdasarkan analisis pada penelitian ini menghasilkan nilai daya dukung yang Lebih besar dengan metode Mayerhof untuk diameter 0,4 m dan 0,8 m, | Berdasarkan analisis pada penelitian ini, hasil menunjukkan bahwa semua variasi diameter termasuk dalam batas aman, Namun, variasi diameter 0,6 m | Hasil analisis menunjukkan bahwa alternatif diameter 1,2 m aman digunakan, dengan metode elemen hingga (PLAXIS 2D) menghasilkan kapasitas daya dukung | Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh konfigurasi tiang kelompok dinyatakan aman terhadap beban rencana, Metode Meyerhof menghasilkan |

**Lanjutan Tabel 2,1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang**

| Aspek    | Penelitian Terdahulu                 |                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                              | Penelitian yang Dilakukan                                                                                                                                                                                                     |
|----------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Peneliti | Made Doediek, dkk                    | Bagus, dkk                                                                                     | Ziahul, dkk                                                                                                                                                                                                                | Vira, dkk                                                                                                                                                                      | Billah dan Abdurrozak                                                                                                                                                                        | Marfa                                                                                                                                                                                                                         |
| Tahun    | 2025                                 | 2024                                                                                           | 2025                                                                                                                                                                                                                       | 2023                                                                                                                                                                           | 2025                                                                                                                                                                                         | 2025                                                                                                                                                                                                                          |
| Hasil    | Mendekati kondisi nyata di lapangan, | sedangkan untuk hasil penurunannya metode semiempiris menghasilkan nilai yang jauh lebih besar | Sedangkan metode Poulus & Davis menghasilkan nilai tertinggi untuk diameter 0,6 m, Kedua metode yang digunakan untuk menganalisis penurunannya mendapatkan hasil yang tidak berbeda jauh dan menunjukan penurunan terendah | Adalah diameter bore pile yang Paling efisien dan aman karena memberikan nilai penurunan yang paling rendah, Untuk diameter 0,6 m, masih dalam batas penurunan yang diizinkan, | (Qg sebesar 322,355 s,d, 342,497 kN) dan penurunan total (S sebesar 0,098 s,d, 0,120 m) yang lebih besar namun tetap memenuhi batas toleransi aman dibandingkan perhitungan analitis manual, | Qall lebih besar dibandingkan dengan Reese & Wright, sedangkan Plaxis 2D menghasilkan kapasitas lebih tinggi pada beban besar, Seluruh nilai penurunan berada di bawah batas izin SNI ( $s_{izin} = 15 \text{ cm} + B/600$ ), |

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Tanah**

Dalam pandangan teknik sipil, tanah didefinisikan sebagai himpunan 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 oksida-oksida yang mengendap antara partikel-partikel (Hardiyatmo, 2002). Tanah juga dianggap sebagai material yang terdiri dari material padat, air, dan udara yang dapat menahan beban struktur (Das & Sobhan, 2012). Pemahaman mengenai komposisi ini dapat menjadi dasar utama dalam menganalisis perilaku tanah di Pasar Terban, terutama kemampuannya dalam mendukung beban fondasi.

Menurut Bowles (1996), tanah merupakan kumpulan partikel padat yang terbentuk dari pelapukan batuan atau dekomposisi material organik, di mana partikel-partikel tersebut terdapat rongga (pori-pori) yang terisi oleh air dan udara, Tanah merupakan material yang umumnya terdiri dari sistem 3 fase, yaitu :

1. Fase padat : berupa tanah yang berisi butiran mineral atau material organik yang membentuk kerangka (*skeleton*) tanah.
2. Fase Cair : berupa air yang mengisi sebagian atau seluruh rongga pori tanah.
3. Fase gas : berupa udara atau gas yang mengisi rongga pori apabila tidak terisi air.

Definisi ini membedakan tanah dari batuan, di mana tanah cenderung lebih lunak, mudah digali atau dipadatkan, serta karakteristik perilakunya sangat bergantung pada interaksi antara ketiga fase tersebut (Bowles 1996).

### 3.1.1 Klasifikasi Tanah

Menurut Hardiyatmo (2012). sistem klasifikasi dibagi menjadi dua, yaitu *Unified Soil Classification* dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation*). Sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas, Sistem *Unified Soil* awalnya diusulkan oleh *Casagrande* pada tahun 1942 yang kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh kelompok teknisi USBR (*United States Bureau of Reclamation*).

Sistem klasifikasi AASHTO mengklasifikasikan tanah ke dalam delapan kelompok utama (A-1 hingga A-8) berdasarkan distribusi ukuran butiran, batas cair, dan indeks plastisitas, Kelompok A-1 hingga A-3 merupakan tanah berbutir kasar yang cocok sebagai bahan timbunan jalan, sedangkan kelompok A-4 hingga A-7 merupakan tanah berbutir halus yang bersifat kohesif, Adapun kelompok A-8 mengacu pada tanah organik yang tidak direkomendasikan sebagai bahan konstruksi karena memiliki kompresibilitas yang sangat tinggi (Hardiyatmo, 2012).

Pada sistem *USCS*, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan No,200 (0,075 mm), dan sebagai tanah berbutir halus (lanau atau lempung) jika lebih dari 50% materialnya lolos saringan tersebut, Tanah juga diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang dapat dilihat pada Tabel 3.1. Simbol-simbol yang digunakan adalah sebagai berikut.

|    |                                                                                |
|----|--------------------------------------------------------------------------------|
| G  | = Kerikil ( <i>Gravel</i> )                                                    |
| S  | = Pasir ( <i>Sand</i> )                                                        |
| C  | = Lempung ( <i>Clay</i> )                                                      |
| M  | = Lanau ( <i>Silt</i> )                                                        |
| O  | = Lanau atau lempung organik ( <i>Organic Silt or Clay</i> )                   |
| Pt | = Tanah gambut dan tanah organik tinggi ( <i>Peat and Higly Organic Soil</i> ) |
| W  | = Gradasi baik ( <i>Well-Graded</i> )                                          |

Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi Tanah USCS

| Kriteria untuk Menetapkan Simbol-Simbol Kelompok dan Nama-Nama Kelompok Menggunakan Pengujian-Pengujian Laboratorium <sup>A</sup> |                                                                          |                                                      |                                                 | Klasifikasi Tanah |                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|
|                                                                                                                                   |                                                                          |                                                      |                                                 | Simbol Kelompok   | Nama Kelompok <sup>B</sup>            |
| TANAH BERBUTIR KASAR >50% tertahan saringan No. 200                                                                               | Kerikil (Lebih besar dari 50% Fraksi kasar yang tertahan saringan No. 4) | Kerikil bersih (Butir halus $C < 5\%$ )              | $C_u \geq 4$ dan $1 \leq C_c \leq 3^D$          | GW                | Kerikil <sup>E</sup> bergradasi baik  |
|                                                                                                                                   |                                                                          |                                                      | $C_u < 4$ dan/atau $C_c < 1$ atau $C_c > 3^D$   | GP                | Kerikil <sup>E</sup> bergradasi buruk |
|                                                                                                                                   |                                                                          | Kerikil dengan butir halus (Butir halus $C > 12\%$ ) | Butir halus diklasifikasikan sebagai ML atau MH | GM                | Kerikil <sup>E, F, G</sup> lanauan    |
|                                                                                                                                   |                                                                          |                                                      | Butir halus diklasifikasikan sebagai CL atau CH | GC                | Kerikil <sup>E, F, G</sup> lempungan  |
|                                                                                                                                   | Pasir (Lebih besar $\geq 50\%$ Fraksi kasar yang lolos saringan No. 4)   | Pasir bersih (Butir halus $H < 5\%$ )                | $C_u \geq 6$ dan $1 \leq C_c \leq 3^D$          | SW                | Pasir <sup>I</sup> bergradasi baik    |
|                                                                                                                                   |                                                                          |                                                      | $C_u < 6$ dan/atau $C_c < 1$ atau $C_c > 3^D$   | SP                | Pasir <sup>I</sup> bergradasi buruk   |
|                                                                                                                                   |                                                                          | Pasir dengan butir halus (Butir halus $H > 12\%$ )   | Butir halus diklasifikasikan sebagai ML atau MH | SM                | Pasir <sup>F, G, I</sup> lanauan      |
|                                                                                                                                   |                                                                          |                                                      | Butir halus diklasifikasikan sebagai CL atau CH | SC                | Pasir <sup>F, G, I</sup> lempungan    |

Lanjutan Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi Tanah USCS

| Kriteria untuk Menetapkan Simbol-Simbol Kelompok dan Nama-Nama Kelompok Menggunakan Pengujian-Pengujian LaboratoriumLaboratorium <sup>A</sup> |                                   |                                                                               |                                                 | Klasifikasi Tanah |                                     |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|--------|
|                                                                                                                                               |                                   |                                                                               |                                                 | Simbol Kelompok   | Nama Kelompok <sup>B</sup>          |        |
| +TANAH BERBUTIR HALUS ≥ 50% lolos saringan No. 200                                                                                            | Lanau dan lempung Batas cair < 50 | Non Organik                                                                   | PI > 7 dan terletak pada atau di atas garis “A” | CL                | Lempung <sup>K,L,M</sup> rendah     |        |
|                                                                                                                                               |                                   |                                                                               | PI < 4 atau terletak di bawah garis “A”         | ML                | Lanau <sup>K,L,M</sup>              |        |
|                                                                                                                                               |                                   | Organik                                                                       | Batas cair - kering oven                        | OL                | Lempung <sup>K,L,M,N</sup> organik  |        |
|                                                                                                                                               |                                   |                                                                               | Batas cair – tidak kering                       |                   | Lanau <sup>K,L,M,O</sup> organik    |        |
|                                                                                                                                               | Lanau dan lempung Batas cair ≥ 50 | Non Organik                                                                   | PI terletak pada atau di atas garis “A          | CH                | Lempung <sup>K,L,M</sup> tinggtiang |        |
|                                                                                                                                               |                                   |                                                                               | PI terletak di bawah garis “A”                  | MH                | Lanau <sup>K,L,M</sup> elastis      |        |
|                                                                                                                                               |                                   | Organik                                                                       | Batas cair - kering oven                        | OH                | Lempung <sup>K,L,M,P</sup> organik  |        |
|                                                                                                                                               |                                   |                                                                               | Batas cair – tidak kering                       |                   | Lempung <sup>K,L,M,O</sup> organik  |        |
|                                                                                                                                               | TANAH BERORGANIK                  | Secara primer terdiri atas zat-zat organik, berwarna gelap dan berbau organik |                                                 | PT                |                                     | Gambut |

**Lanjutan Tabel 3,1 Klasifikasi Tanah USCS**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <sup>A</sup> Berdasarkan material lolos ayakan 3 inci (75 mm)                                                                                                                                                                                                                        |
| <sup>B</sup> Apabila contoh lapangan mengandung bongkahan atau kerakal, atau keduanya tambahkan “dengan bongkahan atau kerakal atau keduanya” pada nama kelompok                                                                                                                     |
| <sup>C</sup> Kerikil-kerikil dengan butiran halus 5% sampai dengan 12% diperlukan simbol ganda: GW–GM Kerikil bergradasi baik dengan lanau, GW–GC Kerikil bergradasi baik dengan lempung, GP–GM Kerikil bergradasi jelek dengan lanau, GP–GC Kerikil bergradasi jelek dengan lempung |
| <sup>D</sup> $Cu = D_{60}/D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$                                                                                                                                                                                                           |
| <sup>E</sup> Apabila tanah mengandung $\geq 15\%$ pasir, tambahkan “dengan pasir” pada nama kelompok                                                                                                                                                                                 |
| <sup>F</sup> Apabila butiran halus diklasifikasikan sebagai CL–ML gunakan simbol ganda GC–GM atau SC–SM,                                                                                                                                                                             |
| <sup>G</sup> Apabila butiran halus adalah organik, tambahkan “dengan butiran halus organik” pada nama kelompok                                                                                                                                                                       |
| <sup>H</sup> Pasir-pasir dengan butiran halus 5% sampai dengan 12% diperlukan simbol ganda: SW–SM Pasir bergradasi baik dengan lanau SW–SC Pasir bergradasi baik dengan lempung SP–SM Pasir bergradasi buruk dengan lanau SP–SC Pasir bergradasi jelek dengan lempung                |
| <sup>L</sup> Apabila tanah mengandung $\geq 15\%$ kerikil, tambahkan “dengan kerikil” pada nama kelompok                                                                                                                                                                             |
| <sup>J</sup> Apabila batas-batas Atterberg berada di dalam daerah yang diarsir, tanah adalah lempung lanauan CL– ML                                                                                                                                                                  |
| <sup>K</sup> Apabila tanah mengandung 15% sampai 29% tertahan ayakan No, 200, tambahkan “dengan pasir” atau “dengan kerikil” mana yang paling dominan                                                                                                                                |
| <sup>L</sup> Apabila tanah mengandung $\geq 30\%$ tertahan ayakan No, 200 dan dominan pasir, tambahkan “pasiran” pada nama kelompok                                                                                                                                                  |
| <sup>M</sup> Apabila tanah mengandung $\geq 30\%$ tertahan ayakan No, 200 dan dominan kerikil, tambahkan “kerikilan” pada nama kelompok                                                                                                                                              |
| <sup>N</sup> $PI \geq 4\%$ dan berada pada atau di atas garis “A” O $PI < 4\%$ atau berada di bawah garis “A” P $PI$ berada di atas garis “A”                                                                                                                                        |
| <sup>Q</sup> $PI$ berada di bawah garis “A”                                                                                                                                                                                                                                          |

(Sumber: SNI 6371-2015, Pasal 4,2)

### 3.2 Penyelidikan Tanah

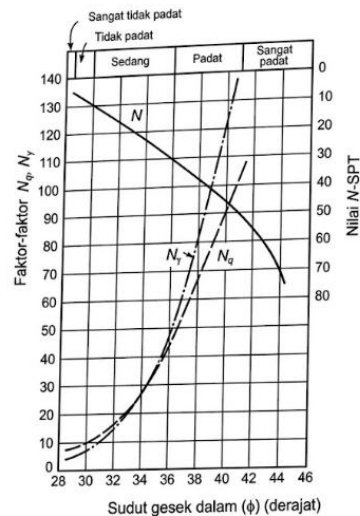
Penyelidikan tanah merupakan tahapan pertama yang harus dilakukan ketika ingin melaksanakan pembangunan. Penyelidikan ini dilakukan guna mengetahui karakteristik mekanis serta daya dukung tanah pada lokasi konstruksi, Selain itu, penyelidikan tanah memiliki tujuan untuk mengetahui kedalaman tanah keras, posisi muka air tanah, dan parameter tanah yang diperlukan dalam analisis fondasi.

Pada umumnya, penyelidikan tanah yang dilakukan pada proyek adalah *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT). Pada tahapan awal di setiap pengujian, dilakukan pengambilan sampel tanah yang dibagi menjadi dua jenis, yaitu tanah terganggu (*Disturbed Sample*) dan tanah tidak terganggu (*Undisturbed Sample*). Pengujian di lapangan sangat penting dilakukan untuk tanah yang mudah terganggu, seperti tanah nonkohesif (Hardiyatmo, 2002).

### 3.2.1 *Standard Penetration Test* (SPT)

*Standard Penetration Test* (SPT) pada umumnya digunakan untuk menentukan kekuatan dan sifat deformasi tanah berbutir kasar, serta dapat digunakan untuk memperoleh informasi tentang jenis tanah (SNI-8460, 2017). Pengujian ini dilakukan dengan cara pengeboran inti pada lapis tanah yang diuji. Mata bor akan dilepas dan diganti dengan alat yang disebut *Standard Split Sampler*, kemudian pipa bor diturunkan kembali hingga alat tersebut menumpu pada lapisan tanah yang akan diuji.

Pada ujung pipa bor dipasangkan alat dengan berat 63,5 kg sebagai pemberatnya yang akan digantung pada sebuah kerekan, Pemberat ini akan ditarik naik dan turun dengan tinggi jatuh sejauh 76 cm. Sesudah suatu pemukulan awal sedalam 15 cm, jumlah pukulan untuk setiap penurunan *Split Barrel Sampler* sebesar 30,5 cm dihitung. Nilai N didefinisikan sebagai jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk penetrasi silinder *Split Barrel Sampler* sedalam 30,5 cm pada setiap pengujian, Jumlah pukulan dihubungkan secara empiris dengan kerapatan relatif dari tanah pasir. Pengujian sebaiknya dilakukan pada interval kedalaman yang diperkirakan penting (Hardiyatmo, 2002). Nilai N-SPT yang digunakan dalam analisis adalah penjumlahan jumlah pukulan pada penetrasi 15 cm kedua dan 15 cm ketiga ( $N_2 + N_3$ ), Nilai ini merepresentasikan perlawanan penetrasi standar tanah pada kedalaman yang diuji. Gambar 3.1 menunjukkan korelasi antara nilai N-SPT dengan sudut geser dalam ( $\phi$ ) menurut Peck dkk, (1953). Parameter  $\phi$  ini akan digunakan sebagai input data kekuatan geser tanah pada pemodelan *software* Plaxis 2D.



**Gambar 3.1 Hubungan nilai SPT,  $\phi$  dan faktor kapasitas dukung**  
( Sumber: Hardiyatmo, 2015 )

Sedangkan untuk tanah pasir dapat dihitung menggunakan Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3.2 Korelasi Antara Kepadatan Tanah , N-SPT,  $\gamma$ ,  $\phi$  , dan  $q_u$**

| <i>Cohesionless Soil</i>                                     |              |               |              |                   |
|--------------------------------------------------------------|--------------|---------------|--------------|-------------------|
| N                                                            | 0-10         | 11-30         | 31-50        | >50               |
| <i>Unit weight <math>\gamma</math>,<br/>kN/m<sup>3</sup></i> | 12-16        | 14-18         | 16-20        | 18-23             |
| <i>Angle of friction <math>\phi</math></i>                   | 25-32        | 28-36         | 30-40        | >35               |
| <i>State</i>                                                 | <i>Loose</i> | <i>Medium</i> | <i>Dense</i> | <i>Very dense</i> |

(Sumber: Bowles 1991)

Selain parameter kekuatan geser, analisis numerik pada *software* PLAXIS 2D juga memerlukan parameter kekakuan tanah berupa modulus elastisitas ( $E$ ) untuk menghitung besarnya penurunan. Karena keterbatasan data pengujian laboratorium, nilai  $E$  diestimasi secara empiris berdasarkan nilai NSPT menurut Bowles (1977) dalam Hardiyatmo (2010). Perkiraan nilai modulus elastisitas berdasarkan jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

**Tabel 3.3 Nilai Perkiraan Modulus Elastis Tanah (Bowles 1997)**

| Macam Tanah       | $E$ (kN/m <sup>2</sup> ) |
|-------------------|--------------------------|
| Lempung           |                          |
| Sangat Lunak      | 300 - 3000               |
| Sedang            | 2000 - 4000              |
| Keras             | 4500 - 9000              |
| Berpasir          | 7000 - 20000             |
| Pasir             |                          |
| Berlanau          | 5000 - 20000             |
| Tidak Padat       | 10000 - 25000            |
| Padat             | 50000 - 100000           |
| Pasir dan Kerikil |                          |
| Padat             | 80000 - 200000           |
| Tidak Padat       | 50000 - 140000           |
| Lanau             | 2000 - 20000             |
| loess             | 15000 - 60000            |
| Serpih            | 140000 - 1400000         |

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Dalam perencanaan fondasi tiang, pemilihan nilai koefisien empiris menjadi salah satu faktor penting yang memengaruhi akurasi perhitungan daya dukung. Nilai koefisien ini bervariasi tergantung pada jenis tanah dan tipe tiang yang digunakan. Nilai koefisien empiris berdasarkan Vesic (1977) dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut .

**Tabel 3.4 Nilai Koefisien Empiris**

| Tipe Tanah             | Tiang Pancang | Tiang Bor   |
|------------------------|---------------|-------------|
| Pasir (Padat – Lepas)  | 0,02 – 0,04   | 0,09 – 0,18 |
| Lempung (Kaku – Lunak) | 0,02 – 0,03   | 0,03 – 0,06 |
| Lanau (Padat – Lepas)  | 0,03 – 0,05   | 0,09 – 0,12 |

(Sumber: Vesic, 1977 )

### 3.3 Analisis Pembebanan

Penelitian ini menggunakan SNI 1726:2019 sebagai acuan utama perhitungan tentang tata cara perencanaan ketahanan. Gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung. Adapun tahapan dari perhitungan yang akan dilakukan menurut SNI 1726:2019 adalah sebagai berikut.

#### 3.3.1 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko

Berdasarkan SNI 1726:2019, berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non-gedung sesuai Tabel 3.5 dan kategori risiko bangunan dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut.

**Tabel 3.5 Kategori Risiko Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa**

| Jenis Pemanfaatan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Kategori risiko |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul> termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul> | I               |
| Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | III             |

**Lanjutan Tabel 3.5 Kategori Risiko Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa**

| Jenis pemanfaatan                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Kategori risiko |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <p>- Bangunan untuk orang jompo<br/>Gedung dan non gedung, tidak termasuk ke dalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah dan Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang Berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran,</p> | III             |
| <p>Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan, Rumah ibadah</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi serta garasi kendaraan darurat</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | IV              |
| <p>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat, Gedung dan non-gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV,</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | IV              |

(Sumber: SNI-1726-2019, Pasal 4.1.2)

**Tabel 3.6 Faktor Keutamaan Gempa**

| Kategori risiko | Faktor keutamaan gempa, $I_e$ |
|-----------------|-------------------------------|
| I atau II       | 1,0                           |
| III             | 1,25                          |
| IV              | 1,50                          |

( Sumber: SNI-1726-2019, Pasal 4.1)

### 3.3.2 Kelas Situs

Tipe kelas situs harus ditetapkan sesuai dengan definisi dari Tabel 3.7 dan pasal-pasal berikut.

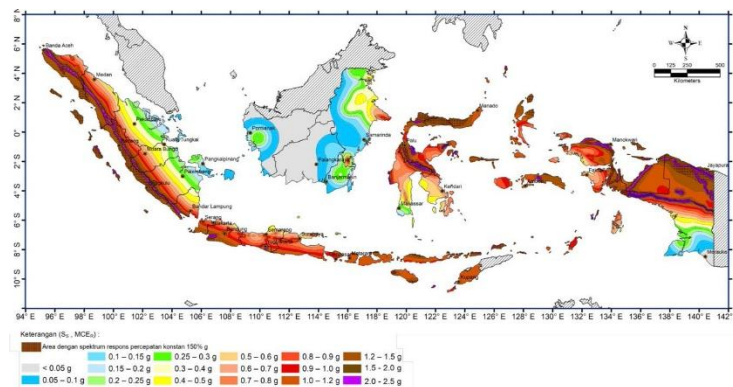
**Tabel 3.7 Klasifikasi Kelas Situs**

| Kelas situs                                                                                                             | $\bar{V}_s$ (m/detik)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$ | $\bar{S}_u$ (kPa) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| SA (batuan keras)                                                                                                       | >500                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | N/A                           | N/A               |
| SB (batuan)                                                                                                             | 750 sampai 1500                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | N/A                           | N/A               |
| SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)                                                                         | 350 sampai 750                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | >50                           | $\geq 100$        |
| SD (tanah sedang)                                                                                                       | 175 sampai 350                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 15 sampai 50                  | 50 sampai 100     |
| SE (tanah lunak)                                                                                                        | <175                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <15                           | < 50              |
|                                                                                                                         | Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :<br>1. Indeks plastisitas, $PI \geq 20$ ,<br>2. Kadar air, $w \geq 40\%$ ,<br>3. Kuat geser niralis $s_u \geq 25$ kPa                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                               |                   |
| SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0) | Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:<br>- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah Likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)<br>- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks Pasitisitas $PI > 75$ )<br>- Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m Dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa |                               |                   |

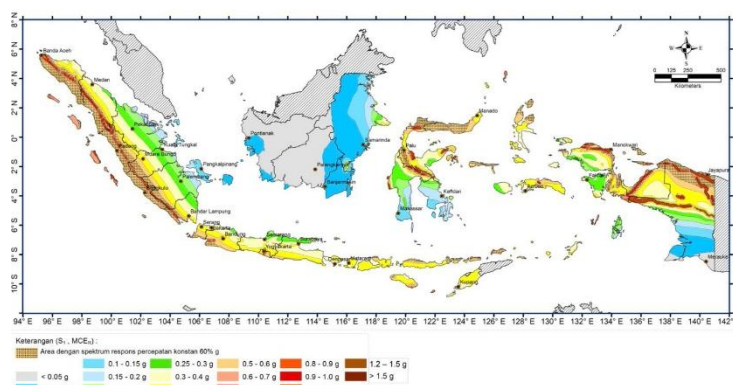
( Sumber SNI 1726-2019, Pasal 5.3)

### 3.3.3 Parameter Percepatan Perpetakan

$s_s$  merupakan parameter nilai percepatan respons spektral gempa  $MCE_R$  risiko-target pada periode pendek, teredam 5%, sebagaimana yang dijelaskan dalam 0 detik adalah parameter nilai percepatan respons spektral gempa *subscript base* , cap M cap C cap E ,end base, sub cap R risiko-tertarget pada periode 1 detik, teredam 5% sebagaimana dijelaskan dalam 0. Dan gambar peta gempa maksimum yang dipertimbangkan ( $MCE_R$ ) parameter-parameter gerak tanah  $s_s$  dan  $s_1$  dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 berikut.



**Gambar 3.2 Parameter Gerak Tanah Periode Pendek**  
(Sumber: SNI 1726-2019, Gambar 15)



**Gambar 3.3 Parameter Gerak Tanah Periode 1 Detik**  
(Sumber: SNI 1726-2019, Gambar 16)

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, cap S sub cap D s, dan pada periode 1 detik,  $S_{D1}$ , harus ditentukan melalui Persamaan 3.1 dan 3.2 berikut ini,

$$S_{Ds} = \frac{2}{3} S_{Ms} \quad (3.1)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.2)$$

Jika digunakan prosedur desain yang disederhanakan sesuai dengan Pasal 8, maka nilai s sub cap D s harus ditentukan sesuai dengan 0 dan nilai s sub cap D 1 tidak perlu ditentukan.

#### 3.3.4 Penentuan Periode

Periode fundamental struktur, T, dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen dalam analisis yang teruji, Periode fundamental struktur, T, tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan pada periode yang dihitung ( $C_u$ ) dari Tabel 3,5 dan periode fundamental pendekatan,  $T_a$ , yang ditentukan sesuai dengan ketentuan yang berlaku, Apabila periode fundamental struktur, T, yang diperoleh dari hasil analisis melebihi nilai batas tersebut, maka nilai  $C_u \times T_a$  harus digunakan sebagai periode fundamental struktur dalam perhitungan selanjutnya, Nilai koefisien  $C_u$  yang digunakan sebagai batas atas periode yang dihitung dapat ditentukan berdasarkan nilai parameter percepatan spektral desain pada periode 1 detik ( $S_{D1}$ ), sebagaimana tercantum dalam Tabel 3.8 berikut ini.

| <b>Tabel 3.8 Koefisien Untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung</b>                |                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, <math>S_{D1}</math></b> | <b>Koefisien <math>C_u</math></b> |
| $\geq 0,4$                                                                            | 1,4                               |
| 0,3                                                                                   | 1,4                               |
| 0,2                                                                                   | 1,5                               |
| 0,15                                                                                  | 1,6                               |
| $\leq 0,1$                                                                            | 1,7                               |

(Sumber: SNI 1726-2019, pasal 7.8)

**Tabel 3.9 Nilai Parameter periode Pendekatan  $C_t$  dan  $X$** 

| <b>Tipe struktur</b>                                                                                                                                                                                                            | <b><math>C_t</math></b> | <b><math>X</math></b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik : | 0,0724                  | 0,8                   |
| Rangka baja pemikul                                                                                                                                                                                                             | 0,0466                  | 0,9                   |
| Rangka beton pemikul                                                                                                                                                                                                            |                         |                       |
| Rangka baja dengan bresing eksentris                                                                                                                                                                                            | 0,0731                  | 0,75                  |
| Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk                                                                                                                                                                             | 0,0731                  | 0,75                  |
| Semua sistem struktur lainnya                                                                                                                                                                                                   | 0,488                   | 0,75                  |

(sumber: SNI 1726-2019, pasal 7.8)

Sebagai alternatif, diizinkan untuk menentukan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat, di mana sistem pemikul gaya seismik terdiri dari rangka pemikul momen yang seluruhnya baja dan rata-rata tinggi tingkat sekurang-kurangnya 3 m, sebagaimana dapat dilihat pada Persamaan 3.3 berikut.

$$T_a = 0,1 N \quad (3.3)$$

Keterangan :

$N$  = jumlah tingkat

Untuk struktur dinding geser batu bata atau dinding geser beton dengan tinggi tidak melebihi 36,6 m, perhitungan periode fundamental pendekatan  $T_a$  diizinkan menggunakan Persamaan 3.4 sebagai berikut.

$$T_a = \frac{0,0058}{\sqrt{C_w}} h_n \quad (3.4)$$

Di mana  $h_n$  didefinisikan di atas  $C_w$  dihitung dari Persamaan 3.5 berikut :

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \frac{A_i}{\left[1 + 0,83 \left(\frac{h_n}{D_i}\right)^2\right]} \quad (3.5)$$

Keterangan:

$A_B$  = luas dasar struktur ( $m^2$ )

$A_i$  = luas badan dinding geser ke-i ( $m^2$ )

$D_i$  = panjang dinding geser ke i (m)

x = jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif memikul gaya lateral dalam ditinjau,

### 3.3.4 Kategori Desain Seismik

Untuk mendesain struktur harus memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal ini struktur dengan kategori risiko I, II, III yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan perpetakan pada periode 1 detik,  $S_i$ , lebih besar atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respon spektral di percepatan perpetakan pada periode 1 detik,  $S_i$ , lebih besar atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan

kategori desain seismik F. Semua struktur lain harus di tetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori resikoanya dan parameter respon spektral percepatan desainnya, SDS dan SDI, sesuai dengan 0. Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 3.9 dan Tabel 3.10, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur, T.

**Tabel 3.10 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek**

| Nilai $S_{DS}$             | Kategori Risiko    |    |
|----------------------------|--------------------|----|
|                            | I atau II atau III | IV |
| $S_{DS} < 0,167$           | A                  | A  |
| $0,167 \leq S_{DS} < 0,33$ | B                  | C  |
| $0,33 \leq S_{DS} < 0,50$  | C                  | D  |
| $0,50 \leq S_{DS}$         | D                  | D  |

(Sumber: SNI 1726-2019, Tabel 9)

**Tabel 3.11 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik**

| Nilai $S_{DI}$              | Kategori Risiko    |    |
|-----------------------------|--------------------|----|
|                             | I atau II atau III | IV |
| $S_{DI} < 0,067$            | A                  | A  |
| $0,067 \leq S_{DI} < 0,133$ | B                  | C  |
| $0,133 \leq S_{DI} < 0,20$  | C                  | D  |
| $0,20 \leq S_{DI}$          | D                  | D  |

(Sumber: SNI 1726-2019, Tabel 9)

### 3.3.5 Geser dasar seismik

Gaya geser seismik, V, dalam arah yang di tetapkan harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 3.6 berikut.

$$V = C_s W \quad (3.6)$$

Di mana  $C_s$  dihitung dengan Persamaan 3.7 berikut,

$$C_s = \frac{S_{Ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.7)$$

Nilai  $C_s$  yang dihitung dengan Persamaan 3.8 sesuai dengan Persamaan 3.8 tidak perlu melebihi berikut ini :

Untuk  $T \leq T_L$ , dapat dilihat pada Persamaan 3.8 berikut.

$$C_s = \frac{S_{DI}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.8)$$

Untuk  $T > T_L$ , dapat dilihat pada Persamaan 3.9 berikut.

$$C_s = \frac{S_{DI} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.9)$$

$C_s$  tidak boleh kurang dari  $C_s = 0,044 S_{Ds} I_e \geq 0,01$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana  $S_I$  sama dengan atau lebih besar dari 0,6 g, maka  $C_s$  harus tidak kurang dari Persamaan 3.10 berikut.

$$C_s = \frac{0,5 S_I}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.10)$$

Keterangan :

$C_s$  = Koefisien respon seismik yang ditentukan sesuai dengan 0

W = Berat seismik efektif menurut 0

- $S_{Ds}$  = Parameter percepatan respon spektral desain dalam rentang periode pendek seperti ditentukan dalam 0 atau 0  
 $S_{SI}$  = Parameter percepatan respon spektral desain pada periode sebesar 0,1 detik, seperti yang ditentukan dalam 0  
 $R$  = Koefisien modifikasi respon dalam Tabel 12  
 $I_e$  = Faktor keutamaan + gempa yang ditentukan sesuai dengan 0  
 $T$  = Periode fundamental (detik) yang ditentukan 0  
 $S_I$  = Parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan yang ditentukan sesuai 0

### 3.4 Fondasi Tiang Bor (*Bored Pile*)

Fondasi tiang bor (*bored pile*) adalah jenis fondasi dalam yang dilaksanakan dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu hingga mencapai kedalaman rencana, kemudian dimasukkan tulangan baja yang telah dirangkai dan dicor dengan beton secara langsung (*in situ*). Fondasi jenis tiang bor ini, bila digunakan pada jenis tanah yang kaku dan stabil, akan sangat memungkinkan terbentuknya tanah yang stabil dengan alat bor. Namun, jika dipakai untuk jenis tanah yang mengandung air, maka akan dibutuhkan pipa untuk menahan dinding lubang. Dan, jika untuk jenis tanah keras atau batuan lunak, dilakukan pembesian pada dasar tiang agar menambah daya tahanan dukung pada ujung tiang (Hardiyatmo, 2015).

### 3.5 Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor

Kapasitas daya dukung merupakan kemampuan suatu struktur untuk menahan beban yang diterima oleh struktur dan struktur yang berada di atasnya, sedangkan pengertian dari kapasitas tiang itu sendiri didefinisikan sebagai beban maksimum yang dapat ditahan oleh tiang tanpa menimbulkan keruntuhan geser (*Shear Failure*) pada tanah pendukungnya dan tanpa menyebabkan penurunan (*Settlement*) yang berlebihan pada tiang (Hardiyatmo, 2008). Berdasarkan dari perhitungan beban pada tiangnya dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu :

1. Tahanan ujung tiang (*End Bearing*)

Tahanan ujung ( $Q_b$ ) merupakan kapasitas dukung yang ditentukan oleh ujung tiang fondasi. Pada umumnya, tahanan ujung ( $Q_b$ ) bekerja ketika beban disalurkan melalui batang tiang menuju lapisan tanah keras yang berada di bawah tanah lunak. Fondasi dapat menahan beban di atasnya dan tidak akan menyebabkan penurunan yang berlebihan.

2. Tahanan Gesek Dinding (*Skin Friction*)

Tahanan gesek pada dinding ( $Q_s$ ) merupakan kapasitas dukung yang terjadi akibat adanya interaksi geser pada *interface* antara permukaan tiang beton dengan massa tanah di sekeliling tiang. Perhitungan tahanan gesek dinding menjadi hal yang harus diperhitungkan pada saat perencanaan fondasi karena memengaruhi konsolidasi pada lapis tanah di bawahnya,

Rumusan untuk menghitung daya dukung tiang bor ditunjukkan pada Persamaan 3.11 berikut.

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s \quad (3.11)$$

Keterangan :

$Q_{ult}$  = daya dukung ultimit tiang (kN)

$Q_b$  = daya dukung ultimit ujung tiang (kN)

$Q_s$  = daya dukung ultimit selimut tiang (kN)

Perhitungan kapasitas dukung dapat disesuaikan dengan jenis tanah yang didapatkan pada hasil tes penyelidikan tanah,

### 3.5.1 Kapasitas Dukung Tiang Tunggal

1. Kapasitas Daya Dukung Metode Reese & Wright (1977)

Kapasitas daya dukung tiang tunggal dapat dihitung dengan metode Reese & Wright (1977) dengan Persamaan 3.12 berikut.

a. Daya dukung ujung

$$Q_p = A_p \times q_p \quad (3.12)$$

Keterangan :

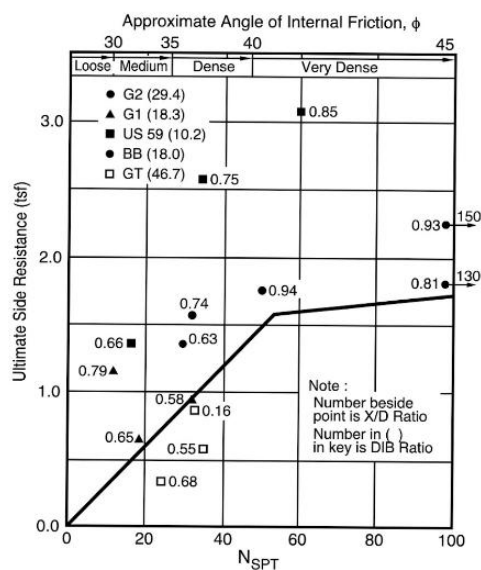
$Q_p$  = daya dukung ujung (ton)

$A_p$  = luas penampang bored pile ( $\text{m}^2$ )

$q_p$  = tahanan ujung per satuan luas ( $\text{ton}/\text{m}^2$ )

Untuk tanah non kohesif :

Reese & Wright (1977) mengusulkan korelasi antara  $q_p$  dan  $N_{\text{spt}}$  seperti yang terlihat pada Gambar 3.4 berikut.



**Gambar 3.4 Grafik Korelasi  $q_p$  dan  $N_{\text{spt}}$**   
(Sumber: Reese & Wright, 1997)

b. daya dukung selimut

Daya dukung selimut dapat dilihat pada Persamaan 3.13 berikut.

$$Q_s = f \times L \times p \quad (3.13)$$

Keterangan :

$Q_s$  = daya dukung selimut tiang (ton)

$f$  = gesekan selimut tiang persatuan luas ( $\text{ton/m}^2$ )

$L$  = panjang tiang bor (m)

$p$  = keliling penampang tiang (m)

Karena gesekan pada selimut tiang dipengaruhi oleh jenis tanah, maka gesekan selimut pada tanah nonkohesi, besaran  $f$  dapat diperoleh dari korelasi langsung dengan  $N_{spt}$  yang dapat dilihat pada Persamaan 3.14 berikut.

$$\text{Untuk } N < 53, \text{ maka } f = 0,32 \times N_{spt} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (3.14)$$

c. daya dukung *ultimate*

Adapun untuk menghitung daya dukung ultimit pada metode Reese & Wright menggunakan Persamaan 3.15 berikut.

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (3.15)$$

Keterangan

$Q_u$  = daya dukung ultimit (ton)

$Q_p$  = daya dukung ujung ultimit (ton)

$Q_s$  = daya dukung selimut tiang (ton)

d. kapasitas dukung izin tiang

Kapasitas dukung tiang dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.16 berikut.

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \quad (3.16)$$

Keterangan :

$Q_{all}$  = kapasitas dukung izin tiang (kN)

$Q_u$  = daya dukung ultimit (kN)

SF = SF = angka aman untuk tahanan ujung tiang (kN)

2. Kapasitas dukung tiang tunggal metode Meyerhof

a. daya dukung ujung tiang

Daya dukung ujung tiang dapat dihitung dengan Persamaan 3.17 berikut,

$$Q_p = A_p \times f_p \quad (3.17)$$

Keterangan

$Q_p$  = daya dukung ujung (kN)

$A_p$  = luas penampang bored pile (m<sup>2</sup>)

$f_p$  = tahanan ujung satuan (kN/m<sup>2</sup>)

Untuk mengetahui nilai  $f_p$  maka dilakukan perhitungan menggunakan Persamaan 3.18 sebagai berikut.

$$f_p = 0,4 \times N_{60}' \times (L/D) \times \sigma_r \leq 3 \times N_{60}' \times \sigma_r \quad (3.18)$$

Keterangan

$N_{60}'$  =  $N_{spt}$  yang di korelasi

$D$  = diameter tiang (m)

$L$  = panjang tiang (m)

$\sigma_r$  = tegangan referensi

b. daya dukung selimut

Daya dukung selimut dapat dihitung dengan Persamaan 3.19 berikut,

$$Q_s = \sum A_s \times f_s \quad (3.19)$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma_r \times N_{60} \quad (3.20)$$

Keterangan :

$Q_s$  = daya dukung selimut (kN)

$A_s$  = luas selimut tiang (m<sup>2</sup>)

$N_{60}$  = nilai  $N_{spt}$  perlapsan tanah

$\sigma_r$  = tegangan referensi

c. daya dukung ultimit

Daya dukung ultimit dapat dihitung dengan Persamaan 3.21 berikut.

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (3.21)$$

Keterangan

$Q_u$  = daya dukung ultimit (kN)

$Q_p$  = daya dukung ujung ultimit (kN)

$Q_s$  = daya dukung selimut tiang (kN)

d. kapasitas dukung izin tiang

Kapasitas dukung izin tiang dapat dihitung dengan Persamaan 3.22 berikut.

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \quad (3.23)$$

Keterangan :

$Q_{all}$  = kapasitas dukung izin tiang (kN)

$Q_u$  = daya dukung ultimit (kN)

SF = angka aman ujung tiang

### 3.5.2 Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

1. Jumlah tiang kelompok (n)

Untuk menentukan jumlah tiang pondasi dapat digunakan Persamaan 3.23 berikut.

$$n = \frac{p}{Q_{all}} \quad (3.23)$$

keterangan

$p$  = beban yang bekerja (kN)

$Q_{all}$  = kapasitas dukung izin tiang tunggal (kN)

2. Jarak tiang ( $s$ )

Berdasarkan pada Dirjen Bina Marga Departemen P,U,T,L digunakan Persamaan 3.24 dan Persamaan 3.25 untuk menentukan jarak tiang,

$$S \geq 2,5D \quad (3.24)$$

$$S \geq 3D \quad (3.25)$$

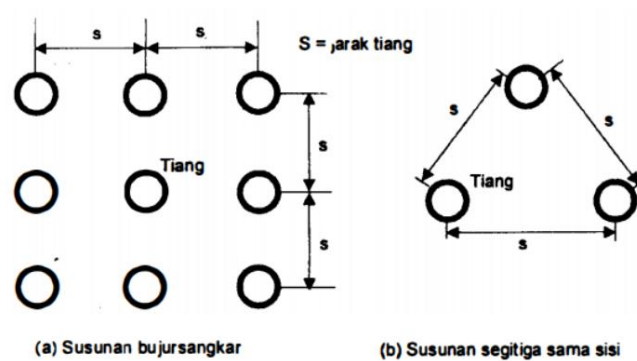
Keterangan

$S$  = jarak antar pusat tiang ke pusat tiang lainnya (m)

$D$  = diameter (m)

3. Efisiensi kelompok tiang

Untuk menghitung efisiensi tiang dapat digunakan metode Converse-Labarre dengan Persamaan 3.26 sebagai berikut dan contoh gambar jarak antar tiang dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



**Gambar 3.5 Jarak Antar Tiang**  
(Sumber: Hardiyatmo, 2008)

$$E_g = 1 - \theta \left( \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right) \quad (3.26)$$

Keterangan

$E_g$  = efisiensi kelompok tiang

$m$  = jumlah baris

$n$  = jumlah barisan tiang dalam satu baris

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

$s$  = jarak pusat tiang ke pusat tiang lainnya (m)

$d$  = diameter tiang (m)

#### 4. Kapasitas ultimit tiang kelompok

Kapasitas ultimit tiang kelompok dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.27 berikut.

$$Q_g = E_g \times n \times Q_{all} \quad (3.27)$$

Keterangan

$Q_g$  = beban maksimum kelompok tiang (kN)

$E_g$  = efisiensi kelompok tiang

$n$  = jumlah tiang

$Q_{all}$  = kapasitas *allowable* tiang bor

#### 5. Analisis distribusi beban elastis

Analisis distribusi beban elastis dapat dihitung dengan Persamaan 3.28 berikut,

$$V_i = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y x_i}{\sum x^2} \pm \frac{M_x y_i}{\sum y^2} \quad (3.29)$$

Keterangan

$V_i$  = beban aksial pada tiang ke-i

$\sum P$  = jumlah beban vertikal yang bekerja pada pusat kelompok tiang

$n$  = banyaknya tiang bor dalam kelompok

$M_y, M_x$  = momen yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu x, y

$x_i, y_i$  = absis atau jarak tiang ke pusat berat kelompok tiang No,-i

$\sum x^2$  = jumlah kuadrat absis-absis tiang bor

$\sum y^2$  = jumlah kuadrat ordinat-ordinat tiang bor

### 3.6 Penurunan

#### 3.6.1 Penurunan tiang tunggal

Penurunan fondasi tiang tunggal dapat dihitung dengan Persamaan 3.29, 3.30, 3.31 dan 3.32 berikut.

$$S = S_{e1} + S_{e2} + S_{e3} \quad (3.29)$$

$$S_{e1} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p} \quad (3.30)$$

$$S_{e2} = \frac{(C_p Q_{wp})}{D, qp} \quad (3.31)$$

$$S_{e3} = \frac{Q_{ws}}{P, L} \times \frac{D}{E_s} (1 - \mu^2) I_{ws} \quad (3.32)$$

## Keterangan

$S$  = Penurunan total fondasi tiang tunggal (m)

$S_{e1}$  = Penurunan akibat deformasi tiang tunggal (m)

$S_{e2}$  = Penurunan dari ujung tiang (m)

$S_{e3}$  = Penurunan akibat beban (m)

$C_p$  = Koefisien empiris

$Q_p$  = Beban yang didukung ujung tian (kN)

$D$  = Diameter tiag (m)

$qp$  = Kapasitas dukung batas ujung tiang ( $\frac{kg}{cm^2}$ )

$A_p$  = Luas penamapang tiang (kN)

$E_p$  = Modulus elastis tiang ( $\frac{kg}{cm^2}$ )

$Q_f$  = Beban yang di dukung selimut tiang (kN)

$P$  = Keliling tiang (m)

$E_s$  = Modulus elastis tanah ( $\frac{kg}{cm^2}$ )

$\mu^2$  = Angka poisson (m)

## 1. Metode vesic

Penurunan tiang tunggal juga dapat dihitung dengan Persamaan 3.33 berikut.

$$S = \frac{D}{100} + \frac{Q,L}{A_b,E_b} \quad (3.34)$$

Keterangan :

- $A_b$  = Luas penampang  
 $D$  = Diameter tiang  
 $E_b$  = Modulus elastisitas tiang  
 $L$  = Panjang tiang tertanam  
 $Q$  = Beban yang bekerja pada tiang  
 $S$  = Penurunan total

Adapun penurunan izin yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan 3.34 berikut.

$$S_{izin} = 10\%D \quad (3.34)$$

Keterangan :

- $D$  = Diameter

### 3.6.2 Penurunan Kelompok tiang

Penurunan kelompok tiang dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.35 berikut.

#### 1. Penurunan Segera

$$S_g = S \sqrt{\frac{Bg}{D}} \quad (3.35)$$

Keterangan,

- $S_g$  = Penurunan fondasi kelompok tiang  
 $S$  = Penurunan fondasi tiang tunggal  
 $Bg$  = Lebar kelompok tiang  
 $D$  = Diameter tiang tunggal

## 2. Penurunan yang diizinkan

Menurut SNI 8460-2017, penurunan yang diizinkan dapat dihitung dengan Persamaan 3.36 berikut.

$$s_{izin} = 15 \text{ cm} + B/600 \quad (3.36)$$

Keterangan

$s_{izin}$  = Penurunan yang diizinkan (cm)

$B$  = Lebar bangunan (cm)

## 3.7 Software Plaxis 2D

Plaxis merupakan salah satu program elemen hingga yang dikembangkan untuk menganalisis deformasi, stabilitas, dan aliran air tanah dalam bidang geoteknik. Tujuan pengembangan program Plaxis adalah memudahkan analisis stabilisasi bangunan yang akan dibangun di atas tanah. Program ini juga dapat membantu melakukan simulasi perilaku tanah dan memodelkan kondisi tanah. Adapun langkah menggunakan Plaxis 2D adalah sebagai berikut.

1. Membuka *input* Plaxis, lalu mengisi judul proyek dan memilih model sesuai proyek yang ingin dibuat.
2. Menentukan satuan dan dimensi pada geometri *project* yang akan dimodelkan, Setelah pemodelan selesai dibuat sesuai dengan gambar rencana dari kondisi asli di lapangan dengan mengaktifkan *Geometry line*.
3. Kemudian berikan gambaran tentang bagaimana struktur berhubungan dengan tanah, Setelah itu, masukkan parameter tanah dan parameter geoteknik struktur untuk setiap lapisan yang terlibat.
4. Kemudian yang harus dilakukan adalah melakukan *meshing* untuk membagi material tanah ke dalam beberapa elemen diskrit yang berhingga.

5. Kemudian, tampilkan kondisi awal untuk menunjukkan gambaran muka air tanah pada pemodelan geometri. Setelah itu, hitung tegangan awal yang terjadi untuk menilai tegangan efektif.
6. Berikutnya, yaitu tahapan kalkulasi untuk menghitung deformasi dan angka aman dengan mensimulasikan ke dalam beberapa fase.
7. Setelah menyelesaikan semua fase, pilih titik nodal yang perlu ditinjau.
8. Kemudian akan muncul jendela *output* yang menghasilkan nilai deformasi dan tegangan-tegangan yang terjadi.

## **BAB IV METODE PENELITIAN**

### **4.1 Metode Penelitian**

Penelitian yang dilakukan merupakan menganalisis nilai daya dukung dan kelayakan fondasi tiang bor menggunakan metode Mayerhoff dan Reese & Wright, objek yang di analisis merupakan proyek Renovasi Pasar Terban Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian ini juga melakukan analisis fondasi tiang bor dengan diameter 0,5 m dan 0,8 m yang bertujuan untuk mengetahui perbedaan nilai kapasitas daya dukungnya dengan nilai daya dukung fondasi eksisting pada proyek konstruksi ini. Setelah melakukan analisis pada nilai daya dukungnya, penelitian ini melakukan analisis pada penurunan (*Settlement*) fondasi dengan menggunakan metode Vesic dan pemodelan PLAXIS 2D untuk mengetahui apakah nilai penurunan fondasi tersebut berada dalam batas toleransi atau tidak. Studi kasus ini diharapkan dapat memberikan kontribusi untuk perencanaan desain fondasi pada masa yang akan datang.

### **4.2 Studi Pustaka**

Studi pustaka menjadi bagian yang penting pada setiap penelitian dan tidak dapat dipisahkan dari proses penelitian. Adapun pengertian dari studi pustaka adalah kegiatan yang dilakukan peneliti guna mencari tahu tentang informasi yang berkaitan dengan permasalahan yang sedang dianalisis. Informasi yang didapatkan bersumber pada laporan penelitian, artikel ilmiah, tesis, buku-buku ilmiah, peraturan-peraturan maupun ketetapan-ketetapan, baik dalam buku cetak maupun berbasis elektronik.

#### 4.3 Lokasi Penelitian

Lokasi proyek Renovasi Pasar Terban terletak di jalan, C, Simanjuntak Nomor 21, Terban, Kecamatan, Gondokusuman, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta, Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



**Gambar 4.1 Lokasi penelitian**

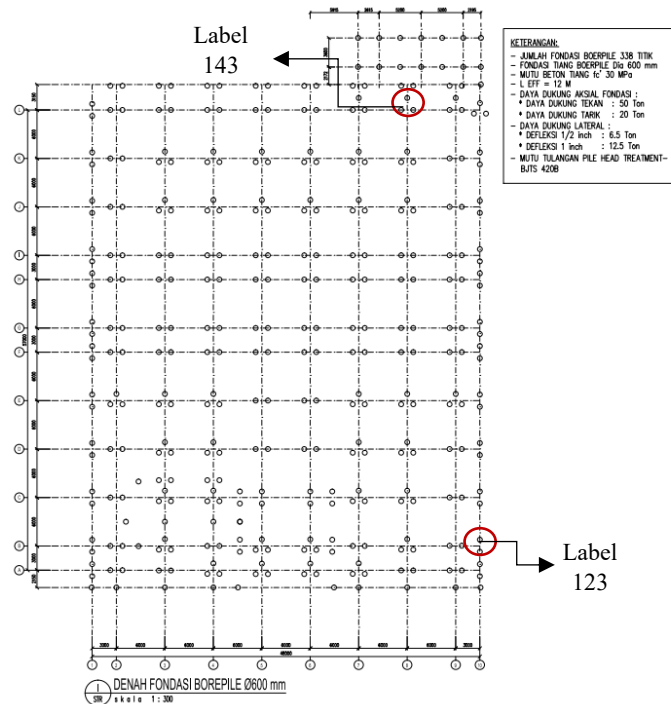
(Sumber : Laporan Struktur Proyek Renovasi Pasar Terban)

#### 4.4 Pengumpulan Data

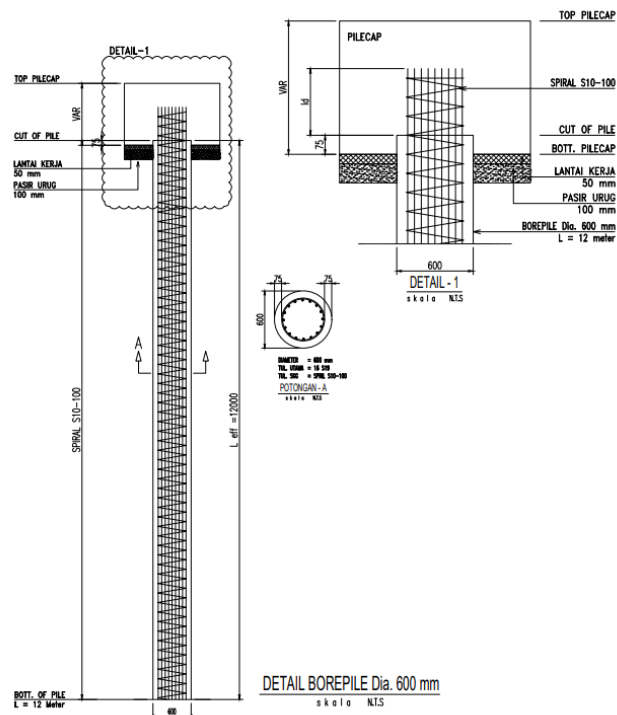
Pada penelitian ini, data diperoleh dari proyek renovasi Pasar Terban Daerah Istimewa Yogyakarta. Adapun data yang digunakan untuk mencapai maksud dan tujuan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Gambar teknis yang di dapatkan merupakan detail-detail dari struktur atas dan struktur bawah berupa fondasi yang digunakan pada proyek renovasi pasar terban daerah istimewa Yogyakarta, pada gambar kerja juga terdapat

dimensi fondasi tiang bor pada proyek renovasi pasar terban daerah istimewa Yogyakarta yang akan di analisis pada Tugas Akhir ini. Adapun gambar detail dimensi fondasi tiang bor dan denah peletakan fondasi tiang bor dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 berikut.



**Gambar 4.2 Denah Fondasi Tiang Bor**  
(Sumber : Laporan Struktur Proyek Renovasi Pasar Terban)



**Gambar 4.3 Detail Fondasi Tiang Bor**

(Sumber : Laporan Struktur Proyek Renovasi Pasar Terban)

2. Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data hasil pengujian pada titik BH 3 dan BH 4 (*Boring/Bor*), Pemilihan kedua titik tersebut didasarkan pada pertimbangan bahwa lokasi titik BH 3 dan BH 4 berada paling berdekatan dengan area Pasar Terban yang menjadi objek kajian, sehingga data yang diperoleh dianggap paling representatif untuk menggambarkan kondisi tanah di bawah struktur pasar tersebut, Selain itu, titik kolom (Fz) yang digunakan dalam analisis juga terletak berdekatan dengan kedua titik uji tersebut, sehingga asumsi distribusi beban kolom terhadap lapisan tanah yang diperoleh dari data BH 3 dan BH 4 dapat dianggap valid dan relevan, Kedekatan posisi antara titik pengujian, titik kolom, dan bangunan yang ditinjau meminimalkan ketidakpastian akibat variasi kondisi tanah secara lateral, sehingga hasil analisis yang diperoleh diharapkan lebih akurat, Data hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) Adapun lokasi pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.



**Gambar 4.4 Lokasi Pengujian CPT dan SPT**  
(Sumber : Laporan Struktur Proyek Renovasi Pasar Terban)

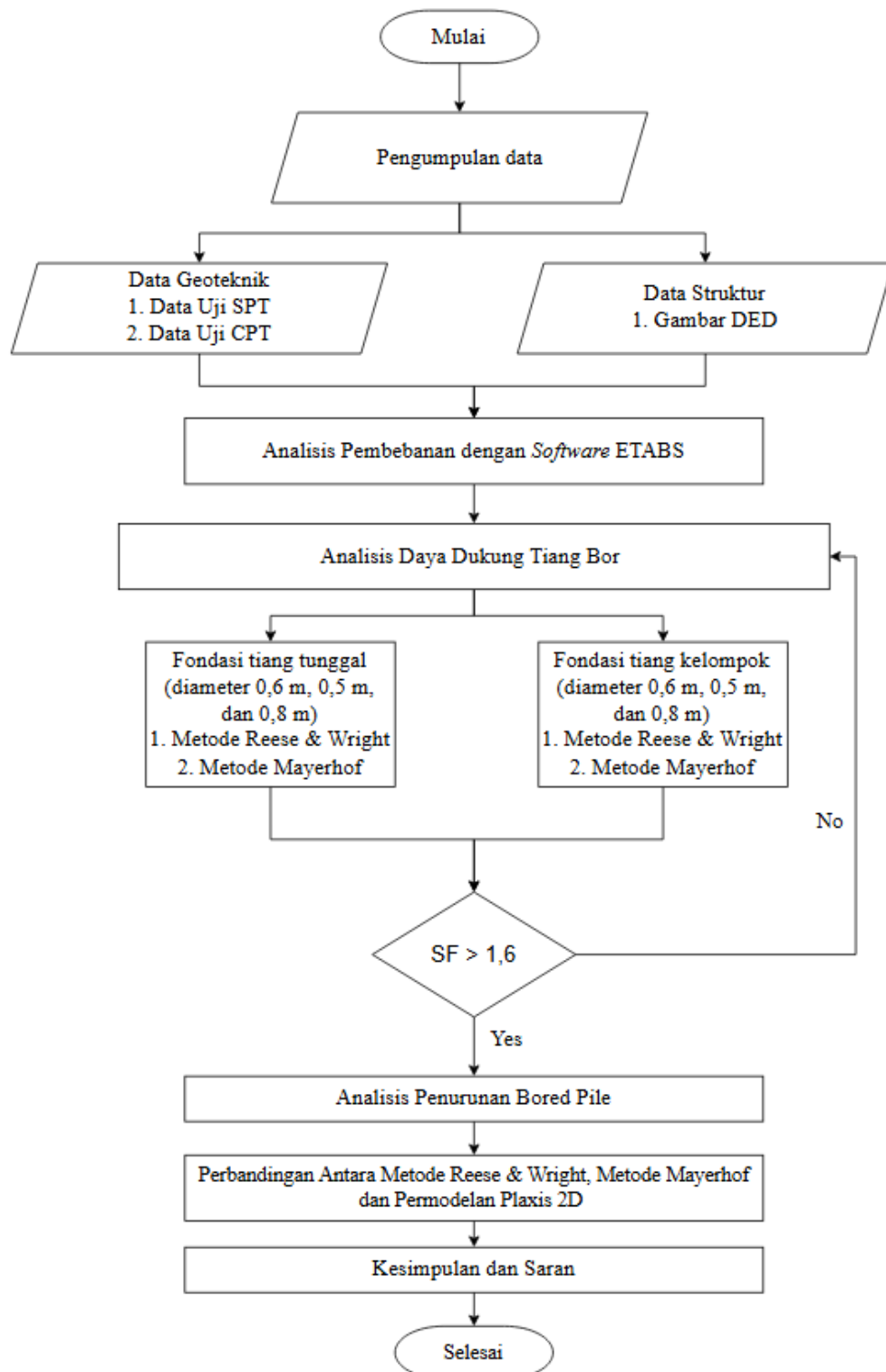
#### 4.5 Analisis Fondasi Bored Pile

Metode analisis yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

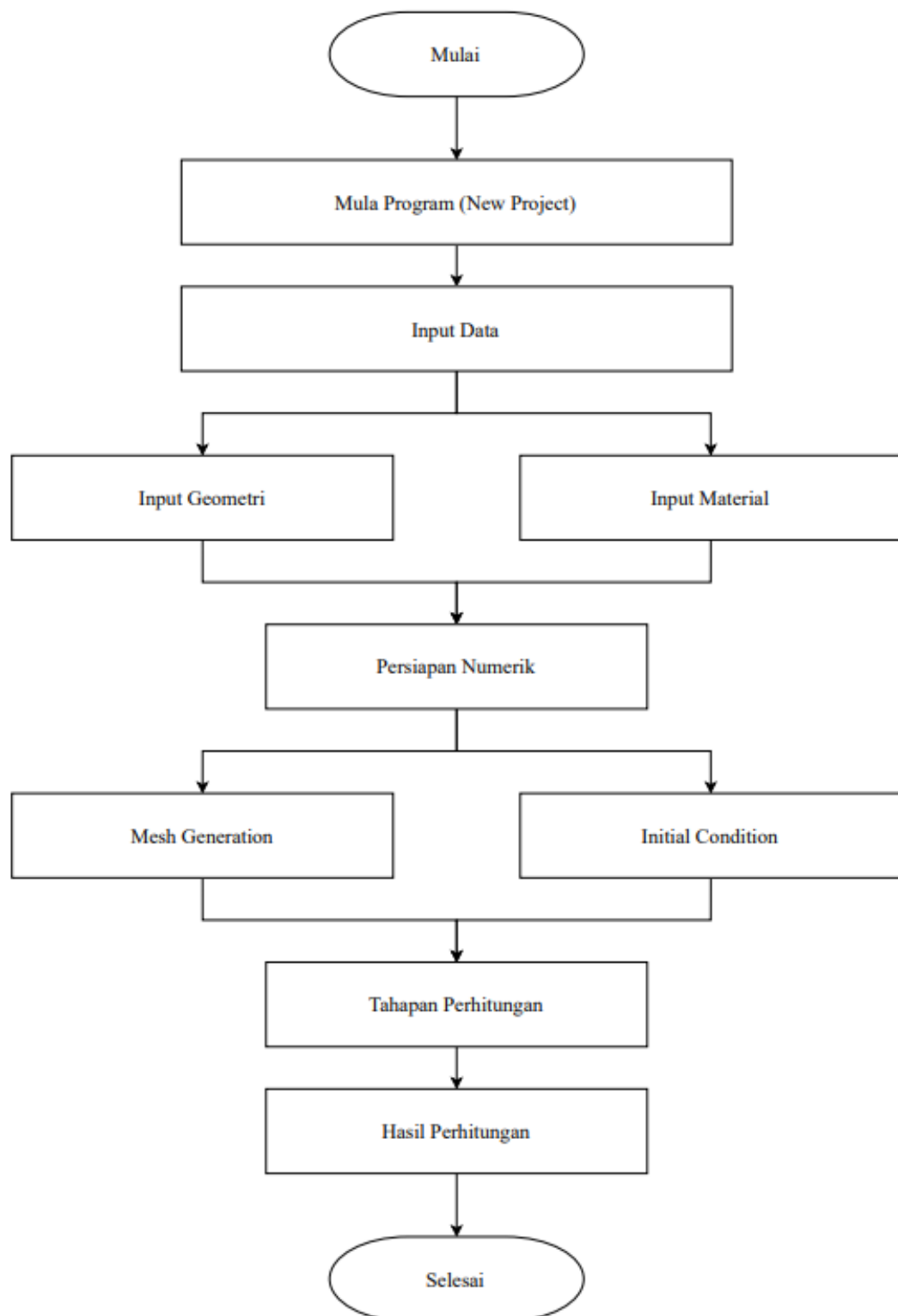
1. Menghitung kapasitas dukung tiang tunggal dan kelompok pada fondasi *eksisting*.
2. Menghitung kapasitas dukung tiang tunggal dan kelompok pada fondasi dengan variasi diameter 0,5 m dan 0,8 m.
3. Penghitung penurunan fondasi tiang bor.
4. Perbedaan nilai hasil perhitungan pada fondasi *existing* dan fondasi *redesign*

#### 4.6 Bagan Alir

Bagan alir merupakan sebuah diagram yang merangkum seluruh tahapan, mulai dari melakukan pengumpulan data, studi literatur, menganalisis data, menghitung kapasitas daya dukung fondasi *existing* dan *redesign*, menghitung penurunan fondasi *existing* dan *redesign*, membandingkan hasil perhitungan, melakukan pemodelan software PLAXIS 2D, hasil dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran, Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan bagan alir pemodelan software PLAXIS 2D dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut.



**Gambar 4.5 Bagan Alir Metode Penelitian Tugas Akhir**



**Gambar 4.6 Bagan Alir Program Plaxis 2D**

## **BAB V**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Data Proyek**

Pasar Terban merupakan salah satu pasar tradisional strategis yang terletak di Kota Yogyakarta, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Guna meningkatkan kegunaan pasar, kenyamanan transaksi, serta mengakomodasi pertumbuhan aktivitas ekonomi masyarakat, dilaksanakan proyek Revitalisasi/Renovasi Gedung Pasar Terban. Struktur baru ini direncanakan sebagai bangunan bertingkat yang membutuhkan sistem fondasi yang kokoh guna menjamin keamanan strukturalnya di atas kondisi tanah setempat. Oleh karena itu, dalam perencanaan dan analisis teknisnya diperlukan data parameter tanah yang komprehensif. Data tanah yang digunakan dalam studi ini diperoleh dari hasil pengujian lapangan berupa *Standard Penetration Test* (N-SPT) , *Cone Penetration Test* (CPT) serta pengujian laboratorium (*laboratory test*). Untuk informasi tata letak yang lebih lengkap, posisi geografis dan denah situasi proyek dapat dilihat pada Gambar 5.1 yang menampilkan lokasi proyek Pasar Terban serta titik pengujian SPT dan CPT.



**Gambar 5.1 Lokasi Penelitian dan Titik Pengujian SPT**

(Sumber : Laporan geoteknik Proyek Pasar Terban)

### 5.1.1 Data Umum

Data proyek renovasi Pasar Terban adalah sebagai berikut.

1. Nama Proyek : Pekerjaan Renovasi Pasar Terban Yogyakarta
2. Pemilik Proyek : Balai Prasarana Permukiman Wilayah  
D,I,Yogyakarta,Kementrian Pekerjaan Umum dan  
Perumahan Rakyat,
3. Kontraktor : PT, Abadi Prima Inti Karya,
4. Konsultan Perencana : PT, ARSS Baru,
5. Konsultan MK : PT, ARSS Baru,
6. Lokasi Proyek : Jl, C, Simanjuntak No, 21, Terban, Kec,  
Gondokusuman,Kota Yogyakarta, D,I, Yogyakarta
7. Nilai Kontrak : Rp, 55,999,598,400,00
8. Waktu Pelaksanaan : 300 (tiga ratus) hari kalender,
9. Status Pembangunan : 48%
10. Target Selesai : Juli 2025

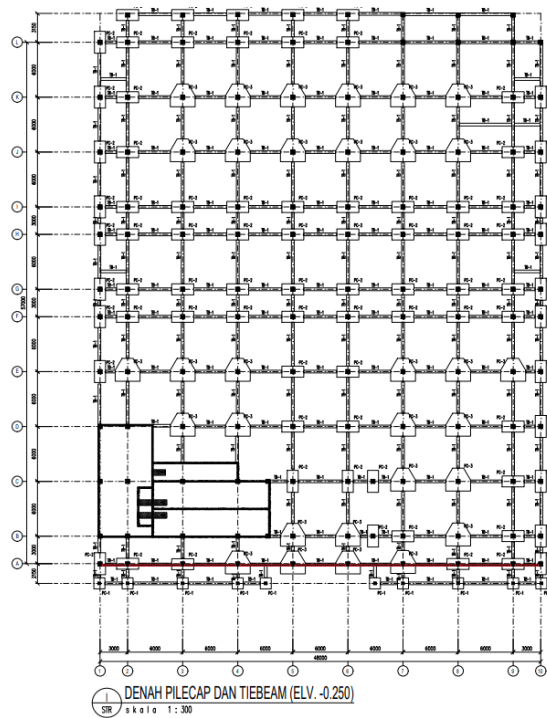
### 5.1.2 Spesifikasi Material

Material yang digunakan pada proyek renovasi Pasar Terban adalah sebagai berikut,

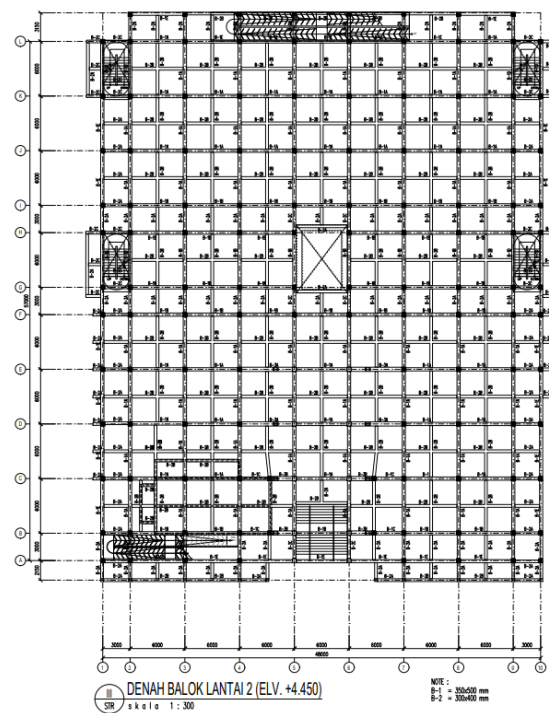
1. Mutu beton ( $f'c$ ) sebesar 30 MPa untuk struktur atas
2. Mutu tulangan ulir ( $f_y$ ) sebesar 420 MPa
3. Mutu Tulangan ( $f_y$ ) sebesar 250 MPa

### 5.1.3 Denah konstruksi

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kondisi dan rencana pekerjaan yang akan dilaksanakan, denah konstruksi renovasi Pasar Terban disajikan secara lengkap pada Gambar 5.2, Gambar 5.3, dan Gambar 5.4 berikut ini. Denah tersebut memuat informasi mengenai tata letak struktur, posisi elemen-elemen konstruksi, serta detail perencanaan yang menjadi acuan dalam pelaksanaan pekerjaan renovasi.



**Gambar 5.2 Denah Pilecap**  
(Sumber : Laporan geoteknik Proyek Pasar Terban)



**Gambar 5.3 Denah Balok**  
(Sumber : Laporan struktur Proyek Pasar Terban)

#### 5.1.4 Data Struktur

Gedung ini terdiri dari struktur utama, yaitu struktur atas dan struktur bawah, Struktur atas terdiri dari beton bertulang, sedangkan struktur bawah terdiri dari fondasi bored pile yang akan dianalisis daya dukungnya dan penurunannya pada penelitian ini.

##### 1. Kolom

Kolom merupakan komponen struktur vertikal utama yang berfungsi untuk menyalurkan seluruh beban dari struktur atas (pelat dan balok) menuju ke struktur bawah (fondasi). Beban yang diterima oleh kolom meliputi kombinasi antara beban aksial tekan ( $P$ ) dan momen lentur ( $M$ ). Proyek Renovasi Pasar Terban ini menggunakan mutu beton  $f'_c$  sebesar 30 MPa.

##### 2. Balok

Balok merupakan komponen struktur horizontal yang berfungsi untuk menerima beban dari pelat lantai (baik beban mati maupun beban hidup) dan meneruskannya ke kolom vertikal. Selain menahan beban vertikal, balok juga berfungsi sebagai pengikat antarkolom agar struktur bangunan lebih kaku dan stabil terhadap beban lateral. Proyek Renovasi Pasar Terban ini menggunakan mutu beton  $f'_c$  sebesar 30 MPa.

##### 3. Pelat

Pelat lantai merupakan komponen struktur horizontal yang berfungsi untuk menerima beban hidup (manusia, barang, aktivitas pasar) dan beban mati (berat sendiri beton, keramik, spesi) secara langsung. Pelat lantai didesain sebagai elemen luasan yang akan menyalurkan beban-beban tersebut ke balok penumpu di sekelilingnya, Proyek Renovasi Pasar Terban ini menggunakan mutu beton  $f'_c$  sebesar 30 MPa.

## 5.2 Pembebanan Struktur

### 5.2.1 Peraturan Pembebanan

Analisis pembebanan dilakukan menggunakan software ETABS, yang mengacu pada peraturan-peraturan sebagai berikut.

1. SNI 1727:2020, Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain
2. SNI 1726:2019, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung

### 5.2.2 Kombinasi Pembebanan

Adapun kombinasi pembebanan struktur atas yang digunakan pada analisis software ETABS dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.

| <b>KOMBINASI GEMPA KUAT (SDS = 0.886    <math>\Omega_0 = 3</math>)</b>                                                                                         |        |           |           |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|
| <b>(1,0+0,14 SDS)D <math>\pm</math> 0,7<math>\Omega_0</math> Q<sub>Ex</sub> <math>\pm</math> 0,7<math>\Omega_0</math> 0,3Q<sub>Ey</sub></b>                    |        |           |           |           |
| COMBO 26                                                                                                                                                       | 1.12 D | 2.10 Eqx  | 0.63 Eqy  |           |
| COMBO 27                                                                                                                                                       | 1.12 D | 2.10 Eqx  | -0.63 Eqy |           |
| COMBO 28                                                                                                                                                       | 1.12 D | -2.10 Eqx | -0.63 Eqy |           |
| COMBO 29                                                                                                                                                       | 1.12 D | -2.10 Eqx | 0.63 Eqy  |           |
| <b>(1,0+0,14 S<sub>DS</sub>)D <math>\pm</math> 0,7<math>\Omega_0</math> 0,3Q<sub>Ex</sub> <math>\pm</math> 0,7<math>\Omega_0</math> Q<sub>Ey</sub></b>         |        |           |           |           |
| COMBO 30                                                                                                                                                       | 1.12 D | 0.63 Eqx  | 2.10 Eqy  |           |
| COMBO 31                                                                                                                                                       | 1.12 D | -0.63 Eqx | 2.10 Eqy  |           |
| COMBO 32                                                                                                                                                       | 1.12 D | -0.63 Eqx | -2.10 Eqy |           |
| COMBO 33                                                                                                                                                       | 1.12 D | 0.63 Eqx  | -2.10 Eqy |           |
| <b>(1,0+0,10 S<sub>DS</sub>)D + 0,75L <math>\pm</math> 0,7<math>\Omega_0</math> 0,3Q<sub>Ex</sub> <math>\pm</math> 0,7<math>\Omega_0</math> Q<sub>Ey</sub></b> |        |           |           |           |
| COMBO 34                                                                                                                                                       | 1.09 D | + 0.75 L  | 1.58 Eqx  | 0.47 Eqy  |
| COMBO 35                                                                                                                                                       | 1.09 D | + 0.75 L  | 1.58 Eqx  | -0.47 Eqy |
| COMBO 36                                                                                                                                                       | 1.09 D | + 0.75 L  | -1.58 Eqx | -0.47 Eqy |
| COMBO 37                                                                                                                                                       | 1.09 D | + 0.75 L  | -1.58 Eqx | 0.47 Eqy  |
| <b>(1,0+0,10 S<sub>DS</sub>)D + 0,75L <math>\pm</math> 0,7<math>\Omega_0</math> 0,3Q<sub>Ex</sub> <math>\pm</math> 0,7<math>\Omega_0</math> Q<sub>Ey</sub></b> |        |           |           |           |
| COMBO 38                                                                                                                                                       | 1.09 D | + 0.75 L  | 0.47 Eqx  | 1.58 Eqy  |
| COMBO 39                                                                                                                                                       | 1.09 D | + 0.75 L  | -0.47 Eqx | 1.58 Eqy  |
| COMBO 40                                                                                                                                                       | 1.09 D | + 0.75 L  | -0.47 Eqx | -1.58 Eqy |
| COMBO 41                                                                                                                                                       | 1.09 D | + 0.75 L  | 0.47 Eqx  | -1.58 Eqy |
| <b>(0,6-0,14 S<sub>DS</sub>)D <math>\pm</math> 0,7<math>\Omega_0</math> Q<sub>Ex</sub> <math>\pm</math> 0,7<math>\Omega_0</math> 0,3Q<sub>Ey</sub></b>         |        |           |           |           |
| COMBO 42                                                                                                                                                       | 0.48 D | 2.10 Eqx  | 0.63 Eqy  |           |
| COMBO 43                                                                                                                                                       | 0.48 D | 2.10 Eqx  | -0.63 Eqy |           |
| COMBO 44                                                                                                                                                       | 0.48 D | -2.10 Eqx | -0.63 Eqy |           |
| COMBO 45                                                                                                                                                       | 0.48 D | -2.10 Eqx | 0.63 Eqy  |           |
| <b>(0,6+0,14 S<sub>DS</sub>)D <math>\pm</math> 0,7<math>\Omega_0</math> 0,3Q<sub>Ex</sub> <math>\pm</math> 0,7<math>\Omega_0</math> Q<sub>Ey</sub></b>         |        |           |           |           |
| COMBO 46                                                                                                                                                       | 0.48 D | 0.63 Eqx  | 2.10 Eqy  |           |
| COMBO 47                                                                                                                                                       | 0.48 D | -0.63 Eqx | 2.10 Eqy  |           |
| COMBO 48                                                                                                                                                       | 0.48 D | -0.63 Eqx | -2.10 Eqy |           |
| COMBO 49                                                                                                                                                       | 0.48 D | 0.63 Eqx  | -2.10 Eqy |           |

**Gambar 5.4 Kombinasi Pembebanan ETABS**  
(Sumber : Laporan struktur proyek renovasi pasar terban)

Dengan :

D = beban mati

L = beban hidup

Eq x = beban gempa arah x

Eq y = beban gempa arah y

Besarnya nilai pembebanan dan parameter yang digunakan dalam analisis perencanaan struktur Proyek Pasar Terban sepenuhnya mengacu pada dokumen laporan perencanaan bangunan tersebut. Adapun rincian pembebanan dasar yang diterapkan dapat dilihat sebagai berikut:

#### 1. Berat Sendiri Material (*Dead Load*)

Beban mati akibat berat sendiri material ditentukan berdasarkan volume dan berat jenis komponen struktur yang digunakan, yaitu:

- a. Beton bertulang ( $\gamma$ ) : 24,0 kN/m<sup>3</sup>
- b. Baja struktural ( $\gamma$ ) : 78,5 kN/m<sup>3</sup>

#### 2. Beban Hidup

Beban hidup ditentukan berdasarkan fungsi pemanfaatan ruangan pada gedung Pasar Terban dengan rincian nilai sebagai berikut:

- a. Beban hidup lantai pasar : 4,8 kN/m<sup>2</sup>
- b. Beban hidup lantai atap : 1,0 kN/m<sup>2</sup>

#### 3. Beban Mati Tambahan (*Super Dead Load / SDL*)

Beban mati tambahan merupakan beban non-struktural *finishing* penutup lantai, dinding, serta instalasi mekanikal dan elektrikal (ME) yang terpasang tetap pada plat struktur, Untuk Beban *Super Dead Load* (SDL) adalah 1,5 kN/m<sup>2</sup>

#### 5.2.3 Penentuan gaya gempa struktur

Besarnya nilai dan parameter yang digunakan dalam analisis perencanaan struktur Proyek Pasar Terban sepenuhnya mengacu pada dokumen laporan perencanaan bangunan tersebut. Adapun rincian pembebanan dasar yang diterapkan dapat dilihat sebagai berikut.

### 1. Kondisi Tanah

Lokasi bangunan Pasar Terban dikategorikan ke dalam kategori tanah sedang (SD)

### 2. Kategori risiko bangunan gedung

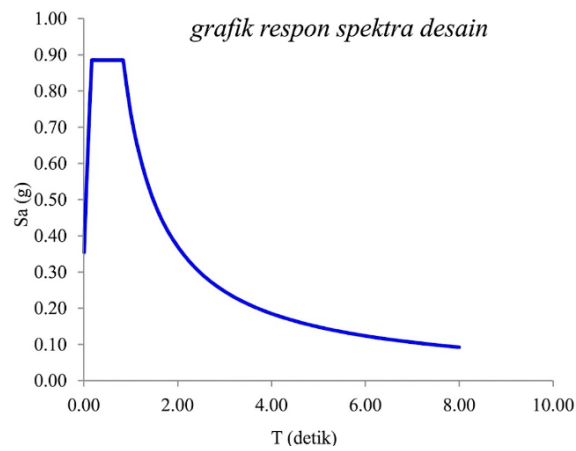
Fungsi bangunan sebagai pasar, sehingga bangunan ini termasuk kategori resiko II dengan nilai faktor keutamaan gempa yang dipakai  $I_e = 1,0$  (Berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4 SNI 1726:2019)

### 3. Sistem struktur

Sistem struktur yang dipakai adalah sistem rangka pemikul momen khusus, Berdasarkan SNI 1726:2019, nilai faktor modifikasi pembebanan seismik yang dipakai adalah faktor modifikasi respons,  $R = 8$ , faktor kuat lebih,  $\Omega_0 = 3$ , dan faktor pembesaran defleksi,  $C_d = 5,5$ . Dari parameter di atas, kemudian ditentukan grafik respons spektrum yang dipakai untuk perencanaan beban gempa bangunan, yang dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut, dan grafik respons spektrum dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.

**Tabel 5.1 Parameter Seismik**

| Parameter Seismik                                              | Nilai |
|----------------------------------------------------------------|-------|
| Kategori Resiko                                                | II    |
| Faktor Keutamaan ( $I_e$ )                                     | 1,00  |
| Spektrum Percepatan Perpetakan ( $S_s$ )                       | 1,107 |
| ( $S_1$ )                                                      | 0,507 |
| Kelas Situs                                                    | SD    |
| Koefisien Kelas Situs ( $F_a$ )                                | 1,200 |
| ( $F_v$ )                                                      | 2,186 |
| Spektran Respon Percepatan , $SDS = 2/3 \times S_s \times F_a$ | 0,886 |
| $SD1 = 2/3 \times S_1 \times F_v$                              | 0,739 |
| Kategori Desain Seismik (KDS)                                  | D     |



**Gambar 5.5 Grafik Respon Spektra**  
( Sumber : Laporan Strukur Pasar Terban)

4. Periode fundamental struktur

Perhitungan periode fundamental dapat dilihat pada persamaan berikut.

a. Penentuan  $T_a$

$$C_t = 0,0446$$

$$x = 0,9$$

$$h = 12,40 \text{ m}$$

$$T_a = C_t h_n^x$$

$$T_a = 0,0446 \times 12,40^{0,9}$$

$$T_a = 0,04492 \text{ detik}$$

b. Periode natural maksimal

$$C_u = 1,4$$

$$T_a = 0,04492 \text{ detik}$$

$$T_{maks} = C_u \times T_a$$

$$T_{maks} = 1,4 \times 0,04492$$

$$T_{maks} = 0,6289 \text{ detik}$$

c. Nilai periode permodelan ETABS ( $T_c$ )

Hasil pemodelan dari ETABS menghasilkan nilai  $t_c$  sebesar 0,759 detik.

$$T_c > C_u T_a \quad \text{maka nilai } T = C_u T_a$$

$$T_a < T_c < C_u T_a \quad \text{maka nilai } T = T_c$$

$$T_c < T_a \quad \text{maka nilai } T = T_a$$

Karena nilai  $T_c > C_u T_a$ , maka  $T_{pakai}$  adalah 0,6289 detik.

d. Koefisien respon seismik

$$R = 8$$

$$I_e = 1$$

$$S_{DS} = 0,886$$

$$S_{D1} = 0,739$$

$$C_{s1} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$C_{s1} = \frac{0,886}{\left(\frac{8}{1}\right)}$$

$$C_{s1} = 0,1108$$

$$C_{s2} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$C_{s2} = \frac{0,739}{0,6289 \left(\frac{8}{1}\right)}$$

$$C_{s2} = 0,1469$$

$$C_{s3} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

$$C_{s3} = 0,044 \times 0,886 \times 1 \geq 0,01$$

$$C_{s3} = 0,0389$$

$$C_{pakai} = 0,1108$$

e. Menghitung V-statis

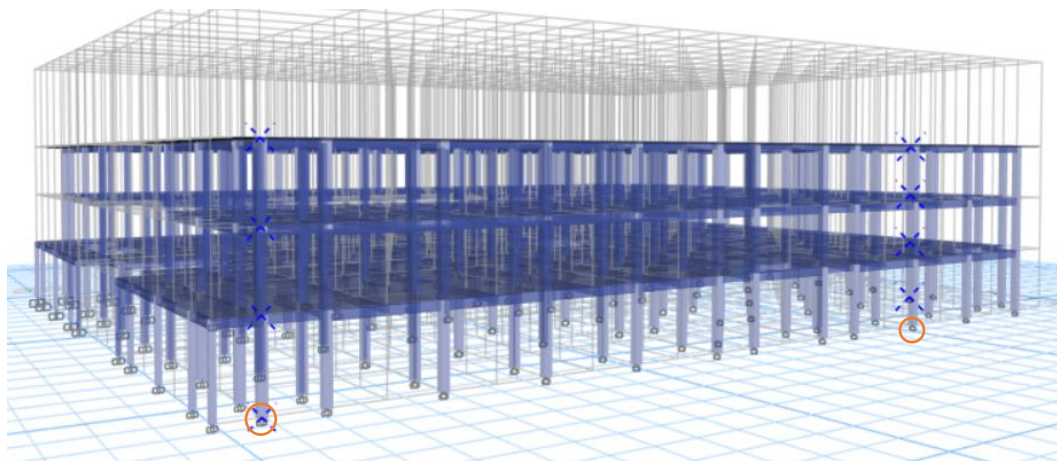
$$\text{Berat bangunan (W)} = 59991,15 \text{ kN}$$

$$C_{pakai} = 0,1108$$

$$\begin{aligned}
 V\text{-statis} &= C_s \times w \\
 V\text{-statis} &= 0,1108 \times 59991,15 \\
 V\text{-statis} &= 6647,0196 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

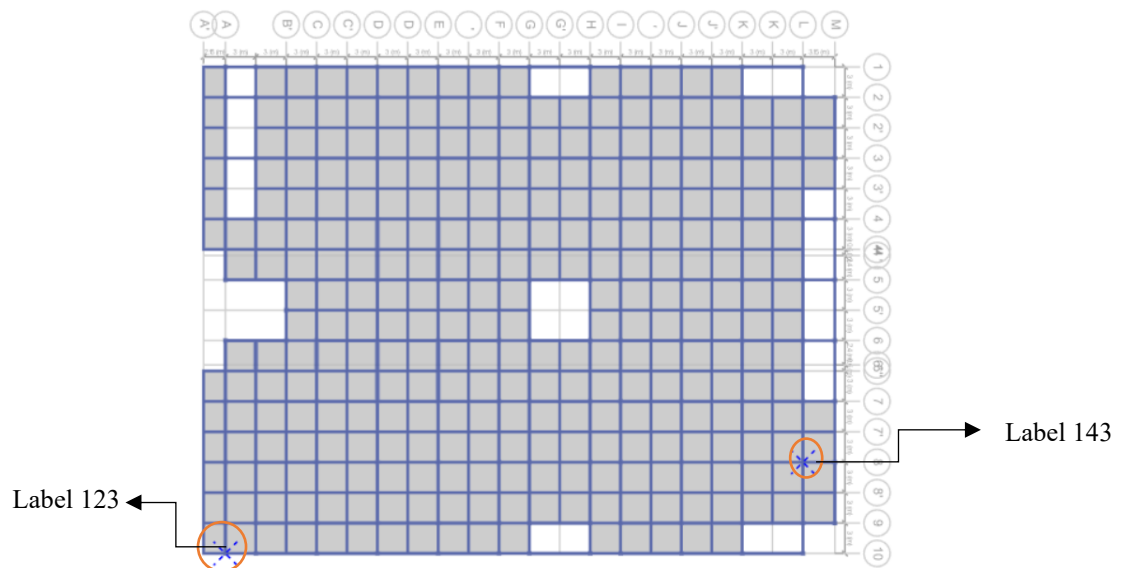
#### 5.2.4 Output ETABS

Setelah dilakukan pemodelan dan analisis struktur menggunakan perangkat lunak ETABS, diperoleh hasil pemodelan struktur atas Pasar Terban secara tiga dimensi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.6. Dari hasil pemodelan tersebut, selanjutnya ditentukan titik-titik *joint* yang akan ditinjau sebagai dasar pengambilan nilai beban kolom ( $F_z$ ) yang akan digunakan dalam analisis fondasi, seperti yang terlihat pada Gambar 5.7 berikut.



**Gambar 5.6 Hasil Analisis Struktur Atas ETABS**

Analisis struktur bawah pada proyek renovasi Pasar Terban ini disimulasikan menggunakan program ETABS dengan menetapkan kondisi peletakan jepit (*fixed*) pada level dasar (*base*). Pemilihan jenis tumpuan ini bertujuan untuk memastikan seluruh transfer gaya dari struktur atas dapat disalurkan secara kaku ke sistem fondasi tanpa memicu terjadinya pergeseran lateral di dasar gedung. Beban mati yang diinput ke dalam pemodelan mencakup berat sendiri elemen struktural murni (*Dead Load*) serta beban mati tambahan (*SIDL*) berupa komponen arsitektural dan utilitas gedung. Sementara itu, beban gempa dinamis dianalisis secara komprehensif menggunakan metode respons spektrum.



**Gambar 5.7 Joint yang Ditinjau**

Berdasarkan hasil pemodelan pada tabel *Joint Reactions*, diperoleh rekapitulasi gaya-gaya maksimum yang bekerja pada titik kritis peletakan dasar, Salah satu titik dengan gaya aksial ( $F_z$ ) paling besar yang ditinjau berada pada titik *Joint* Label 123 dan Label 143 merupakan titik joint dengan momen arah y ( $M_y$ ) terbesar di level *Base* yang didapatkan dari hasil kombinasi gempa kuat (*combo* 26), dengan rincian gaya sebagai berikut:

1. Label 123

$$\text{Beban aksial (Fz)} = 2963,8531 \text{ kN}$$

$$\text{Momen arah x (Mx)} = 887,2183 \text{ kN}$$

$$\text{Momen arah y (My)} = 1679,2183 \text{ kN}$$

2. Label 143

$$\text{Beban aksial (Fz)} = 853,3107 \text{ kN}$$

$$\text{Momen arah x (Mx)} = 580,543 \text{ kN}$$

$$\text{Momen arah y (My)} = 2623,0856 \text{ kN}$$

### 5.3 Data Tanah

Data karakteristik tanah untuk analisis pada proyek renovasi Pasar Terban diperoleh melalui penyelidikan tanah dengan metode *Standard Penetration Test* (SPT). Pengujian ini dilakukan pada 4 titik bor (BH) yang tersebar di area proyek. Namun, pada penelitian kali ini hanya digunakan 2 titik bor (BH), yaitu BH-3 dan BH-4. Berdasarkan hasil penyelidikan dari keempat BH tersebut, tanah di lokasi proyek secara umum merupakan tanah pasir dengan rentang lapisan yang bervariasi antara pasir lanauan dan pasir kasar, Rangkuman hasil pengujian tanah di lapangan dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 berikut.

**Tabel 5.2 Hasil Data Tanah BH 3**

| Kedalam | Nspt | N60 | Keterangan  |
|---------|------|-----|-------------|
| 2       | 24   | 20  | Pasir halus |
| 4       | 21   | 18  | Pasir halus |
| 6       | 23   | 20  | Pasir halus |
| 8       | 18   | 15  | Pasir halus |
| 10      | 39   | 33  | Pasir halus |
| 12      | 24   | 20  | Pasir halus |
| 14      | 46   | 39  | Pasir kasar |
| 16      | 49   | 42  | Pasir kasar |
| 18      | 44   | 37  | Pasir kasar |
| 20      | 50   | 43  | Pasir kasar |
| 22      | 47   | 40  | Pasir halus |
| 24      | 48   | 41  | Pasir kasar |
| 26      | 51   | 43  | Pasir kasar |
| 28      | 49   | 42  | Pasir halus |
| 30      | 53   | 45  | Pasir halus |
| 32      | 54   | 46  | Pasir halus |
| 34      | 56   | 48  | Pasir kasar |
| 36      | 60   | 57  | Pasir kasar |
| 38      | 60   | 54  | Pasir kasar |
| 40      | 59   | 59  | Pasir Halus |

**Tabel 5.3 Hasil Data Tanah BH 4**

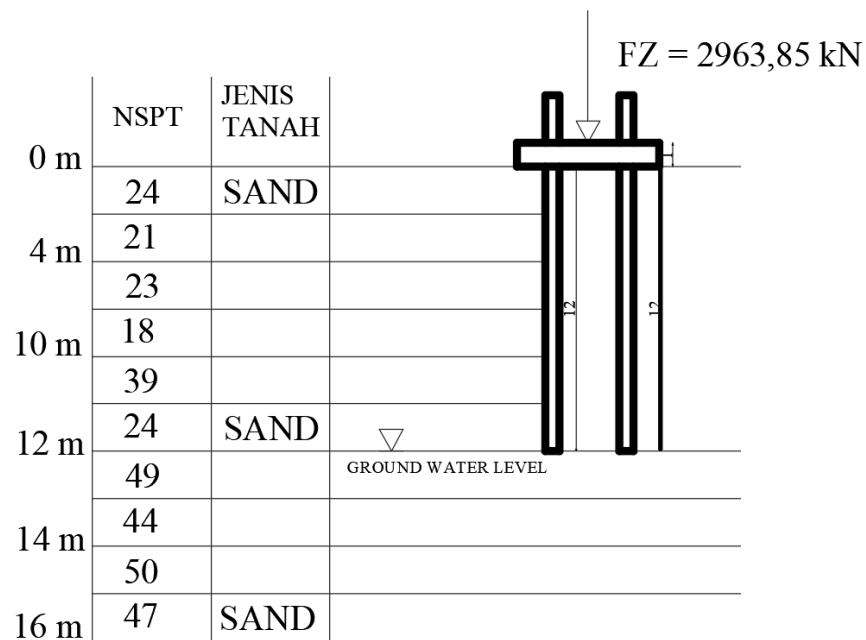
| Kedalam | Nspt | N60 | Keterangan    |
|---------|------|-----|---------------|
| 2       | 12   | 10  | Pasir halus   |
| 4       | 23   | 20  | Pasir halus   |
| 6       | 21   | 18  | Pasir kasar   |
| 8       | 28   | 24  | Pasir kasar   |
| 10      | 28   | 24  | Lanau pasiran |
| 12      | 28   | 24  | Pasir kasar   |

**Lanjutan Tabel 5.3 Hasil Data Tanah BH 4**

| Kedalam | Nspt | N60 | Keterangan  |
|---------|------|-----|-------------|
| 14      | 36   | 31  | Pasir kasar |
| 16      | 38   | 32  | Pasir kasar |
| 18      | 41   | 35  | Pasir kasar |
| 20      | 48   | 41  | Pasir kasar |
| 22      | 41   | 35  | Pasir kasar |
| 24      | 41   | 35  | Pasir kasar |
| 26      | 51   | 43  | Pasir kasar |
| 28      | 47   | 40  | Pasir halus |
| 30      | 50   | 43  | Pasir halus |
| 32      | 51   | 43  | Pasir halus |
| 34      | 51   | 43  | Pasir halus |
| 36      | 48   | 41  | Pasir halus |
| 38      | 60   | 52  | Pasir halus |
| 40      | 60   | 51  | Pasir halus |

#### 5.4 Desain Pondasi Bor Dengan Data SPT

Perhitungan daya dukung fondasi tiang bor pada proyek renovasi Pasar Terban ini ditinjau berdasarkan parameter tanah dan beban rencana struktur. Berdasarkan hasil penyelidikan lapangan menggunakan metode Standard Penetration Test (SPT) yang tersebar di 4 titik bor (BH). Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data hasil pengujian pada titik BH 3 dan BH 4 (*Boring/Bor*). Pemilihan kedua titik tersebut didasarkan pada pertimbangan bahwa lokasi titik BH 3 dan BH 4 berada paling berdekatan dengan area Pasar Terban yang menjadi objek kajian, sehingga data yang diperoleh dianggap paling representatif untuk menggambarkan kondisi tanah di bawah struktur pasar tersebut. Diketahui bahwa secara geologis profil tanah di lokasi tersebut didominasi oleh tanah pasir. Data karakteristik dari masing-masing lapisan tanah ini sangat diperlukan untuk menghitung kapasitas daya dukung tiang pada berbagai kedalaman. Selain data tanah, analisis ini juga membutuhkan data pembebanan yang diperoleh dari luaran analisis struktur. Dari pemodelan tersebut, didapatkan reaksi peletakan berupa gaya aksial vertikal ( $F_z$ ) sebesar 2963,8531 kN dan 853,3107 kN yang harus dipikul oleh fondasi. Sketsa desain fondasi tiang bor yang merangkum informasi pelapisan tanah beserta beban yang bekerja dapat dilihat pada Gambar 5,8 berikut.



**Gambar 5.8 Design Permodelan Beban Pada Pondasi Tiang Bor**

### 5.3.1 Daya Dukung Tiang Tunggal Metode Mayerhof

#### 1. Daya dukung ujung tiang ( $Q_p$ ) Diameter 0,6 m

$$D = 0,6 \text{ (Eksiting)}$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$N_{spt} = 24$$

$$N_{60}' = N_{spt} \times 0,85 \text{ (faktor terkoreksi)}$$

$$N_{60}' = 24 \times 0,85$$

$$N_{60}' = 20$$

$$\sigma_r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p \times f_p$$

#### a. Luas Penampang Ujung Tiang ( $A_p$ )

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times 0,6^2$$

$$A_p = 0,282 \text{ m}^2$$

b. Tahanan Ujung Satuan ( $f_p$ )

$$f_p = 0,4 \times N60' \times (L/D) \times \sigma_r \leq 3 \times N60' \times \sigma_r$$

$$f_p = 0,4 \times 20 \times (12/0,6) \times 100 \leq 3 \times 20 \times 100$$

$$f_p = 16320 \leq 6120$$

$$f_p = 6120 \text{ kN/m}^2$$

c. Daya Dukung Ujung Tiang ( $Q_p$ )

$$Q_p = A_p \times f_p$$

$$Q_p = 0,282 \times 6120$$

$$Q_p = 1730,389 \text{ kN}$$

d. Daya dukung selimut tiang ( $Q_s$ )

1. Lapis 1

$$h_1 = 2 \text{ m}$$

$$N60' = 20$$

$$\sigma_r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$A_s = \pi \times D \times t$$

$$A_s = \pi \times 0,6 \times 2$$

$$A_s = 3,769 \text{ m}^2$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma r \times N60$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times 100 \times 20$$

$$f_s = 20,4 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$Q_{s1} = 3,769 \times 20,4$$

$$Q_{s1} = 76,906 \text{ kN}$$

## 2. Lapis 2

$$h1 = 2 \text{ m}$$

$$N60' = 18$$

$$\sigma r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$A_s = \pi \times D \times t$$

$$A_s = \pi \times 0,6 \times 2$$

$$A_s = 3,769 \text{ m}^2$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma r \times N60$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times 100 \times 18$$

$$f_s = 17,85 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$Q_{s2} = 3,7699 \times 17,85$$

$$Q_{s2} = 67,292 \text{ kN}$$

## 3. Lapis 3

$$h_1 = 2 \text{ m}$$

$$N_{60'} = 20$$

$$\sigma_r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$A_s = \pi \times D \times t$$

$$A_s = \pi \times 0,6 \times 2$$

$$A_s = 3,769 \text{ m}^2$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma_r \times N_{60}$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times 100 \times 20$$

$$f_s = 19,55 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$Q_{s3} = 3,769 \times 19,55$$

$$Q_{s3} = 73,701 \text{ kN}$$

#### 4. Lapis 4

$$h_1 = 2 \text{ m}$$

$$N_{60'} = 15$$

$$\sigma_r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$A_s = \pi \times D \times t$$

$$A_s = \pi \times 0,6 \times 2$$

$$A_s = 3,769 \text{ m}^2$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma_r \times N_{60}$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times 100 \times 15$$

$$f_s = 15,33 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$Q_{s4} = 3,769 \times 15,33$$

$$Q_{s4} = 57,679 \text{ kN}$$

#### 5. Lapis 5

$$h1 = 2 \text{ m}$$

$$N60' = 33$$

$$\sigma r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$A_s = \pi \times D \times t$$

$$A_s = \pi \times 0,6 \times 2$$

$$A_s = 3,7699 \text{ m}^2$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma r \times N60$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times 100 \times 33$$

$$f_s = 33,15 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$Q_{s5} = 3,769 \times 33,15$$

$$Q_{s5} = 124,972 \text{ kN}$$

#### 6. Lapis 6

$$h1 = 2 \text{ m}$$

$$N60' = 20$$

$$\sigma_r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$A_s = \pi \times D \times t$$

$$A_s = \pi \times 0,6 \times 2$$

$$A_s = 3,769 \text{ m}^2$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma_r \times N60$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times 100 \times 20$$

$$f_s = 20,4 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$Q_{s6} = 3,7699 \times 20$$

$$Q_{s6} = 76,906 \text{ kN}$$

$$Q_s = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} + Q_{s5} + Q_{s6}$$

$$= 76,906 + 67,292 + 73,701 + 57,679 + 124,972 + 76,906$$

$$= 477,459 \text{ kN}$$

e. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang ( $Q_u$ )

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$= 1730,389 + 477,459$$

$$= 2207,848 \text{ kN}$$

$$SF = 1,6$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$Q_{all} = \frac{2207,848}{1,6}$$

$$Q_{all} = 1379,905 \text{ kN}$$

2. Daya dukung ujung tiang ( $Q_p$ ) Diameter 0,5 m

$$D = 0,5 \text{ m}$$

$$L = 2 \text{ m}$$

$$N_{spt} = 24$$

$$N60' = N_{spt} \times 0,85 \text{ (faktor terkoreksi)}$$

$$N60' = 24 \times 0,85$$

$$N60' = 20$$

$$\sigma_r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p \times f_p$$

a. Luas Penampang Ujung Tiang ( $A_p$ )

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times 0,5^2$$

$$A_p = 0,19635 \text{ m}^2$$

b. Tahanan Ujung Satuan ( $f_p$ )

$$f_p = 0,4 \times N60' \times (L/D) \times \sigma_r \leq 3 \times N60' \times \sigma_r$$

$$f_p = 0,4 \times 20 \times (12/0,5) \times 100 \leq 3 \times 20 \times 100$$

$$f_p = 19584 \leq 6120$$

$$f_p = 6120 \text{ kN/m}^2$$

c. Daya Dukung Ujung Tiang ( $Q_p$ )

$$Q_p = A_p \times f_p$$

$$Q_p = 0,19635 \times 6120$$

$$Q_p = 1201,659 \text{ kN}$$

d. Daya dukung selimut tiang ( $Q_s$ )

1. Lapis 1

$$h_1 = 2 \text{ m}$$

$$N60' = 20$$

$$\sigma_r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$A_s = \pi \times D \times t$$

$$A_s = \pi \times 0,5 \times 2$$

$$A_s = 3,1415 \text{ m}^2$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma_r \times N60'$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times 100 \times 20$$

$$f_s = 20,4 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$Q_{s1} = 3,1415 \times 20,4$$

$$Q_{s1} = 64,088 \text{ kN}$$

2. Lapis 2

$$h_1 = 2 \text{ m}$$

$$N60' = 18$$

$$\sigma_r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$A_s = \pi \times D \times t$$

$$A_s = \pi \times 0,5 \times 2$$

$$A_s = 3,1415 \text{ m}^2$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma r \times N60$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times 100 \times 18$$

$$f_s = 17,85 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$Q_{s2} = 3,1415 \times 17,85$$

$$Q_{s2} = 56,077 \text{ kN}$$

### 3. Lapis 3

$$h1 = 2 \text{ m}$$

$$N60' = 20$$

$$\sigma r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$A_s = \pi \times D \times t$$

$$A_s = \pi \times 0,5 \times 2$$

$$A_s = 3,141 \text{ m}^2$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma r \times N60$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times 100 \times 20$$

$$f_s = 19,55 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$Q_{S3} = 3,1415 \times 19,55$$

$$Q_{S3} = 61,418 \text{ kN}$$

#### 4. Lapis 4

$$h1 = 2 \text{ m}$$

$$N60' = 15$$

$$\sigma r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$A_s = \pi \times D \times t$$

$$A_s = \pi \times 0,5 \times 2$$

$$A_s = 3,141 \text{ m}^2$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma r \times N60$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times 100 \times 15$$

$$f_s = 15,3 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$Q_{S4} = 3,769 \times 15,3$$

$$Q_{S4} = 48,066 \text{ kN}$$

#### 5. Lapis 5

$$h1 = 2 \text{ m}$$

$$N60' = 33$$

$$\sigma r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$A_s = \pi \times D \times t$$

$$A_s = \pi \times 0,5 \times 2$$

$$A_s = 3,1415 \text{ m}^2$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma r \times N60$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times 100 \times 33$$

$$f_s = 33,15 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$Q_{s5} = 3,141 \times 33,15$$

$$Q_{s5} = 104,143 \text{ kN}$$

#### 6. Lapis 6

$$h1 = 2 \text{ m}$$

$$N60' = 20$$

$$\sigma r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$A_s = \pi \times D \times t$$

$$A_s = \pi \times 0,5 \times 2$$

$$A_s = 3,141 \text{ m}^2$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma r \times N60$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times 100 \times 20$$

$$f_s = 20,4 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$Q_{s6} = 3,1415 \times 20,4$$

$$Q_{s6} = 64,088 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} Q_s &= Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} + Q_{s5} + Q_{s6} \\ &= 64,088 + 56,077 + 61,418 + 48,066 + 104,143 + 64,088 \\ &= 397,882 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang ( $Q_u$ )

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 1201,659 + 397,882 \\ &= 1599,541 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$SF = 1,6$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$Q_{all} = \frac{1599,541}{1,6}$$

$$Q_{all} = 999,713 \text{ kN}$$

3. Daya dukung ujung tiang ( $Q_p$ ) Diameter 0,8 m

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$N_{spt} = 24$$

$$N_{60'} = N_{spt} \times 0,85 \text{ (faktor terkoreksi)}$$

$$N_{60'} = 24 \times 0,85$$

$$N_{60'} = 20$$

$$\sigma_r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = A_p \times f_p$$

a. Luas Penampang Ujung Tiang ( $A_p$ )

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

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

$$A_p = 0,502 \text{ m}^2$$

b. Tahanan Ujung Satuan ( $f_p$ )

$$f_p = 0,4 \times N60' \times (L/D) \times \sigma_r \leq 3 \times N60' \times \sigma_r$$

$$f_p = 0,4 \times 20 \times (12/0,8) \times 100 \leq 3 \times 20 \times 100$$

$$f_p = 12240 \leq 6120$$

$$f_p = 6120 \text{ kN/m}^2$$

c. Daya Dukung Ujung Tiang ( $Q_p$ )

$$Q_p = A_p \times f_p$$

$$Q_p = 0,502 \times 6120$$

$$Q_p = 3076,247 \text{ kN}$$

d. Daya dukung selimut tiang ( $Q_s$ )

1. Lapis 1

$$h_1 = 2 \text{ m}$$

$$N60' = 20$$

$$\sigma_r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$A_s = \pi \times D \times t$$

$$A_s = \pi \times 0,8 \times 2$$

$$A_s = 5,0265 \text{ m}^2$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma r \times N60$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times 100 \times 20$$

$$f_s = 20,4 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$Q_{s1} = 5,0265 \times 20,4$$

$$Q_{s1} = 102,541 \text{ kN}$$

## 2. Lapis 2

$$h1 = 2 \text{ m}$$

$$N60' = 18$$

$$\sigma r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$A_s = \pi \times D \times t$$

$$A_s = \pi \times 0,5 \times 2$$

$$A_s = 5,0265 \text{ m}^2$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma r \times N60$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times 100 \times 18$$

$$f_s = 17,85 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$Q_{s2} = 5,0265 \times 17,85$$

$$Q_{s2} = 89,723 \text{ kN}$$

## 3. Lapis 3

$$h_1 = 2 \text{ m}$$

$$N_{60'} = 20$$

$$\sigma_r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$A_s = \pi \times D \times t$$

$$A_s = \pi \times 0,5 \times 2$$

$$A_s = 5,0265 \text{ m}^2$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma_r \times N_{60}$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times 100 \times 20$$

$$f_s = 19,55 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$Q_{s3} = 5,0265 \times 19,55$$

$$Q_{s3} = 98,269 \text{ kN}$$

#### 4. Lapis 4

$$h_1 = 2 \text{ m}$$

$$N_{60'} = 15$$

$$\sigma_r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$A_s = \pi \times D \times t$$

$$A_s = \pi \times 0,5 \times 2$$

$$A_s = 5,0265 \text{ m}^2$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma_r \times N_{60}$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times 100 \times 15$$

$$f_s = 15,3 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$Q_{s4} = 5,0265 \times 15,3$$

$$Q_{s4} = 76,906 \text{ kN}$$

#### 5. Lapis 5

$$h1 = 2 \text{ m}$$

$$N60' = 33$$

$$\sigma r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$A_s = \pi \times D \times t$$

$$A_s = \pi \times 0,5 \times 2$$

$$A_s = 3,1415 \text{ m}^2$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma r \times N60$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times 100 \times 39,1$$

$$f_s = 33,15 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$Q_{s5} = 5,0265 \times 33,15$$

$$Q_{s5} = 166,630 \text{ kN}$$

#### 6. Lapis 6

$$h1 = 2 \text{ m}$$

$$N60' = 20$$

$$\sigma r = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$A_s = \pi \times D \times t$$

$$A_s = \pi \times 0,5 \times 2$$

$$A_s = 5,0265 \text{ m}^2$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma r \times N60$$

$$f_s = \frac{1}{100} \times 100 \times 20$$

$$f_s = 20,4 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = \sum A_s \times f_s$$

$$Q_{s6} = 5,0265 \times 20,4$$

$$Q_{s6} = 102,541 \text{ kN}$$

$$Q_s \text{ total} = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} + Q_{s5} + Q_{s6}$$

$$= 102,541 + 89,723 + 98,269 + 76,906 + 166,630 + 102,541$$

$$= 636,612 \text{ kN}$$

e. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang (Qu)

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$= 3076,247 + 636,612$$

$$= 3712,859 \text{ kN}$$

$$SF = 1,6$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$Q_{all} = \frac{3712,859}{1,6}$$

$$Q_{all} = 2320,537 \text{ kN}$$

Perhitungan serupa kemudian dilakukan pada titik pengujian (BH 4) dengan diameter tiang dari 0,5 m, 0,6 m, dan 0,8 m, Rekapitulasi hasil perhitungan kapasitas daya dukung dapat dilihat pada Tabel 5.6, Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 berikut.

**Tabel 5.4 Rekapitulasi Perhitungan Metode Mayerhoff BH 3**

| BH 3       | Diameter |         |          |
|------------|----------|---------|----------|
| Keterangan | 0,6 m    | 0,5 m   | 0,8 m    |
| Qp (kN)    | 1730,39  | 1201,66 | 3076,25  |
| Qs (kN)    | 477,46   | 397,88  | 636,61   |
| Qu (kN)    | 2207,85  | 1599,54 | 3712,86  |
| Qall (kN)  | 1379,905 | 999,713 | 2320,537 |

**Tabel 5.5 Rekapitulasi Perhitungan Metode Mayerhoff BH 4**

| BH 4       | Diameter |          |          |
|------------|----------|----------|----------|
| Keterangan | 0,6 m    | 0,5 m    | 0,8 m    |
| Qp (kN)    | 2018,79  | 1401,94  | 3588,96  |
| Qs (kN)    | 448,62   | 341,81   | 598,16   |
| Qu (kN)    | 2467,41  | 1743,74  | 4187,12  |
| Qall (kN)  | 1542,129 | 1089,838 | 2616,946 |

### 5.3.2 Daya Dukung Tiang Tunggal Metode Reese & Wright

#### 1. Diameter 0,6 m (Eksisting)

##### a. Kapasitas Daya Dukung Ujung Tiang (Qp)

$$Q_p = A_p \times q_p$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times 0,6^2$$

$$A_p = 0,2827 \text{ m}^2$$

$$q_p = 7 \times N_{spt} > 400 \text{ tsf}$$

$$N_{spt} = 24$$

$$q_p = 7 \times 24 > 400 \text{ tsf}$$

$$q_p = 168 < 400 \text{ tsf}$$

$$q_p = 1648,08 \text{ kN}$$

$$Q_p = A_p \times q_p$$

$$Q_p = 0,2827 \times 1648,08$$

$$Q_p = 465,983 \text{ kN}$$

b. Kapasitas Dukung Selimut Tiang (Qs)

1. Lapis 1

$$L = 2 \text{ m}$$

$$Q_s = f \times L \times p$$

$$N_{spt} = 24$$

$$p = \pi \times D$$

$$p = \pi \times 0,6$$

$$p = 1,8849 \text{ m}$$

$$f_s = \text{Tanah non kohesi}$$

$$f_s = 0,32 \times 24$$

$$f_s = 7,68 \text{ tsf}$$

$$f_s = 75,340 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s1} = 75,340 \times 2 \times 1,8849$$

$$Q_{s1} = 284,028 \text{ kN}$$

2. Lapis 2

$$L = 2 \text{ m}$$

$$Q_s = f \times L \times p$$

$$N_{spt} = 21$$

$$p = \pi \times D$$

$$p = \pi \times 0,6$$

$$p = 1,8849 \text{ m}$$

$$f_s = \text{Tanah non kohesi}$$

$$f_s = 0,32 \times 21$$

$$f_s = 6,72 \text{ tsf}$$

$$f_s = 65,923 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s2} = 65,923 \times 2 \times 1,8849$$

$$Q_{s2} = 248,524 \text{ kN}$$

### 3. Lapis 3

$$L = 2 \text{ m}$$

$$Q_s = f \times L \times p$$

$$N_{spt} = 23$$

$$p = \pi \times D$$

$$p = \pi \times 0,6$$

$$p = 1,8849 \text{ m}$$

$$f_s = \text{Tanah non kohesi}$$

$$f_s = 0,32 \times 23$$

$$f_s = 7,36 \text{ tsf}$$

$$f_s = 72,201 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{S3} = 72,201 \times 2 \times 1,8849$$

$$Q_{S3} = 272,193 \text{ kN}$$

#### 4. Lapis 4

$$L = 2 \text{ m}$$

$$Q_S = f \times L \times p$$

$$N_{spt} = 18$$

$$p = \pi \times D$$

$$p = \pi \times 0,6$$

$$p = 1,8849 \text{ m}$$

$$f_S = \text{Tanah non kohesi}$$

$$f_S = 0,32 \times 18$$

$$f_S = 5,76 \text{ tsf}$$

$$f_S = 56,505 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{S4} = 56,505 \times 2 \times 1,8849$$

$$Q_{S4} = 213,021 \text{ kN}$$

#### 5. Lapis 5

$$L = 2 \text{ m}$$

$$Q_S = f \times L \times p$$

$$N_{spt} = 39$$

$$p = \pi \times D$$

$$p = \pi \times 0,6$$

$$p = 1,8849 \text{ m}$$

$$f_s = \text{Tanah non kohesi}$$

$$f_s = 0,32 \times 39$$

$$f_s = 12,48 \text{ tsf}$$

$$f_s = 122,428 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s5} = 122,428 \times 2 \times 1,8849$$

$$Q_{s5} = 461,5457 \text{ kN}$$

#### 6. Lapis 6

$$L = 2 \text{ m}$$

$$Q_s = f \times L \times p$$

$$N_{spt} = 24$$

$$p = \pi \times D$$

$$p = \pi \times 0,6$$

$$p = 1,8849 \text{ m}$$

$$f_s = \text{Tanah non kohesi}$$

$$f_s = 0,32 \times 24$$

$$f_s = 7,68 \text{ tsf}$$

$$f_s = 75,340 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s6} = 75,340 \times 2 \times 1,8849$$

$$Q_{s6} = 284,028 \text{ kN}$$

$$Q_s \text{ total} = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} + Q_{s5} + Q_{s6}$$

$$Q_s \text{ total} = 284,028 + 248,525 + 272,194 + 213,021 + 461,546 + 284,028$$

$$Q_s \text{ total} = 1763,341 \text{ kN}$$

c. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang ( $Q_u$ )

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$Q_u = 465,9836 + 1763,341$$

$$Q_u = 2229,325 \text{ kN}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$Q_{all} = \frac{2229,325}{1,6}$$

$$Q_{all} = 1393,328 \text{ kN}$$

## 2. Diameter 0,5 m

a. Kapasitas Dukung Ujung Tiang ( $Q_p$ )

$$Q_p = A_p \times q_p$$

$$D = 0,5$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times 0,5^2$$

$$A_p = 0,196 \text{ m}^2$$

$$q_p = 7 \times N_{spt} > 400 \text{ tsf}$$

$$N_{spt} = 24$$

$$q_p = 7 \times 24 > 400 \text{ tsf}$$

$$q_p = 168 < 400 \text{ tsf}$$

$$q_p = 1648,08 \text{ kN}$$

$$Q_p = A_p \times q_p$$

$$Q_p = 0,196 \times 1648,08$$

$$Q_p = 323,6 \text{ kN}$$

b. Kapasitas Dukung Selimut Tiang ( $Q_s$ )

1. Lapis 1

$$L = 2 \text{ m}$$

$$Q_s = f \times L \times p$$

$$N_{spt} = 24$$

$$p = \pi \times D$$

$$p = \pi \times 0,5$$

$$p = 1,5708 \text{ m}$$

$$f_s = \text{Tanah non kohesi}$$

$$f_s = 0,32 \times 24$$

$$f_s = 7,68 \text{ tsf}$$

$$f_s = 75,341 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s1} = 75,341 \times 2 \times 1,5708$$

$$Q_{s1} = 236,690 \text{ kN}$$

2. Lapis 2

$$L = 2 \text{ m}$$

$$Q_s = f \times L \times p$$

$$N_{spt} = 21$$

$$p = \pi \times D$$

$$p = \pi \times 0,5$$

$$p = 1,5708 \text{ m}$$

$$f_s = \text{Tanah non kohesi}$$

$$f_s = 0,32 \times 21$$

$$f_s = 6,72 \text{ tsf}$$

$$f_s = 65,923 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s2} = 65,923 \times 2 \times 1,5708$$

$$Q_{s2} = 207,104 \text{ kN}$$

### 3. Lapis 3

$$L = 2 \text{ m}$$

$$Q_s = f \times L \times p$$

$$N_{spt} = 23$$

$$p = \pi \times D$$

$$p = \pi \times 0,6$$

$$p = 1,5708 \text{ m}$$

$$f_s = \text{Tanah non kohesi}$$

$$f_s = 0,32 \times 23$$

$$f_s = 7,36 \text{ tsf}$$

$$f_s = 72,202 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s3} = 72,202 \times 2 \times 1,5708$$

$$Q_{s3} = 226,828 \text{ kN}$$

### 4. Lapis 4

$$L = 2 \text{ m}$$

$$Q_s = f \times L \times p$$

$$N_{spt} = 18$$

$$p = \pi \times D$$

$$p = \pi \times 0,5$$

$$p = 1,5708 \text{ m}$$

$$f_s = \text{Tanah non kohesi}$$

$$f_s = 0,32 \times 18$$

$$f_s = 5,76 \text{ tsf}$$

$$f_s = 56,506 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s4} = 56,506 \times 2 \times 1,5708$$

$$Q_{s4} = 177,518 \text{ kN}$$

#### 5. Lapis 5

$$L = 2 \text{ m}$$

$$Q_s = f \times L \times p$$

$$N_{spt} = 39$$

$$p = \pi \times D$$

$$p = \pi \times 0,5$$

$$p = 1,5708 \text{ m}$$

$$f_s = \text{Tanah non kohesi}$$

$$f_s = 0,32 \times 39$$

$$f_s = 12,480 \text{ tsf}$$

$$f_s = 122,429 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s5} = 122,429 \times 2 \times 1,5708$$

$$Q_{s5} = 384,621 \text{ kN}$$

6. Lapis 6

$$L = 2 \text{ m}$$

$$Q_s = f \times L \times p$$

$$N_{spt} = 24$$

$$p = \pi \times D$$

$$p = \pi \times 0,5$$

$$p = 1,5708 \text{ m}$$

$$f_s = \text{Tanah non kohesi}$$

$$f_s = 0,32 \times 24$$

$$f_s = 7,68 \text{ tsf}$$

$$f_s = 75,341 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s6} = 75,341 \times 2 \times 1,5708$$

$$Q_{s6} = 236,690 \text{ kN}$$

$$Q_s = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} + Q_{s5} + Q_{s6}$$

$$Q_s = 236,690 + 207,104 + 226,828 + 177,518 + 384,621 + 236,690$$

$$Q_s \text{ total} = 1469,451 \text{ kN}$$

c. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang ( $Q_u$ )

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$Q_u = 323,600 + 1469,451$$

$$Q_u = 1793,051 \text{ kN}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$Q_{all} = \frac{1793,051}{1,6}$$

$$Q_{all} = 1120,657 \text{ kN}$$

### 3. Diameter 0,8 m

#### a. Kapasitas Daya Dukung Ujung Tiang ( $Q_p$ )

$$Q_p = A_p \times q_p$$

$$D = 0,8$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

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

$$A_p = 0,5026 \text{ m}^2$$

$$q_p = 7 \times N_{spt} > 400 \text{ tsf}$$

$$N_{spt} = 24$$

$$q_p = 7 \times 24 > 400 \text{ tsf}$$

$$q_p = 168 < 400 \text{ tsf}$$

$$q_p = 1648,08 \text{ kN}$$

$$Q_p = A_p \times q_p$$

$$Q_p = 0,5026 \times 1648,08$$

$$Q_p = 828,415 \text{ kN}$$

#### b. Kapasitas Selimut Tiang ( $Q_s$ )

##### 1. Lapis 1

$$L = 2 \text{ m}$$

$$Q_s = f \times L \times p$$

$$N_{spt} = 24$$

$$p = \pi \times D$$

$$p = \pi \times 0,8$$

$$p = 2,5132 \text{ m}$$

$$f_s = \text{Tanah non kohesi}$$

$$f_s = 0,32 \times 24$$

$$f_s = 7,68 \text{ tsf}$$

$$f_s = 75,341 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s1} = 75,341 \times 2 \times 2,5132$$

$$Q_{s1} = 378,704 \text{ kN}$$

## 2. Lapis 2

$$L = 2 \text{ m}$$

$$Q_s = f \times L \times p$$

$$N_{spt} = 21$$

$$p = \pi \times D$$

$$p = \pi \times 0,8$$

$$p = 2,5132 \text{ m}$$

$$f_s = \text{Tanah non kohesi}$$

$$f_s = 0,32 \times 21$$

$$f_s = 6,72 \text{ tsf}$$

$$f_s = 65,923 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s2} = 65,923 \times 2 \times 2,5132$$

$$Q_{s2} = 331,366 \text{ kN}$$

### 3. Lapis 3

$$L = 2 \text{ m}$$

$$Q_s = f \times L \times p$$

$$N_{spt} = 23$$

$$p = \pi \times D$$

$$p = \pi \times 0,8$$

$$p = 2,5132 \text{ m}$$

$$f_s = \text{Tanah non kohesi}$$

$$f_s = 0,32 \times 23$$

$$f_s = 7,360 \text{ tsf}$$

$$f_s = 72,202 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s3} = 72,202 \times 2 \times 2,5132$$

$$Q_{s3} = 362,925 \text{ kN}$$

### 4. Lapis 4

$$L = 2 \text{ m}$$

$$Q_s = f \times L \times p$$

$$N_{spt} = 18$$

$$p = \pi \times D$$

$$p = \pi \times 0,8$$

$$p = 2,5132 \text{ m}$$

$$f_s = \text{Tanah non kohesi}$$

$$f_s = 0,32 \times 18$$

$$f_s = 5,76 \text{ tsf}$$

$$f_s = 56,506 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s4} = 56,506 \times 2 \times 2,5132$$

$$Q_{s4} = 284,028 \text{ kN}$$

#### 5. Lapis 5

$$L = 2 \text{ m}$$

$$Q_s = f \times L \times p$$

$$N_{spt} = 39$$

$$p = \pi \times D$$

$$p = \pi \times 0,8$$

$$p = 2,5132 \text{ m}$$

$$f_s = \text{Tanah non kohesi}$$

$$f_s = 0,32 \times 39$$

$$f_s = 12,48 \text{ tsf}$$

$$f_s = 122,429 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s5} = 122,429 \times 2 \times 2,5132$$

$$Q_{s5} = 615,394 \text{ kN}$$

#### 6. Lapis 6

$$L = 2 \text{ m}$$

$$Q_s = f \times L \times p$$

$$N_{spt} = 24$$

$$p = \pi \times D$$

$$p = \pi \times 0,8$$

$$p = 2,5132 \text{ m}$$

$$f_s = \text{Tanah non kohesi}$$

$$f_s = 0,32 \times 24$$

$$f_s = 7,68 \text{ tsf}$$

$$f_s = 75,341 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s6} = 75,341 \times 2 \times 2,5132$$

$$Q_{s6} = 378,704 \text{ kN}$$

$$Q_s \text{ total} = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} + Q_{s4} + Q_{s5} + Q_{s6}$$

$$Q_s \text{ total} = 378,704 + 331,366 + 362,925 + 284,028 + 615,394 + 378,704$$

$$Q_s \text{ total} = 2351,122 \text{ kN}$$

c. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang ( $Q_u$ )

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$Q_u = 828,415 + 2351,122$$

$$Q_u = 3179,537 \text{ kN}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$Q_{all} = \frac{3179,537}{1,6}$$

$$Q_{all} = 1987,211 \text{ kN}$$

Berdasarkan hasil korelasi data N-SPT (nilai  $N = 24$ ), diperoleh nilai tahanan ujung nominal satuan ( $q_p$ ) sebesar 168 tsf, Nilai ini memenuhi syarat

kontrol metode Reese & Wright karena tidak melampaui batas maksimum sebesar 400 tsf, sehingga dapat langsung digunakan dalam perhitungan kapasitas dukung ultimit tiang ( $Q_u$ ). Langkah perhitungan serupa juga diterapkan pada titik BH4 untuk variasi diameter 0,5 m, 0,6 m, dan 0,8 m. Hasil perhitungan menyeluruh untuk daya dukung ujung, selimut, ultimit, hingga daya dukung izin tiang selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.6, dan 5.7 berikut,

**Tabel 5.6 Rekapitulasi Perhitungan Metode Reese & Wright BH 3**

| BH 3           | Diameter  |          |          |
|----------------|-----------|----------|----------|
| Keterangan     | 0,6 m     | 0,5 m    | 0,8 m    |
| $Q_p$ (kN)     | 524,23    | 323,5998 | 828,4154 |
| $Q_s$ (kN)     | 1763,34   | 1469,451 | 2351,122 |
| $Q_u$ (kN)     | 2229,325  | 1758,23  | 3179,537 |
| $Q_{all}$ (kN) | 1393,3280 | 1120,657 | 1987,211 |

**Tabel 5.7 Rekapitulasi Perhitungan Metode Reese & Wright BH 4**

| BH 4           | Diameter |          |          |
|----------------|----------|----------|----------|
| Keterangan     | 0,6 m    | 0,5 m    | 0,8 m    |
| $Q_p$ (kN)     | 543,64   | 377,53   | 966,48   |
| $Q_s$ (kN)     | 1656,83  | 1380,69  | 2209,10  |
| $Q_u$ (kN)     | 2200,47  | 1758,22  | 3175,59  |
| $Q_{all}$ (kN) | 1375,298 | 1098,890 | 1984,745 |

## 5.4 Daya Dukung Tiang Kelompok

### 5.4.1 Daya Dukung Tiang Kelompok Metode Mayerhof

#### 1. Diameter 0,6 m

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

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$Q_{all} = 1379,905 \text{ kN}$$

#### a. Label 123

$$F_z = 2963,8531 \text{ kN}$$

$$M_x = 887,2183 \text{ kN}$$

$$M_y = 1679,2183 \text{ kN}$$

$$n = \frac{2963,853}{1379,905}$$

$$n = 2,1$$

$$n_{\text{pakai}} = 3 \text{ tiang}$$

1. efisiensi kelompok tiang

$$n_{\text{pakai}} = 3 \text{ tiang}$$

$$n = 2$$

$$m = 2$$

$$s = 3 \times D$$

$$s = 3 \times 0,6$$

$$s = 1,8 \text{ m}$$

$$\theta = \arctan \frac{D}{s}$$

$$\theta = \arctan \frac{0,6}{1,8}$$

$$\theta = 18,4395$$

$$E_g = 1 - \theta \left( \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right)$$

$$E_g = 1 - \theta \left( \frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90 \times 2 \times 2} \right)$$

$$E_g = 0,795$$

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

$$Q_g = 0,795 \times 4 \times 1379,905$$

$$Q_g = 3291,766 \text{ kN}$$

Untuk memastikan bahwa kapasitas daya dukung kelompok tiang ( $Q_g$ ) memenuhi standar keamanan, dilakukan pengecekan terhadap nilai kapasitas ultimit kelompok tiang ( $Q_{ug}$ ). Syarat kelayakan struktur mensyaratkan bahwa jika  $Q_{ug} > Q_g$ , maka dipakai yang nilai terkecil.

$$\begin{aligned} A_p &= \pi \times r^2 \\ &= \pi \times 0,6^2 \\ &= 0,2827 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_p &= Q_p / A_p \\ &= 1730,389 / 0,2827 \\ &= 6120 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} p &= \pi \times D \\ &= \pi \times 0,6 \\ &= 1,8849 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_s &= Q_s / (p \times L) \\ &= 477,459 / (1,8849 \times 12) \\ &= 21,108 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{ug} &= L_g \times B_g \times q_p + \Sigma[2 \times (L_g \times B_g) \times \Delta L \times F_s] \\ &= 3,6 \times 3,35 \times 6120 + \Sigma[2 \times (3,6 \times 3,35) \times 12 \times 21,108] \\ &= 77527,440 \text{ kN} \end{aligned}$$

$77527,440 \text{ kN} > 3291,7664 \text{ kN}$ , maka dipakai  $3291,7664 \text{ kN}$ .

b. Label 143

$$F_z = 853,3107 \text{ kN}$$

$$M_x = 580,543 \text{ kN}$$

$$M_y = 2623,0856 \text{ kN}$$

$$n = \frac{853,3107}{1379,91}$$

$$n = 0.6$$

$$n_{pakai} = 2 \text{ tiang}$$

#### 1. Efisiensi kelompok tiang

$$n_{pakai} = 2 \text{ tiang}$$

$$n = 2$$

$$m = 1$$

$$s = 3 \times D$$

$$s = 3 \times 0,6$$

$$s = 1,8 \text{ m}$$

$$\theta = \arctan \frac{D}{s}$$

$$\theta = \arctan \frac{0,6}{1,8}$$

$$\theta = 18,4395$$

$$E_g = 1 - 18,4395 \left( \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right)$$

$$E_g = 1 - 18,4395 \left( \frac{(2-1)1 + (1-1)2}{90 \times 2 \times 2} \right)$$

$$E_g = 0,897$$

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

$$Q_g = 0,7916 \times 2 \times 1379,91$$

$$Q_g = 2477,161 \text{ kN}$$

Untuk memastikan bahwa kapasitas daya dukung kelompok tiang ( $Q_g$ ) memenuhi standar keamanan, dilakukan pengecekan terhadap nilai kapasitas ultimit kelompok tiang ( $Q_{ug}$ ). Syarat kelayakan struktur mensyaratkan jika  $Q_{ug} > Q_g$ , maka dipakai yang terkecil.

$$\begin{aligned}
 A_p &= \pi \times r^2 \\
 &= \pi \times 0,6^2 \\
 &= 0,2827 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_p &= Q_p / A_p \\
 &= 1730,389 / 0,2827 \\
 &= 6120 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 p &= \pi \times D \\
 &= \pi \times 0,6 \\
 &= 1,8849 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_s &= Q_s / (p \times L) \\
 &= 477,459 / (1,8849 \times 12) \\
 &= 21,108 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{ug} &= L_g \times B_g \times q_p + \Sigma[2 \times (L_g \times B_g) \times \Delta L \times F_s] \\
 &= 3,6 \times 1,8 \times 6120 + \Sigma[2 \times (3,6 \times 1,8) \times 12 \times 21,108] \\
 &= 42393,24 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

42393,24 kN > 2477,160 kN, maka dipakai 2477,160 kN.

2. Diameter 0,5 m

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

$$D = 0,5 \text{ m}$$

$$Q_{all} = 999,714 \text{ kN}$$

a. Label 123

$$F_z = 2963,8531 \text{ kN}$$

$$M_x = 887,2183 \text{ kN}$$

$$M_y = 1679,2183 \text{ kN}$$

$$n = \frac{2963,8531}{999,714}$$

$$n = 3$$

$$n_{pakai} = 4 \text{ tiang}$$

#### 1. Efisiensi kelompok tiang

$$n_{pakai} = 4 \text{ tiang}$$

$$n = 2$$

$$m = 2$$

$$s = 3 \times D$$

$$s = 3 \times 0,5$$

$$s = 1,5 \text{ m}$$

$$\theta = \arctan \frac{D}{s}$$

$$\theta = \arctan \frac{0,5}{1,5}$$

$$\theta = 18,4395$$

$$E_g = 1 - 18,4395 \left( \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right)$$

$$E_g = 1 - 18,4395 \left( \frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90 \times 2 \times 2} \right)$$

$$E_g = 0,795$$

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

$$Q_g = 0,795 \times 4 \times 999,714$$

$$Q_g = 3179,758 \text{ kN}$$

Untuk memastikan bahwa kapasitas daya dukung kelompok tiang ( $Q_g$ ) memenuhi standar keamanan, dilakukan pengecekan terhadap nilai kapasitas

ultimit kelompok tiang ( $Q_{ug}$ ). Syarat kelayakan struktur mensyaratkan jika  $Q_{ug} > Q_g$ , maka dipakai yang terkecil.

$$\begin{aligned} A_p &= \pi \times r^2 \\ &= \pi \times 0,5^2 \\ &= 0,1963 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_p &= Q_p / A_p \\ &= 1201,659 / 0,1963 \\ &= 6120 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} p &= \pi \times D \\ &= \pi \times 0,5 \\ &= 1,5707 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_s &= Q_s / (p \times L) \\ &= 397,882 / (1,5707 \times 12) \\ &= 21,108 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{ug} &= L_g \times B_g \times q_p + \Sigma[2 \times (L_g \times B_g) \times \Delta L \times F_s] \\ &= 0,75 \times 2 \times 6120 + \Sigma[2 \times (0,75 \times 2) \times 12 \times 21,108] \\ &= 26506,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

$26506,4 \text{ kN} > 3179,758 \text{ kN}$ , maka dipakai  $3179,758 \text{ kN}$ .

b. Label 143

$$F_z = 853,3107 \text{ kN}$$

$$M_x = 580,543 \text{ kN}$$

$$M_y = 2623,0856 \text{ kN}$$

$$n = \frac{853,3107}{999,71}$$

$$n = 0.9$$

$$n_{pakai} = 2 \text{ tiang}$$

## 1. Efisiensi kelompok tiang

$$n_{pakai} = 2 \text{ tiang}$$

$$n = 2$$

$$m = 1$$

$$s = 3 \times D$$

$$s = 3 \times 0,5$$

$$s = 1,5 \text{ m}$$

$$\theta = \arctan \frac{D}{s}$$

$$\theta = \arctan \frac{0,5}{1,5}$$

$$\theta = 18,4395$$

$$E_g = 1 - 18,4395 \left( \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right)$$

$$E_g = 1 - 18,4395 \left( \frac{(2-1)1 + (1-1)2}{90 \times 2 \times 1} \right)$$

$$E_g = 0,897$$

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

$$Q_g = 0,897 \times 2 \times 999,714$$

$$Q_g = 1794,653 \text{ kN}$$

Untuk memastikan bahwa kapasitas daya dukung kelompok tiang ( $Q_g$ ) memenuhi standar keamanan, dilakukan pengecekan terhadap nilai kapasitas ultimit kelompok tiang ( $Q_{ug}$ ). Syarat kelayakan struktur mensyaratkan bahwa jika  $Q_{ug} > Q_g$ , maka dipakai yang terkecil.

$$\begin{aligned} A_p &= \pi \times r^2 \\ &= \pi \times 0,5^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,1963 \text{ m}^2 \\
 qp &= Qp / Ap \\
 &= 1201,659 / 0,1963 \\
 &= 6120 \text{ kN/m}^2 \\
 L &= 12 \text{ m} \\
 p &= \pi \times D \\
 &= \pi \times 0,5 \\
 &= 1,5707 \text{ m} \\
 Fs &= Qs / (p \times L) \\
 &= 397,882 / (1,5707 \times 12) \\
 &= 21,108 \text{ kN/m}^2 \\
 Qug &= Lg \times Bg \times qp + \Sigma[2 \times (Lg \times Bg) \times \Delta L \times Fs] \\
 &= 3 \times 1,5 \times 6120 + \Sigma[2 \times (3 \times 1,5 \times 12) \times 21,108] \\
 &= 29819,7 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$29819,7 \text{ kN} > 1794,653 \text{ kN (AMAN)}$$

### 3. Diameter 0,8 m

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$Qall = 2320,537 \text{ kN}$$

#### a. Label 123

$$Fz = 2963,8531 \text{ kN}$$

$$Mx = 887,2183 \text{ kN}$$

$$My = 1679,2183 \text{ kN}$$

$$n = \frac{2963,8531}{2320,537}$$

$$n = 1,3$$

$$npakai = 2 \text{ tiang}$$

## 1. Efisiensi kelompok tiang

$$n_{pakai} = 2 \text{ tiang}$$

$$n = 2$$

$$m = 1$$

$$s = 3 \times D$$

$$s = 3 \times 0,8$$

$$s = 2,4 \text{ m}$$

$$\theta = \arctan \frac{D}{s}$$

$$\theta = \arctan \frac{0,8}{2,4}$$

$$\theta = 18,4395$$

$$E_g = 1 - 18,4395 \left( \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right)$$

$$E_g = 1 - 18,4395 \left( \frac{(2-1)1 + (1-1)2}{90 \times 1 \times 2} \right)$$

$$E_g = 0,897$$

$$Q_g = E_g \times n \times Q_u$$

$$Q_g = 0,897 \times 2 \times 2320,537$$

$$Q_g = 4165,752 \text{ kN}$$

Untuk memastikan bahwa kapasitas daya dukung kelompok tiang ( $Q_g$ ) memenuhi standar keamanan, dilakukan pengecekan terhadap nilai kapasitas ultimit kelompok tiang ( $Q_{ug}$ ). Syarat kelayakan struktur mensyaratkan bahwa jika  $Q_{ug} > Q_g$ , maka dipakai yang terkecil.

$$A_p = \pi \times r^2$$

$$= \pi \times 0,8^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,5026 \text{ m}^2 \\
 q_p &= Q_p / A_p \\
 &= 3076,247 / 0,5026 \\
 &= 6120 \text{ kN/m}^2 \\
 L &= 12 \text{ m} \\
 p &= \pi \times D \\
 &= \pi \times 0,8 \\
 &= 2,5132 \text{ m} \\
 F_s &= Q_s / (p \times L) \\
 &= 636,612 / (2,5132 \times 12) \\
 &= 21,108 \text{ kN/m}^2 \\
 Q_{ug} &= L_g \times B_g \times q_p + \Sigma[2 \times (L_g \times B_g) \times \Delta L \times F_s] \\
 &= 4,8 \times 2,4 \times 6120 + \Sigma[2 \times (4,8 \times 2,4) \times 12 \times 21,108] \\
 &= 74149,92 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

74149,92 kN > 4165,752 kN , maka dipakai 4165,752 kN.

b. Label 143

$$\begin{aligned}
 F_z &= 853,3107 \text{ kN} \\
 M_x &= 580,543 \text{ kN} \\
 M_y &= 2623,0856 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$n = \frac{853,3107}{2320,54}$$

$$n = 0,4$$

$$n_{pakai} = 2 \text{ tiang}$$

1. Efisiensi kelompok tiang

$$n_{pakai} = 2 \text{ tiang}$$

$$n = 2$$

$$m = 1$$

$$s = 3 \times D$$

$$s = 3 \times 0,8$$

$$s = 2,4 \text{ m}$$

$$\theta = \arctan \frac{D}{s}$$

$$\theta = \arctan \frac{0,8}{2,4}$$

$$\theta = 18,4395$$

$$E_g = 1 - 18,4395 \left( \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right)$$

$$E_g = 1 - 18,4395 \left( \frac{(2-1)1 + (1-1)2}{90 \times 1 \times 2} \right)$$

$$E_g = 0,897$$

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

$$Q_g = 0,897 \times 2 \times 2320,54$$

$$Q_g = 4165,752 \text{ kN}$$

Untuk memastikan bahwa kapasitas daya dukung kelompok tiang ( $Q_g$ ) memenuhi standar keamanan, dilakukan pengecekan terhadap nilai kapasitas ultimit kelompok tiang ( $Q_{ug}$ ). Syarat kelayakan struktur mensyaratkan jika  $Q_{ug} > Q_g$ , maka dipakai yang terkecil.

$$\begin{aligned} A_p &= \pi \times r^2 \\ &= \pi \times 0,8^2 \\ &= 0,5026 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_p &= Q_p / A_p \\ &= 3076,247 / 0,5026 \\ &= 6120 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$p = \pi \times D$$

$$= \pi \times 0,8$$

$$= 2,5132 \text{ m}$$

$$F_s = Q_s / (p \times L)$$

$$= 636,612 / (2,5132 \times 12)$$

$$= 21,108 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{ug} = L_g \times B_g \times q_p + \Sigma[2 \times (L_g \times B_g) \times \Delta L \times F_s]$$

$$= 4,8 \times 2,4 \times 6120 + \Sigma[2 \times (4,8 \times 2,4) \times 12 \times 21,108]$$

$$= 74149,92 \text{ kN}$$

74149,92 kN > 3936,459 kN, maka dipakai 3936,459 kN.

Perhitungan juga dilakukan pada label 123 dengan cara dan persamaan yang sama, Rekapitulasi dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11 berikut.

**Tabel 5.8 Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok BH 3 Label 123**

| Diameter                | 0,6 m     | 0,5 m    | 0,8 m    |
|-------------------------|-----------|----------|----------|
| Qall (kN)               | 1379,905  | 999,714  | 2320,537 |
| n                       | 3         | 4        | 2        |
| Qg (kN)                 | 3291,766  | 3179,758 | 4165,752 |
| Ap (m <sup>2</sup> )    | 0,282     | 0,196    | 0,502    |
| Qp (kN/m <sup>2</sup> ) | 6120      | 6120     | 6120     |
| Fs (kN/m <sup>2</sup> ) | 21,108    | 21,108   | 21,108   |
| Qug (kN)                | 77527,440 | 26506,4  | 74149,92 |
| Keterangan              | AMAN      | AMAN     | AMAN     |

**Tabel 5.9 Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok BH 4 Label 123**

| Diameter                | 0,6 m     | 0,5 m    | 0,8 m    |
|-------------------------|-----------|----------|----------|
| Qall (kN)               | 1542,129  | 1089,838 | 2616,947 |
| n                       | 3         | 4        | 2        |
| Qg (kN)                 | 3678,752  | 3466,414 | 4697,856 |
| Ap (m <sup>2</sup> )    | 0,282     | 0,196    | 0,502    |
| Qp (kN/m <sup>2</sup> ) | 7140      | 7140     | 7140     |
| Fs (kN/m <sup>2</sup> ) | 19,833    | 18,133   | 19,833   |
| Qug (kN)                | 89648,181 | 30300,8  | 85680    |
| Keterangan              | AMAN      | AMAN     | AMAN     |

Perhitungan juga dilakukan pada label 143 dengan cara dan persamaan yang sama, Rekapitulasi dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11 berikut.

**Tabel 5.10 Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok BH 3**

|                         |          |          |          |
|-------------------------|----------|----------|----------|
| Diameter                | 0,6 m    | 0,5 m    | 0,8 m    |
| Qall (kN)               | 1379,905 | 999,714  | 2320,537 |
| n                       | 2        | 2        | 2        |
| Qg (kN)                 | 2477,160 | 1794,653 | 4165,752 |
| Ap (m <sup>2</sup> )    | 0,282    | 0,196    | 0,502    |
| Qp (kN/m <sup>2</sup> ) | 6120     | 6120     | 6120     |
| Fs (kN/m <sup>2</sup> ) | 21,108   | 21,108   | 21,108   |
| Qug (kN)                | 42393,24 | 29819,7  | 74149,92 |
| Keterangan              | AMAN     | AMAN     | AMAN     |

**Tabel 5.11 Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok BH 4**

|                         |          |          |          |
|-------------------------|----------|----------|----------|
| Diameter                | 0,6 m    | 0,5 m    | 0,8 m    |
| Qall (kN)               | 1542,129 | 1089,838 | 2616,947 |
| n                       | 2        | 2        | 2        |
| Qg (kN)                 | 2616     | 2654,07  | 4439,27  |
| Ap (m <sup>2</sup> )    | 0,282    | 0,196    | 0,502    |
| Qp (kN/m <sup>2</sup> ) | 7140     | 7140     | 7140     |
| Fs (kN/m <sup>2</sup> ) | 19,83    | 18,13    | 19,83    |
| Qug (kN)                | 48837,6  | 34088,4  | 85680    |
| Keterangan              | AMAN     | AMAN     | AMAN     |

#### 5.4.2 Daya Dukung Tiang Kelompok Metode Reese&Wright

##### 1. Diameter 0,6 m

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

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$Q_{all} = 1393,328 \text{ kN}$$

##### a. Label 123

$$F_z = 2963,8531 \text{ kN}$$

$$M_x = 887,2183 \text{ kN}$$

$$M_y = 1679,2183 \text{ kN}$$

$$n = \frac{2963,8531}{1393,328}$$

$$n = 2,1$$

$$n_{\text{pakai}} = 3 \text{ tiang}$$

1. Efisiensi kelompok tiang

$$n_{\text{pakai}} = 3 \text{ tiang}$$

$$n = 2$$

$$m = 2$$

$$s = 3 \times D$$

$$s = 3 \times 0,6$$

$$s = 1,8 \text{ m}$$

$$\theta = \arctan \frac{D}{s}$$

$$\theta = \arctan \frac{0,6}{1,8}$$

$$\theta = 18,4395$$

$$E_g = 1 - \theta \left( \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right)$$

$$E_g = 1 - \theta \left( \frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90 \times 2 \times 2} \right)$$

$$E_g = 0,795$$

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

$$Q_g = 0,795 \times 3 \times 1393,328$$

$$Q_g = 3323,786 \text{ kN}$$

Untuk memastikan bahwa kapasitas daya dukung kelompok tiang ( $Q_g$ ) memenuhi standar keamanan, dilakukan pengecekan terhadap nilai kapasitas ultimit kelompok tiang ( $Q_{ug}$ ). Syarat kelayakan struktur mensyaratkan bahwa jika  $Q_{ug} > Q_g$ , maka dipakai yang terkecil.

$$A_p = \pi \times r^2$$

$$= \pi \times 0,6^2$$

$$= 0,2827 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 q_p &= Q_p / A_p \\
 &= 465,983 / 0,2827 \\
 &= 1648,08 \text{ kN/m}^2 \\
 L &= 12 \text{ m} \\
 p &= \pi \times D \\
 &= \pi \times 0,6 \\
 &= 1,8849 \text{ m} \\
 F_s &= Q_s / (p \times L) \\
 &= 1763,341 / (1,8849 \times 12) \\
 &= 77,956 \text{ kN/m}^2 \\
 Q_{ug} &= L_g \times B_g \times q_p + \Sigma[2 \times (L_g \times B_g) \times \Delta L \times F_s] \\
 &= 3,6 \times 3,3 \times 1648,08 + \Sigma[2 \times (3,6 \times 3,3) \times 12 \times 77,956] \\
 &= 32948,07 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

32948,07 kN > 3323,78 kN, maka dipakai 3323,78 kN.

b. Label 143

$$\begin{aligned}
 F_z &= 853,3107 \text{ kN} \\
 M_x &= 580,543 \text{ kN} \\
 M_y &= 2623,0856 \text{ kN} \\
 n &= \frac{853,3107}{1393,33} \\
 n &= 0,6 \\
 n_{\text{pakai}} &= 2 \text{ tiang}
 \end{aligned}$$

1. Efisiensi kelompok tiang

$$\begin{aligned}
 n_{\text{pakai}} &= 2 \text{ tiang} \\
 n &= 2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
m &= 1 \\
s &= 3 \times D \\
s &= 3 \times 0,6 \\
s &= 1,8 \text{ m} \\
\theta &= \arctan \frac{D}{s} \\
\theta &= \arctan \frac{0,6}{1,8} \\
\theta &= 18,4395 \\
E_g &= 1 - \theta \left( \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right) \\
E_g &= 1 - \theta \left( \frac{(2-1)1 + (1-1)2}{90 \times 1 \times 2} \right) \\
E_g &= 0,897 \\
Q_g &= E_g \times n \times Q_{all} \\
Q_g &= 0,897 \times 2 \times 1393,32 \\
Q_g &= 2501,256 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Untuk memastikan bahwa kapasitas daya dukung kelompok tiang ( $Q_g$ ) memenuhi standar keamanan, dilakukan pengecekan terhadap nilai kapasitas ultimit kelompok tiang ( $Q_{ug}$ ). Syarat kelayakan struktur mensyaratkan jika  $Q_{ug} > Q_g$ , maka dipakai yang terkecil.

$$\begin{aligned}
A_p &= \pi \times r^2 \\
&= \pi \times 0,6^2 \\
&= 0,2827 \text{ m}^2 \\
q_p &= Q_p / A_p \\
&= 524,231 / 0,2827 \\
&= 1854,09 \text{ kN/m}^2 \\
L &= 12 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p &= \pi \times D \\
 &= \pi \times 0,6 \\
 &= 1,8849 \text{ m} \\
 F_s &= Q_s / (p \times L) \\
 &= 1763,341 / (1,8849 \times 12) \\
 &= 77,956 \text{ kN/m}^2 \\
 Q_{ug} &= L_g \times B_g \times q_p + \Sigma[2 \times (L_g \times B_g) \times \Delta L \times F_s] \\
 &= 3,6 \times 1,8 \times 1854,09 + \Sigma[2 \times (3,6 \times 1,8) \times 12 \times 77,956] \\
 &= 22117,704 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

22117,704 kN > 2501,256 kN, maka dipakai 2501,256 kN.

2. Diameter 0,5 m

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{p}{Q_{all}} \\
 D &= 0,5 \text{ m} \\
 Q_{all} &= 1120,66 \text{ kN} \\
 \text{a. Label 123} \\
 F_z &= 2963,8531 \text{ kN} \\
 M_x &= 887,2183 \text{ kN} \\
 M_y &= 1679,2183 \text{ kN} \\
 n &= \frac{2963,8531}{1120,66} \\
 n &= 2,6 \\
 \text{npakai} &= 4 \text{ tiang}
 \end{aligned}$$

1. Efisiensi kelompok tiang

$$\text{npakai} = 4 \text{ tiang}$$

$$\begin{aligned}
n &= 2 \\
m &= 2 \\
s &= 3 \times D \\
s &= 3 \times 0,5 \\
s &= 1,5 \text{ m} \\
\theta &= \arctan \frac{D}{s} \\
\theta &= \arctan \frac{0,5}{1,5} \\
\theta &= 18,4395 \\
E_g &= 1 - 18,4395 \left( \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right) \\
E_g &= 1 - 18,4395 \left( \frac{(2-1)2 + (2-1)2}{90 \times 2 \times 2} \right) \\
E_g &= 0,795 \\
Q_g &= E_g \times n \times Q_{all} \\
Q_g &= 0,795 \times 4 \times 1120,657 \\
Q_g &= 3564,438 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Untuk memastikan bahwa kapasitas daya dukung kelompok tiang ( $Q_g$ ) memenuhi standar keamanan, dilakukan pengecekan terhadap nilai kapasitas ultimit kelompok tiang ( $Q_{ug}$ ). Syarat kelayakan struktur mensyaratkan bahwa jika  $Q_{ug} > Q_g$ , maka dipakai yang terkecil.

$$\begin{aligned}
A_p &= \pi \times r^2 \\
&= \pi \times 0,5^2 \\
&= 0,785 \text{ m}^2 \\
q_p &= Q_p / A_p \\
&= 323,599 / 0,785 \\
&= 412,228 \text{ kN/m}^2 \\
L &= 12 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p &= \pi \times D \\
 &= \pi \times 0,5 \\
 &= 1,5707 \text{ m} \\
 F_s &= Q_s / (p \times L) \\
 &= 1469,451 / (1,5707 \times 12) \\
 &= 77,9568 \text{ kN/m}^2 \\
 Q_{ug} &= L_g \times B_g \times q_p + \Sigma[2 \times (L_g \times B_g) \times \Delta L \times F_s] \\
 &= 2 \times 2 \times 1648,08 + \Sigma[2 \times (2 \times 2) \times 12 \times 77,9568] \\
 &= 14076,172 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

14076,172 kN > 3564,438 kN, maka dipakai 3564,438 kN .

b. Label 143

$$\begin{aligned}
 F_z &= 853,3107 \text{ kN} \\
 M_x &= 580,543 \text{ kN} \\
 M_y &= 2623,0856 \text{ kN} \\
 n &= \frac{853,3107}{1393,328} \\
 n &= 0,6 \\
 n_{pakai} &= 2 \text{ tiang}
 \end{aligned}$$

1. Efisiensi kelompok tiang

$$\begin{aligned}
 n_{pakai} &= 2 \text{ tiang} \\
 n &= 2 \\
 m &= 1 \\
 s &= 3 \times D \\
 s &= 3 \times 0,5 \\
 s &= 1,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\theta = \arctan \frac{D}{s}$$

$$\theta = \arctan \frac{0,5}{1,5}$$

$$\theta = 18,4395$$

$$\theta = 18,4395$$

$$E_g = 1 - 18,4395 \left( \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right)$$

$$E_g = 1 - 18,4395 \left( \frac{(2-1)1 + (1-1)2}{90 \times 1 \times 2} \right)$$

$$E_g = 0,897$$

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

$$Q_g = 0,897 \times 8 \times 1120,66$$

$$Q_g = 2011,766 \text{ kN}$$

Untuk memastikan bahwa kapasitas daya dukung kelompok tiang ( $Q_g$ ) memenuhi standar keamanan, dilakukan pengecekan terhadap nilai kapasitas ultimit kelompok tiang ( $Q_{ug}$ ). Syarat kelayakan struktur mensyaratkan bahwa jika  $Q_{ug} > Q_g$ , maka dipakai yang terkecil.

$$\begin{aligned} A_p &= \pi \times r^2 \\ &= \pi \times 0,5^2 \\ &= 0,1963 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_p &= Q_p / A_p \\ &= 323,599 / 0,1963 \\ &= 1648,08 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} p &= \pi \times D \\ &= \pi \times 0,5 \\ &= 1,5707 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_s &= Q_s / (p \times L) \\
 &= 1469,451 / (1,5707 \times 12) \\
 &= 77,9568 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{ug} &= L_g \times B_g \times q_p + \Sigma[2 \times (L_g \times B_g) \times \Delta L \times F_s] \\
 &= 3 \times 1,5 \times 1648,08 + \Sigma[2 \times (3 \times 1,5) \times 12 \times 77,9568] \\
 &= 15835,694 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

15835,694 kN > 2011,766 kN, , maka dipakai 2011,766 kN.

### 3. Diameter 0,8 m

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

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$Q_{all} = 1059,846 \text{ kN}$$

#### a. Label 123

$$F_z = 2963,8531 \text{ kN}$$

$$M_x = 887,2183 \text{ kN}$$

$$M_y = 1679,2183 \text{ kN}$$

$$n = \frac{3631,035}{1987,211}$$

$$n = 1,5$$

$$n_{pakai} = 2 \text{ tiang}$$

#### 1. Efisiensi kelompok tiang

$$n_{pakai} = 2 \text{ tiang}$$

$$n = 2$$

$$m = 1$$

$$s = 3 \times D$$

$$s = 3 \times 0,8$$

$$s = 2,4 \text{ m}$$

$$\theta = \arctan \frac{D}{s}$$

$$\theta = \arctan \frac{0,8}{2,4}$$

$$\theta = 18,4395$$

$$\theta = 18,4395$$

$$E_g = 1 - 18,4395 \left( \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right)$$

$$E_g = 1 - 18,4395 \left( \frac{(2-1)1 + (1-1)2}{90 \times 1 \times 2} \right)$$

$$E_g = 0,897$$

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

$$Q_g = 0,897 \times 2 \times 1987,211$$

$$Q_g = 3567,375 \text{ kN}$$

Untuk memastikan bahwa kapasitas daya dukung kelompok tiang ( $Q_g$ ) memenuhi standar keamanan, dilakukan pengecekan terhadap nilai kapasitas ultimit kelompok tiang ( $Q_{ug}$ ). Syarat kelayakan struktur mensyaratkan jika  $Q_{ug} > Q_g$ , maka dipakai yang terkecil.

$$\begin{aligned} A_p &= \pi \times r^2 \\ &= \pi \times 0,8^2 \\ &= 0,5026 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_p &= Q_p / A_p \\ &= 828,415 / 0,5026 \\ &= 1648,08 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 p &= \pi \times D \\
 &= \pi \times 0,8 \\
 &= 2,5132 \text{ m} \\
 F_s &= Q_s / (p \times L) \\
 &= 2351,121 / (2,5132 \times 12) \\
 &= 77,956 \text{ kN/m}^2 \\
 Q_{ug} &= L_g \times B_g \times q_p + \Sigma[2 \times (L_g \times B_g) \times \Delta L \times F_s] \\
 &= 4,8 \times 2,4 \times 1648,08 + \Sigma[2 \times (4,8 \times 2,4) \times 12 \times 77,956] \\
 &= 32456,816 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$32456,816 \text{ kN} > 3567,375 \text{ kN}$ , maka dipakai  $3567,375 \text{ kN}$ .

b. Label 143

$$\begin{aligned}
 F_z &= 853,3107 \text{ kN} \\
 M_x &= 580,543 \text{ kN} \\
 M_y &= 2623,0856 \text{ kN} \\
 n &= \frac{853,310}{3179,537} \\
 n &= 0,4 \\
 n_{\text{pakai}} &= 2 \text{ tiang}
 \end{aligned}$$

3. Efisiensi kelompok tiang

$$\begin{aligned}
 n_{\text{pakai}} &= 2 \text{ tiang} \\
 n &= 2 \\
 m &= 1 \\
 s &= 3 \times D \\
 s &= 3 \times 0,8 \\
 s &= 2,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\theta = \arctan \frac{D}{s}$$

$$\theta = \arctan \frac{0,8}{2,4}$$

$$\theta = 18,4395$$

$$E_g = 1 - 18,4395 \left( \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right)$$

$$E_g = 1 - 18,4395 \left( \frac{(2-1)1 + (1-1)2}{90 \times 1 \times 2} \right)$$

$$E_g = 0,897$$

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

$$Q_g = 0,897 \times 2 \times 1987,211$$

$$Q_g = 3567,375 \text{ kN}$$

Untuk memastikan bahwa kapasitas daya dukung kelompok tiang ( $Q_g$ ) memenuhi standar keamanan, dilakukan pengecekan terhadap nilai kapasitas ultimit kelompok tiang ( $Q_{ug}$ ). Syarat kelayakan struktur mensyaratkan bahwa jika  $Q_{ug} > Q_g$ , maka dipakai yang terkecil.

$$\begin{aligned} A_p &= \pi \times r^2 \\ &= \pi \times 0,8^2 \\ &= 0,5026 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_p &= Q_p / A_p \\ &= 828,415 / 0,5026 \\ &= 1648,08 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} p &= \pi \times D \\ &= \pi \times 0,8 \\ &= 2,5132 \text{ m} \end{aligned}$$

$$F_s = Q_s / (p \times L)$$

$$= 2351,121 / (2,5132 \times 12)$$

$$= 77,95 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} Q_{ug} &= L_g \times B_g \times q_p + \Sigma[2 \times (L_g \times B_g) \times \Delta L \times F_s] \\ &= 4,8 \times 2,4 \times 1648,08 + \Sigma[2 \times (4,8 \times 2,4) \times 12 \times 77,95] \\ &= 32456,816 \text{ kN} \end{aligned}$$

32456,816 kN > 3567,375 kN, maka dipakai 3567,375 kN.

Hasil rekapitulasi perhitungan daya dukung tiang kelompok dapat dilihat pada Tabel 5,12 dan Tabel 5,13 berikut,

**Tabel 5.12 Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok BH 3**

| Diameter                | 0,6 m     | 0,5 m     | 0,8 m     |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Qall (kN)               | 1393,33   | 1120,66   | 1987,21   |
| N                       | 3         | 4         | 2         |
| Qg (kN)                 | 3323,786  | 3564,438  | 3567,375  |
| Ap (m <sup>2</sup> )    | 0,2827    | 0,1963    | 0,5027    |
| Qp (kN/m <sup>2</sup> ) | 1648,08   | 1648,08   | 1648,08   |
| Fs (kN/m <sup>2</sup> ) | 77,9568   | 77,9568   | 77,9568   |
| Qug (kN)                | 32948,071 | 14076,172 | 32456,816 |
| Keterangan              | AMAN      | AMAN      | AMAN      |

**Tabel 5.13 Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok BH 4**

| Diameter                | 0,6 m     | 0,5 m     | 0,8 m     |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Qall (kN)               | 1375,30   | 1098,89   | 1984,75   |
| N                       | 3         | 4         | 2         |
| Qg (kN)                 | 3280,777  | 3495,207  | 3562,949  |
| Ap (m <sup>2</sup> )    | 0,2827    | 0,1963    | 0,5027    |
| Qp (kN/m <sup>2</sup> ) | 1922,76   | 1922,76   | 1922,76   |
| Fs (kN/m <sup>2</sup> ) | 73,2480   | 73,24     | 73,24     |
| Qug (kN)                | 35483,031 | 14722,848 | 34807,449 |
| Keterangan              | AMAN      | AMAN      | AMAN      |

Perhitungan juga dilakukan pada label 143 dengan cara dan persamaan yang sama, Rekapitulasi dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan Tabel 5.15 berikut,

**Tabel 5.14 Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok BH 3**

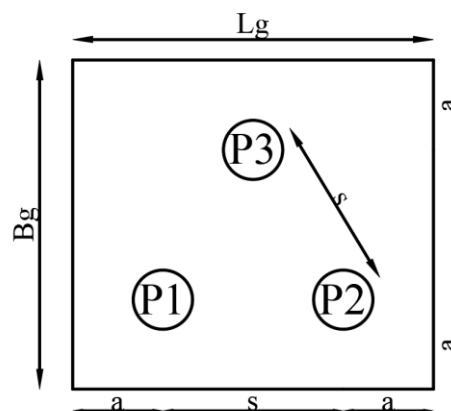
|            |           |           |           |
|------------|-----------|-----------|-----------|
| Diameter   | 0,6 m     | 0,5 m     | 0,8 m     |
| Qall (kN)  | 1393,33   | 1120,66   | 1987,21   |
| N          | 2         | 2         | 2         |
| Qg (kN)    | 2501,256  | 2011,766  | 3567,375  |
| Ap (m2)    | 0,2827    | 0,1963    | 0,5027    |
| Qp (kN/m2) | 1854,09   | 1648,08   | 1648,08   |
| Fs (kN/m2) | 77,956    | 77,956    | 77,956    |
| Qug (kN)   | 22117,704 | 15835,694 | 32456,816 |
| Keterangan | AMAN      | AMAN      | AMAN      |

**Tabel 5.15 Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Kelompok BH 4**

|            |           |           |           |
|------------|-----------|-----------|-----------|
| Diameter   | 0,6 m     | 0,5 m     | 0,8 m     |
| Qall (kN)  | 1375,30   | 1098,89   | 1984,75   |
| N          | 2         | 2         | 2         |
| Qg (kN)    | 2468,891  | 1972,692  | 3562,949  |
| Ap (m2)    | 0,2827    | 0,1963    | 0,5027    |
| Qp (kN/m2) | 1922,76   | 1922,76   | 1922,76   |
| Fs (kN/m2) | 73,248    | 73,248    | 73,248    |
| Qug (kN)   | 21952,425 | 16563,204 | 34807,449 |
| Keterangan | AMAN      | AMAN      | AMAN      |

## 5.5 Distribusi Beban Elastis

### 5.5.1 Distribusi Beban Elastis Metode Mayerhoff

**Gambar 5.9 Susunan 3 Tiang Diameter 0,6 Label 123**

$$V_i = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y x_i}{\sum x^2} \pm \frac{M_x y_i}{\sum y^2}$$

Label 123

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$a = 0,90 \text{ m}$$

$$s = 1,8 \text{ m}$$

$$L_g = 3,6 \text{ m}$$

$$B_g = 3,3 \text{ m}$$

$$F_z = 2963,8531 \text{ kN}$$

$$M_x = 887,2183 \text{ kN}$$

$$M_y = 1679,2183 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Pilecap (W)} &= (B \times H \times t) \gamma \\ &= (3,6 \times 3,3 \times 1,2) 24 \\ &= 348,245 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat tiang} &= \left( \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \right) \times \gamma \times n \text{ tiang} \\ &= \left( \frac{1}{4} \times \pi \times 0,6^2 \times 1,2 \right) \times 24 \times 3 \\ &= 244,290 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Berat total (pt)} = P + W + \text{berat tiang}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 2963,8531 \text{ kN} + 348,245 \text{ kN} + 244,290 \text{ kN}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 3556,3884 \text{ kN}$$

$$N \text{ tiang} = 3 \text{ buah}$$

Absis tiang pada inti pilecap:

$$m = 2 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu y)}$$

$$n = 2 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu x)}$$

$$x = 0,9 \text{ m}$$

$$y = -0,6 \text{ m}$$

$$M_x = 887,2183 \text{ kN (hasil dari program ETABS)}$$

$$M_y = 1679,2183 \text{ kN (hasil dari program ETABS)}$$

$$V_i = \frac{3556,3884}{3} \pm \frac{1679,2183 \times 0,9}{1,62} \pm \frac{887,2183 \times -0,6}{2,16}$$

$$V_i = 1871,912 \text{ kN}$$

$$V_i = \frac{3556,3884}{3} \pm \frac{1679,2183 \times -0,9}{1,62} \pm \frac{887,2183 \times -0,6}{2,16}$$

$$V_i = 6,114 \text{ kN}$$

**Tabel 5, 16 Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor**

| No    | Xi   | Yi   | Xi <sup>2</sup> | Yi <sup>2</sup> | Pi        |
|-------|------|------|-----------------|-----------------|-----------|
| P1    | -0,9 | -0,6 | 0,81            | 0,36            | 6,1142    |
| P2    | 0,9  | -0,6 | 0,81            | 0,36            | 1871,9123 |
| P3    | 0    | 1,2  | 0               | 1,44            | 1678,3618 |
| Total |      |      | 1,62            | 2,16            |           |

e, Analisis kekuatan tiang

$$P = 1871,9123 \text{ kN (beban maksimum diterima satu tiang)}$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times D^2$$

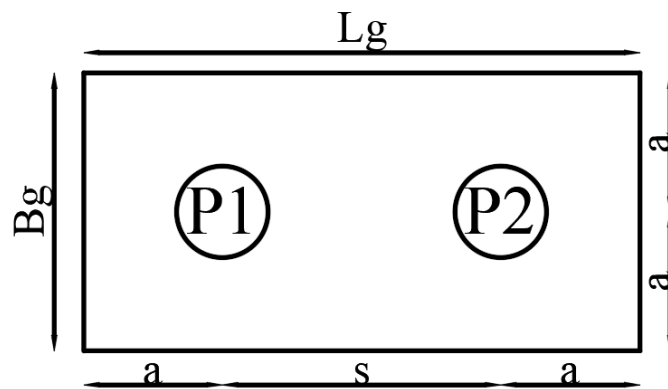
$$A_p = 1/4 \times \pi \times 0,6^2$$

$$A_p = 0,2827$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{1871,9123}{0,2827}$$

$$\begin{aligned}\sigma &= 6620,5356 \text{ kN/m}_2 \\ \sigma_{ijin} &= 30 \text{ Mpa} \\ &= 30 \times 1000 \\ \sigma_{ijin} &= 30000 \text{ kN/m}_2 \\ \text{Kondisi} &= \sigma \leq \sigma_{ijin} \text{ (AMAN)} \\ &= 6620,5356 \text{ kN/m}_2 \leq 30000 \text{ kN/m}_2 \text{ (AMAN)}\end{aligned}$$



**Gambar 5.10 Susunan 2 Tiang Diameter 0,6 Label 143**

$$\begin{aligned}D &= 0,6 \\ a &= 0,90 \text{ m} \\ s &= 1,8 \text{ m} \\ L_g &= 3 \text{ m} \\ B_g &= 1,8 \text{ m} \\ F_z &= 853,3107 \text{ kN} \\ M_x &= 580,543 \text{ kN} \\ M_y &= 2623,0856 \text{ kN} \\ \text{Berat Pilecap (W)} &= (B \times H \times t)y\end{aligned}$$

$$= (3,6 \times 1,8 \times 1,2)24$$

$$= 186,624 \text{ kN}$$

$$\text{Berat tiang} = (1/4 \times \pi \times D^2 \times t) \times |y| \times n \text{ tiang}$$

$$= (1/4 \times \pi \times 0,6^2 \times 1,2) \times 24 \times 2$$

$$= 162,860 \text{ kN}$$

$$\text{Berat total (pt)} = P + W + \text{berat tiang}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 853,3107 \text{ kN} + 186,624 \text{ kN} + 162,860 \text{ kN}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 1202,7948 \text{ kN}$$

$$N \text{ tiang} = 2 \text{ buah}$$

Absis tiang pada inti pilecap:

$$m = 1 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu y)}$$

$$n = 2 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu x)}$$

$$x = 0,9 \text{ m}$$

$$y = 0 \text{ m}$$

$$M_x = 580,543 \text{ kN (hasil dari program ETABS)}$$

$$M_y = 2623,085 \text{ kN (hasil dari program ETABS)}$$

$$V_i = \frac{1202,7948}{2} \pm \frac{2623,085 \times 0,9}{1,62} \pm \frac{580,543 \times 0}{0}$$

$$V_i = 2058,6672 \text{ kN}$$

**Tabel 5, 17 Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor**

| No    | Xi  | Yi | Xi <sup>2</sup> | Yi <sup>2</sup> | Pi        |
|-------|-----|----|-----------------|-----------------|-----------|
| P1    | 0,9 | 0  | 0,81            | 0               | 2058,6672 |
| P2    | 0,9 | 0  | 0,81            | 0               | 2058,6672 |
| Total |     |    | 1,62            | 0               |           |

## e. Analisis kekuatan tiang

$$P = 2058,667 \text{ kN (beban maksimum satu tiang)}$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times D^2$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times 0,6^2$$

$$A_p = 0,2827$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{2058,667}{0,2827}$$

$$\sigma = 7281,0458 \text{ kN/m}_2$$

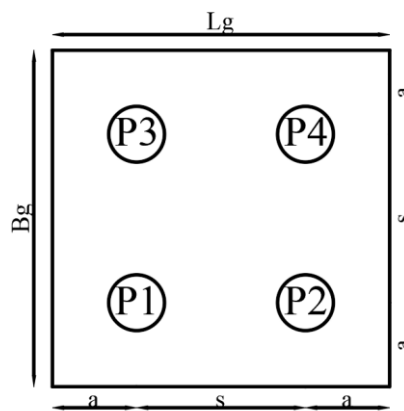
$$\sigma_{ijin} = 30 \text{ Mpa}$$

$$= 30 \times 1000$$

$$\sigma_{ijin} = 30000 \text{ kN/m}_2$$

$$\text{Kondisi} = \sigma \leq \sigma_{ijin} \text{ (AMAN)}$$

$$= 7281,0458 \text{ kN/m}_2 \leq 30000 \text{ kN/m}_2 \text{ (AMAN)}$$



**Gambar 5.11 Susunan 4 Tiang Diameter 0,5 Label 123**

Label 123

$$D = 0,5$$

$$a = 0,75 \text{ m}$$

$$s = 1,5 \text{ m}$$

$$L_g = 3 \text{ m}$$

$$B_g = 3 \text{ m}$$

$$F_z = 2963,8531 \text{ kN}$$

$$M_x = 887,2183 \text{ kN}$$

$$M_y = 1679,2183 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Pilecap (W)} = (B \times H \times t)y$$

$$= (3 \times 3 \times 1)24$$

$$= 216 \text{ kN}$$

$$\text{Berat tiang} = (1/4 \times \pi \times D^2 \times t) \times y \times n \text{ tiang}$$

$$= (1/4 \times \pi \times 0,5^2 \times 1) \times 24 \times 4$$

$$= 226,194 \text{ kN}$$

$$\text{Berat total (pt)} = P + W + \text{berat tiang}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 2963,8531 \text{ kN} + 216 \text{ kN} + 226,194 \text{ kN}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 3406,0477 \text{ kN}$$

$$N \text{ tiang} = 4 \text{ buah}$$

Absis tiang pada inti pilecap:

$$m = 2 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu y)}$$

$$n = 2 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu x)}$$

$$x = 0,75 \text{ m}$$

$$y = 0,75 \text{ m}$$

$$M_x = 732,0866 \text{ kN (hasil dari program ETABS)}$$

$$M_y = 3278,1308 \text{ kN (hasil dari program ETABS)}$$

$$V_i = \frac{3406,0477}{4} \pm \frac{3278,1308 \times 0,75}{2,25} \pm \frac{732,0866 \times 0,75}{2,25}$$

$$V_i = 1706,99 \text{ kN}$$

$$V_i = \frac{3406,0477}{4} \pm \frac{3278,1308 \times -0,75}{2,25} \pm \frac{732,0866 \times -0,75}{2,25}$$

$$V_i = -3,97 \text{ kN}$$

**Tabel 5, 18 Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor**

| No    | Xi    | Yi    | Xi <sup>2</sup> | Yi <sup>2</sup> | Pi      |
|-------|-------|-------|-----------------|-----------------|---------|
| P1    | -0,75 | -0,75 | 0,5625          | 0,5625          | -3,97   |
| P2    | 0,75  | -0,75 | 0,5625          | 0,5625          | 1115,51 |
| P3    | -0,75 | 0,75  | 0,5625          | 0,5625          | 587,51  |
| P4    | 0,75  | 0,75  | 0,5625          | 0,5625          | 1706,99 |
| Total |       |       | 2,25            | 2,25            |         |

e, Analisis kekuatan tiang

$$P = 1706,99 \text{ kN (beban maksimum yang diterima satu tiang)}$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times D^2$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times 0,5^2$$

$$A_p = 0,19635$$

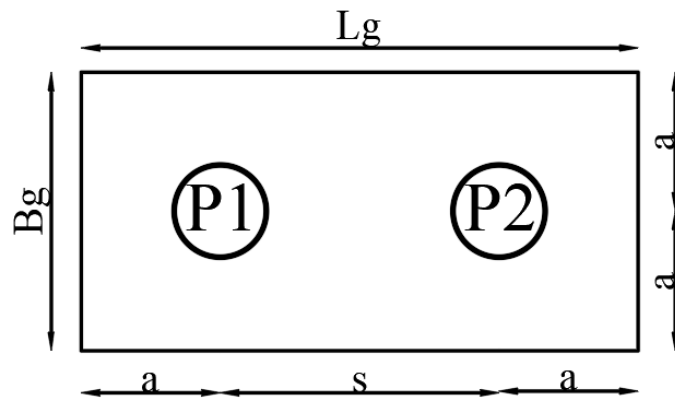
$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{1706,99}{0,19635}$$

$$\sigma = 8693,6328 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{ijin} &= 30 \text{ Mpa} \\
 &= 30 \times 1000 \\
 \sigma_{ijin} &= 30000 \text{ kN/m}_2 \\
 \text{Kondisi} &= \sigma \leq \sigma_{ijin} \text{ (AMAN)} \\
 &= 8693,6328 \text{ kN/m}_2 \leq 30000 \text{ kN/m}_2 \text{ (AMAN)}
 \end{aligned}$$

Label 143



**Gambar 5.12 Susunan 2 Tiang Diameter 0,5 Label 143**

$$\begin{aligned}
 D &= 0,5 \\
 a &= 0,75 \text{ m} \\
 s &= 1,5 \text{ m} \\
 L_g &= 3 \text{ m} \\
 B_g &= 1,5 \text{ m} \\
 F_z &= 853,3107 \text{ kN} \\
 M_x &= 580,543 \text{ kN} \\
 M_y &= 2623,0856 \text{ kN} \\
 \text{Berat Pilecap (W)} &= (B \times H \times t)y
 \end{aligned}$$

$$= (3 \times 1,5 \times 1)24$$

$$= 108 \text{ kN}$$

$$\text{Berat tiang} = (1/4 \times \pi \times D^2 \times t) \times \gamma \times n \text{ tiang}$$

$$= (1/4 \times \pi \times 0,5^2 \times 1,2) \times 24 \times 2$$

$$= 113,0973 \text{ kN}$$

$$\text{Berat total (pt)} = P + W + \text{berat tiang}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 853,3107 \text{ kN} + 108 \text{ kN} + 113,0973 \text{ kN}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 1074,4080 \text{ kN}$$

$$N \text{ tiang} = 2 \text{ buah}$$

Absis tiang pada inti pilecap:

$$m = 1 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu y)}$$

$$n = 2 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu x)}$$

$$x = 0,75 \text{ m}$$

$$y = 0 \text{ m}$$

$$M_x = 580,543 \text{ kN}$$

$$M_y = 2623,0856 \text{ kN}$$

$$V_i = \frac{1074,4080}{2} \pm \frac{2623,0856 \times 0,75}{1,125} \pm \frac{887,2183 \times 0}{0}$$

$$V_i = 2285,927 \text{ kN}$$

**Tabel 5, 19 Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor**

| No    | Xi   | Yi | Xi <sup>2</sup> | Yi <sup>2</sup> | Pi       |
|-------|------|----|-----------------|-----------------|----------|
| P1    | 0,75 | 0  | 0,5625          | 0               | 2285,927 |
| P2    | 0,75 | 0  | 0,5625          | 0               | 2285,927 |
| Total |      |    | 1,125           | 0               |          |

e, Analisis kekuatan tiang

$$P = 2285,927 \text{ kN (beban maksimum yang diterima satu tiang)}$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times D^2$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times 0,6^2$$

$$A_p = 0,2827$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{2285,927}{0,2827}$$

$$\sigma = 11642,134 \text{ kN/m}^2$$

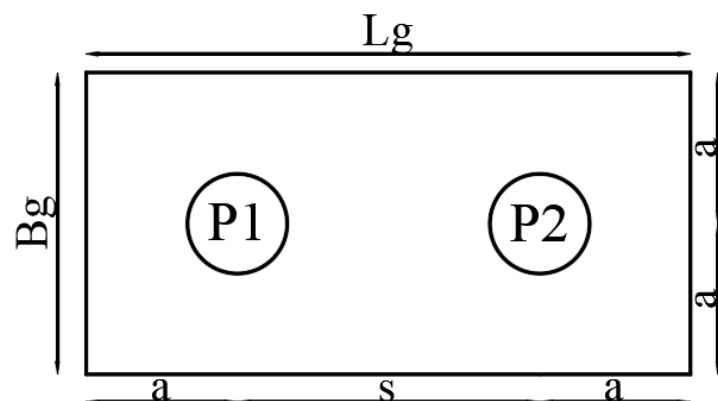
$$\sigma_{ijin} = 30 \text{ Mpa}$$

$$= 30 \times 1000$$

$$\sigma_{ijin} = 30000 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kondisi} = \sigma \leq \sigma_{ijin} \text{ (AMAN)}$$

$$= 11642,134 \text{ kN/m}^2 \leq 30000 \text{ kN/m}^2 \text{ (AMAN)}$$



**Gambar 5.13 Susunan 2 Tiang Diameter 0,8 Label 123**

Label 123

$$D = 0,8$$

$$a = 1,2 \text{ m}$$

$$s = 2,4 \text{ m}$$

$$L_g = 4,8 \text{ m}$$

$$B_g = 2,4 \text{ m}$$

$$F_z = 2963,8531 \text{ kN}$$

$$M_x = 887,2183 \text{ kN}$$

$$M_y = 1679,2183 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Pilecap (W)} &= (B \times H \times t) \gamma \\ &= (4,8 \times 2,4 \times 1,6) 24 \\ &= 442,368 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat tiang} &= (1/4 \times \pi \times D^2 \times t) \times \gamma \times n \text{ tiang} \\ &= (1/4 \times \pi \times 0,8^2 \times 1,6) \times 24 \times 2 \\ &= 289,529 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Berat total (pt)} = P + W + \text{berat tiang}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 2963,8531 \text{ kN} + 442,368 \text{ kN} + 289,529 \text{ kN}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 3695,7502 \text{ kN}$$

$$N \text{ tiang} = 2 \text{ buah}$$

Absis tiang pada inti pilecap:

$$m = 1 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu y)}$$

$$n = 2 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu x)}$$

$$x = 1,2 \text{ m}$$

$$y = 0 \text{ m}$$

$$M_x = 887,2183 \text{ kN (hasil dari program ETABS)}$$

$$M_y = 1679,2183 \text{ kN (hasil dari program ETABS)}$$

$$V_i = \frac{3695,7502}{2} \pm \frac{1679,2183 \times 1,2}{2,88} \pm \frac{887,2183 \times 0}{0}$$

$$V_i = 2547,5494 \text{ kN}$$

**Tabel 5, 20 Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor**

| No    | Xi  | Yi | Xi <sup>2</sup> | Yi <sup>2</sup> | Pi       |
|-------|-----|----|-----------------|-----------------|----------|
| P1    | 1,2 | 0  | 1,44            | 0               | 2547,549 |
| P2    | 1,2 | 0  | 1,44            | 0               | 2547,549 |
| Total |     |    | 2,88            | 0               |          |

e, Analisis kekuatan tiang

$$P = 2547,549 \text{ kN (beban maksimum yang diterima satu tiang)}$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times D^2$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times 0,8^2$$

$$A_p = 0,5026$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{2547,549}{0,5026}$$

$$\sigma = 12974,5627 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{ijin} = 30 \text{ Mpa}$$

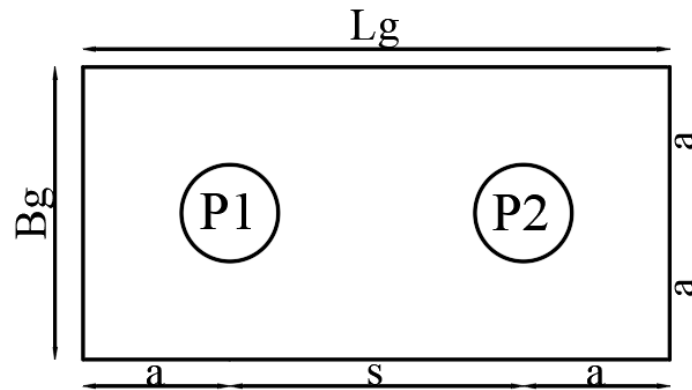
$$= 30 \times 1000$$

$$\sigma_{ijin} = 30000 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kondisi} = \sigma \leq \sigma_{ijin} \text{ (AMAN)}$$

$$= 12974,5627 \text{ kN/m}^2 \leq 30000 \text{ kN/m}^2 \text{ (AMAN)}$$

Label 143



Gambar 5.14 Susunan 2 Tiang Diameter 0,8 Label 143

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$a = 1,2 \text{ m}$$

$$s = 2,4 \text{ m}$$

$$L_g = 4,8 \text{ m}$$

$$B_g = 2,4 \text{ m}$$

$$F_z = 853,3107 \text{ kN}$$

$$M_x = 580,543 \text{ kN}$$

$$M_y = 2623,0856 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Pilecap (W)} &= (B \times H \times t) \gamma \\ &= (4,8 \times 2,4 \times 1,6) 24 \\ &= 442,368 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat tiang} &= (1/4 \times \pi \times D^2 \times t) \times \gamma \times n \text{ tiang} \\ &= (1/4 \times \pi \times 0,8^2 \times 1,2) \times 24 \times 2 \\ &= 289,529 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Berat total (pt)} = P + W + \text{berat tiang}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 853,3107 \text{ kN} + 442,368 \text{ kN} + 289,529 \text{ kN}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 1585,2078 \text{ kN}$$

$$\text{N tiang} = 2 \text{ buah}$$

Absis tiang pada inti pilecap:

$$m = 1 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu y)}$$

$$n = 2 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu x)}$$

$$x = 1,2 \text{ m}$$

$$y = 0 \text{ m}$$

$$M_x = 580,543 \text{ kN (hasil dari program ETABS)}$$

$$M_y = 2623,0856 \text{ kN (hasil dari program ETABS)}$$

$$V_i = \frac{1585,2078}{2} \pm \frac{2623,0856 \times 1,2}{2,88} \pm \frac{580,543 \times 0}{0}$$

$$V_i = 1885,5562 \text{ kN}$$

**Tabel 5, 21 Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor**

| BH 1  |     |    |                 |                 |           |
|-------|-----|----|-----------------|-----------------|-----------|
| No    | Xi  | Yi | Xi <sup>2</sup> | Yi <sup>2</sup> | Pi        |
| P1    | 1,2 | 0  | 1,44            | 0               | 1885,5562 |
| P2    | 1,2 | 0  | 1,44            | 0               | 1885,5562 |
| Total |     |    | 2,88            | 0               |           |

e, Analisis kekuatan tiang

$$P = 1885,556 \text{ kN (beban maksimum yang diterima satu tiang)}$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times D^2$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times 0,8^2$$

$$A_p = 0,5026$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{1885,556}{0,5026}$$

$$\sigma = 3751,1950 \text{ kN/m}_2$$

$$\sigma_{ijin} = 30 \text{ Mpa}$$

$$= 30 \times 1000$$

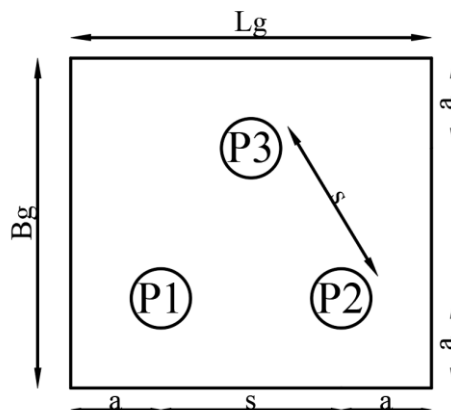
$$\sigma_{ijin} = 30000 \text{ kN/m}_2$$

$$\text{Kondisi} = \sigma \leq \sigma_{ijin} \text{ (AMAN)}$$

$$= 3751,195 \text{ kN/m}_2 \leq 30000 \text{ kN/m}_2 \text{ (AMAN)}$$

#### 5,5,2 Distribusi Beban Elastis Metode Reese & Wright

$$V_i = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y x_i}{\sum x^2} \pm \frac{M_x y_i}{\sum y^2}$$



**Gambar 5.15 Susunan 3 Tiang Diameter 0,6 Label 123**

Label 123

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$a = 0,90 \text{ m}$$

$$s = 1,8 \text{ m}$$

$$L_g = 3,6 \text{ m}$$

$$B_g = 3,3 \text{ m}$$

$$F_z = 2963,8531 \text{ kN}$$

$$M_x = 887,2183 \text{ kN}$$

$$M_y = 1679,2183 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Pilecap (W)} &= (B \times H \times t) \gamma \\ &= (3,6 \times 3,3 \times 1,2) 24 \\ &= 348,245 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat tiang} &= (1/4 \times \pi \times D^2 \times t) \times \gamma \times n \text{ tiang} \\ &= (1/4 \times \pi \times 0,6^2 \times 1,2) \times 24 \times 3 \\ &= 244,290 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Berat total (pt)} = P + W + \text{berat tiang}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 2963,8531 \text{ kN} + 348,245 \text{ kN} + 244,290 \text{ kN}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 3556,3884 \text{ kN}$$

$$N \text{ tiang} = 3 \text{ buah}$$

Absis tiang pada inti pilecap:

$$m = 2 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu y)}$$

$$n = 2 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu x)}$$

$$x = 0,9 \text{ m}$$

$$y = -0,6 \text{ m}$$

$$M_x = 887,2183 \text{ kN (hasil dari program ETABS)}$$

$$M_y = 1679,2183 \text{ kN (hasil dari program ETABS)}$$

$$V_i = \frac{3556,3884}{3} \pm \frac{1679,2183 \times 0,9}{1,62} \pm \frac{887,2183 \times -0,6}{2,16}$$

$$V_i = 1871,912 \text{ kN}$$

$$V_i = \frac{3556,3884}{3} \pm \frac{1679,2183 \times -0,9}{1,62} \pm \frac{887,2183 \times -0,6}{2,16}$$

$$V_i = 6,114 \text{ kN}$$

**Tabel 5, 22 Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor**

| No | Xi   | Yi   | Xi <sup>2</sup> | Yi <sup>2</sup> | Pi        |
|----|------|------|-----------------|-----------------|-----------|
| No | Xi   | Yi   | Xi <sup>2</sup> | Yi <sup>2</sup> | Pi        |
| P1 | -0,9 | -0,6 | 0,81            | 0,36            | 6,1142    |
| P2 | 0,9  | -0,6 | 0,81            | 0,36            | 1871,9123 |
| P3 |      |      | 0               | 1,2             | 0         |

e. Analisis kekuatan tiang

$$P = 1871,9123 \text{ kN (beban maksimum diterima satu tiang)}$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times D^2$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times 0,6^2$$

$$A_p = 0,2827$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{1871,9123}{0,2827}$$

$$\sigma = 6620,5356 \text{ kN/m}_2$$

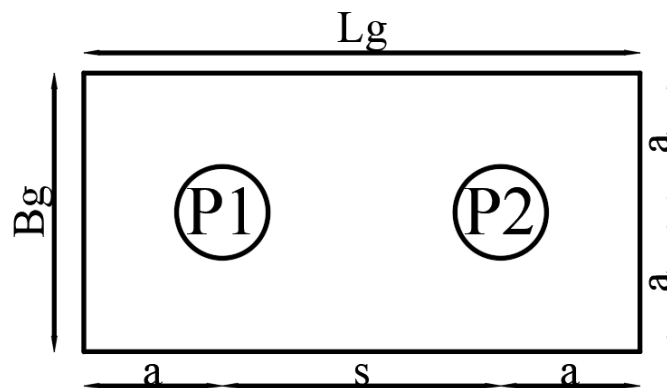
$$\sigma_{ijin} = 30 \text{ Mpa}$$

$$= 30 \times 1000$$

$$\sigma_{ijin} = 30000 \text{ kN/m}_2$$

$$\begin{aligned}\text{Kondisi} &= \sigma \leq \sigma_{\text{ijin}} \text{ (AMAN)} \\ &= 6620,5356 \text{ kN/m}_2 \leq 30000 \text{ kN/m}_2 \text{ (AMAN)}\end{aligned}$$

Label 143



**Gambar 5.16 Susunan 2 Tiang Diameter 0,6 Label 143**

$$\begin{aligned}D &= 0,6 \\ a &= 0,90 \text{ m} \\ s &= 1,8 \text{ m} \\ L_g &= 3 \text{ m} \\ B_g &= 1,8 \text{ m} \\ F_z &= 853,3107 \text{ kN} \\ M_x &= 580,543 \text{ kN} \\ M_y &= 2623,0856 \text{ kN} \\ \text{Berat Pilecap (W)} &= (B \times H \times t) \gamma \\ &= (3,6 \times 1,8 \times 1,2) 24 \\ &= 186,624 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat tiang} &= (1/4 \times \pi \times D^2 \times t) \times \gamma \times n \text{ tiang} \\
 &= (1/4 \times \pi \times 0,6^2 \times 1,2) \times 24 \times 2 \\
 &= 162,860 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat total (pt)} = P + W + \text{berat tiang}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 853,3107 \text{ kN} + 186,624 \text{ kN} + 162,860 \text{ kN}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 1202,7948 \text{ kN}$$

$$N \text{ tiang} = 2 \text{ buah}$$

Absis tiang pada inti pilecap:

$$m = 1 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu y)}$$

$$n = 2 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu x)}$$

$$x = 0,9 \text{ m}$$

$$y = 0 \text{ m}$$

$$M_x = 580,543 \text{ kN (hasil dari program ETABS)}$$

$$M_y = 2623,085 \text{ kN (hasil dari program ETABS)}$$

$$V_i = \frac{1202,7948}{2} \pm \frac{2623,085 \times 0,9}{1,62} \pm \frac{580,543 \times 0}{0}$$

$$V_i = 2058,6672 \text{ kN}$$

**Tabel 5, 23 Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor**

| No    | Xi  | Yi | Xi <sup>2</sup> | Yi <sup>2</sup> | Pi        |
|-------|-----|----|-----------------|-----------------|-----------|
| P1    | 0,9 | 0  | 0,81            | 0               | 2058,6672 |
| P2    | 0,9 | 0  | 0,81            | 0               | 2058,6672 |
| Total |     |    | 1,62            | 0               |           |

e. Analisis kekuatan tiang

$$P = 2058,667 \text{ kN (beban maksimum satu tiang)}$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times D^2$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times 0,6^2$$

$$A_p = 0,2827$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{2058,667}{0,2827}$$

$$\sigma = 7281,0458 \text{ kN/m}_2$$

$$\sigma_{ijin} = 30 \text{ Mpa}$$

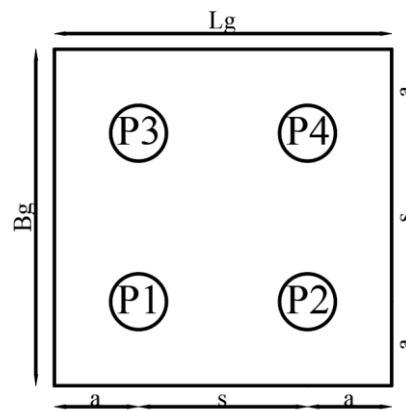
$$= 30 \times 1000$$

$$\sigma_{ijin} = 30000 \text{ kN/m}_2$$

$$\text{Kondisi} = \sigma \leq \sigma_{ijin} \text{ (AMAN)}$$

$$= 7281,0458 \text{ kN/m}_2 \leq 30000 \text{ kN/m}_2 \text{ (AMAN)}$$

Label 123



**Gambar 5.17 Susunan 4 Tiang Diameter 0,5 Label 123**

Label 123

$$D = 0,5$$

$$a = 0,75 \text{ m}$$

$$s = 1,5 \text{ m}$$

$$L_g = 3 \text{ m}$$

$$B_g = 3 \text{ m}$$

$$F_z = 2963,8531 \text{ kN}$$

$$M_x = 887,2183 \text{ kN}$$

$$M_y = 1679,2183 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Pilecap (W)} = (B \times H \times t) \gamma$$

$$= (3 \times 3 \times 1) 24$$

$$= 216 \text{ kN}$$

$$\text{Berat tiang} = (1/4 \times \pi \times D^2 \times t) \times \gamma \times n \text{ tiang}$$

$$= (1/4 \times \pi \times 0,5^2 \times 1) \times 24 \times 4$$

$$= 226,194 \text{ kN}$$

$$\text{Berat total (pt)} = P + W + \text{berat tiang}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 2963,8531 \text{ kN} + 216 \text{ kN} + 226,194 \text{ kN}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 3406,0477 \text{ kN}$$

$$N \text{ tiang} = 4 \text{ buah}$$

Absis tiang pada inti pilecap:

$$m = 2 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu y)}$$

$$n = 2 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu x)}$$

$$x = 0,75 \text{ m}$$

$$y = 0,75 \text{ m}$$

$$M_x = 732,0866 \text{ kN (hasil dari program ETABS)}$$

$$M_y = 3278,1308 \text{ kN (hasil dari program ETABS)}$$

$$V_i = \frac{3406,0477}{4} \pm \frac{3278,1308 \times 0,75}{2,25} \pm \frac{732,0866 \times 0,75}{2,25}$$

$$V_i = 1706,99 \text{ kN}$$

$$V_i = \frac{3406,0477}{4} \pm \frac{3278,1308 \times -0,75}{2,25} \pm \frac{732,0866 \times -0,75}{2,25}$$

$$V_i = -3,97 \text{ kN}$$

**Tabel 5, 24 Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor**

| No    | Xi    | Yi    | Xi <sup>2</sup> | Yi <sup>2</sup> | Pi      |
|-------|-------|-------|-----------------|-----------------|---------|
| P1    | -0,75 | -0,75 | 0,5625          | 0,5625          | -3,97   |
| P2    | 0,75  | -0,75 | 0,5625          | 0,5625          | 1115,51 |
| P3    | -0,75 | 0,75  | 0,5625          | 0,5625          | 587,51  |
| P4    | 0,75  | 0,75  | 0,5625          | 0,5625          | 1706,99 |
| Total |       |       | 2,25            | 2,25            |         |

e, Analisis kekuatan tiang

$$P = 1706,99 \text{ kN (beban maksimum yang diterima satu tiang)}$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times D^2$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times 0,5^2$$

$$A_p = 0,19635$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{1706,99}{0,19635}$$

$$\sigma = 8693,6328 \text{ kN}$$

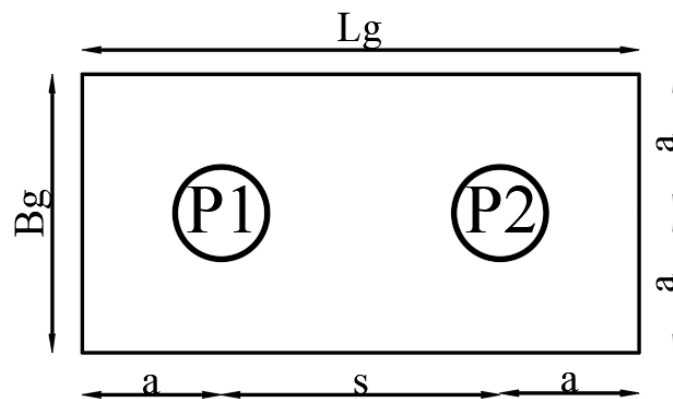
$$\sigma_{ijin} = 30 \text{ Mpa}$$

$$= 30 \times 1000$$

$$\sigma_{ijin} = 30000 \text{ kN/m}_2$$

$$\text{Kondisi} = \sigma \leq \sigma_{ijin} \text{ (AMAN)}$$

$$= 8693,6328 \text{ kN/m}_2 \leq 30000 \text{ kN/m}_2 \text{ (AMAN)}$$



**Gambar 5.18 Susunan 2 Tiang Diameter 0,5 Label 143**

$$D = 0,5$$

$$a = 0,75 \text{ m}$$

$$s = 1,5 \text{ m}$$

$$L_g = 3 \text{ m}$$

$$B_g = 1,5 \text{ m}$$

$$F_z = 853,3107 \text{ kN}$$

$$M_x = 580,543 \text{ kN}$$

$$M_y = 2623,0856 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Pilecap (W)} = (B \times H \times t) \gamma$$

$$= (3 \times 1,5 \times 1) 24$$

$$= 108 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat tiang} &= (1/4 \times \pi \times D^2 \times t) \times \gamma \times n \text{ tiang} \\
 &= (1/4 \times \pi \times 0,5^2 \times 1,2) \times 24 \times 2 \\
 &= 113,0973 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat total (pt)} = P + W + \text{berat tiang}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 853,3107 \text{ kN} + 108 \text{ kN} + 113,0973 \text{ kN}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 1074,4080 \text{ kN}$$

$$N \text{ tiang} = 2 \text{ buah}$$

Absis tiang pada inti pilecap:

$$m = 1 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu y)}$$

$$n = 2 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu x)}$$

$$x = 0,75 \text{ m}$$

$$y = 0 \text{ m}$$

$$M_x = 580,543 \text{ kN}$$

$$M_y = 2623,0856 \text{ kN}$$

$$V_i = \frac{1074,4080}{2} \pm \frac{2623,0856 \times 0,75}{1,125} \pm \frac{887,2183 \times 0}{0}$$

$$V_i = 2285,927 \text{ kN}$$

**Tabel 5, 25 Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor**

| No    | Xi   | Yi | Xi <sup>2</sup> | Yi <sup>2</sup> | Pi       |
|-------|------|----|-----------------|-----------------|----------|
| P1    | 0,75 | 0  | 0,5625          | 0               | 2285,927 |
| P2    | 0,75 | 0  | 0,5625          | 0               | 2285,927 |
| Total |      |    | 1,125           | 0               |          |

e. Analisis kekuatan tiang

$$P = 2285,927 \text{ kN (beban maksimum yang diterima satu tiang)}$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times D^2$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times 0,6^2$$

$$A_p = 0,2827$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{2285,927}{0,2827}$$

$$\sigma = 11642,134 \text{ kN/m}^2$$

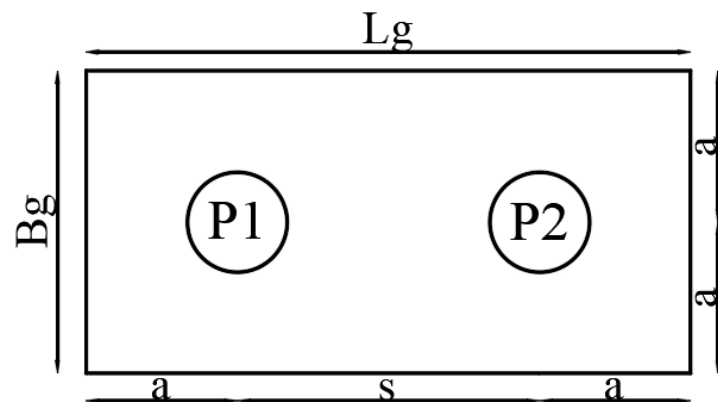
$$\sigma_{ijin} = 30 \text{ Mpa}$$

$$= 30 \times 1000$$

$$\sigma_{ijin} = 30000 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kondisi} = \sigma \leq \sigma_{ijin} \text{ (AMAN)}$$

$$= 11642,134 \text{ kN/m}^2 \leq 30000 \text{ kN/m}^2 \text{ (AMAN)}$$



**Gambar 5.19 Susunan 2 Tiang Diameter 0,8 Label 123**

Label 123

$$D = 0,8$$

$$a = 1,2 \text{ m}$$

$$s = 2,4 \text{ m}$$

$$L_g = 4,8 \text{ m}$$

$$B_g = 2,4 \text{ m}$$

$$F_z = 2963,8531 \text{ kN}$$

$$M_x = 887,2183 \text{ kN}$$

$$M_y = 1679,2183 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Pilecap (W)} &= (B \times H \times t) \gamma \\ &= (4,8 \times 2,4 \times 1,6) 24 \\ &= 442,368 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat tiang} &= (1/4 \times \pi \times D^2 \times t) \times \gamma \times n \text{ tiang} \\ &= (1/4 \times \pi \times 0,8^2 \times 1,6) \times 24 \times 2 \\ &= 289,529 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Berat total (pt)} = P + W + \text{berat tiang}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 2963,8531 \text{ kN} + 442,368 \text{ kN} + 289,529 \text{ kN}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 3695,7502 \text{ kN}$$

$$N \text{ tiang} = 2 \text{ buah}$$

Absis tiang pada inti pilecap:

$$m = 1 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu y)}$$

$$n = 2 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu x)}$$

$$x = 1,2 \text{ m}$$

$$y = 0 \text{ m}$$

$$M_x = 887,2183 \text{ kN (hasil dari program ETABS)}$$

$$M_y = 1679,2183 \text{ kN (hasil dari program ETABS)}$$

$$V_i = \frac{3695,7502}{2} \pm \frac{1679,2183 \times 1,2}{2,88} \pm \frac{887,2183 \times 0}{0}$$

$$V_i = 2547,5494 \text{ kN}$$

**Tabel 5, 26 Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor**

| No    | Xi  | Yi | Xi <sup>2</sup> | Yi <sup>2</sup> | Pi       |
|-------|-----|----|-----------------|-----------------|----------|
| P1    | 1,2 | 0  | 1,44            | 0               | 2547,549 |
| P2    | 1,2 | 0  | 1,44            | 0               | 2547,549 |
| Total |     |    | 2,88            | 0               |          |

e. Analisis kekuatan tiang

$$P = 2547,549 \text{ kN (beban maksimum yang diterima satu tiang)}$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times D^2$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times 0,8^2$$

$$A_p = 0,5026$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{2547,549}{0,5026}$$

$$\sigma = 12974,5627 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{ijin} = 30 \text{ Mpa}$$

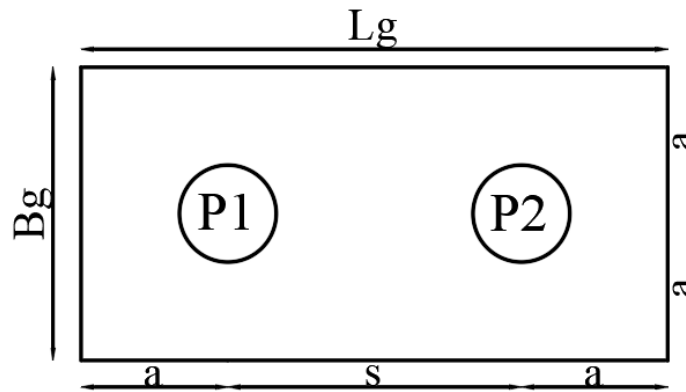
$$= 30 \times 1000$$

$$\sigma_{ijin} = 30000 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Kondisi} = \sigma \leq \sigma_{ijin} \text{ (AMAN)}$$

$$= 12974,5627 \text{ kN/m}^2 \leq 30000 \text{ kN/m}^2 \text{ (AMAN)}$$

Label 143



**Gambar 5.20 Susunan 2 Tiang Diameter 0,8 Label 143**

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$a = 1,2 \text{ m}$$

$$s = 2,4 \text{ m}$$

$$L_g = 4,8 \text{ m}$$

$$B_g = 2,4 \text{ m}$$

$$F_z = 853,3107 \text{ kN}$$

$$M_x = 580,543 \text{ kN}$$

$$M_y = 2623,0856 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Pilecap (W)} = (B \times H \times t) \gamma$$

$$= (4,8 \times 2,4 \times 1,6) 24$$

$$= 442,368 \text{ kN}$$

$$\text{Berat tiang} = \left( \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \right) \gamma \times n \text{ tiang}$$

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

$$= 289,529 \text{ kN}$$

$$\text{Berat total (pt)} = P + W + \text{berat tiang}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 853,3107 \text{ kN} + 442,368 \text{ kN} + 289,529 \text{ kN}$$

$$\text{Berat total (pt)} = 1585,2078 \text{ kN}$$

$$\text{N tiang} = 2 \text{ buah}$$

Absis tiang pada inti pilecap:

$$m = 1 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu y)}$$

$$n = 2 \text{ buah (jumlah tiang arah sumbu x)}$$

$$x = 1,2 \text{ m}$$

$$y = 0 \text{ m}$$

$$M_x = 580,543 \text{ kN (hasil dari program ETABS)}$$

$$M_y = 2623,0856 \text{ kN (hasil dari program ETABS)}$$

$$V_i = \frac{1585,2078}{2} \pm \frac{2623,0856 \times 1,2}{2,88} \pm \frac{580,543 \times 0}{0}$$

$$V_i = 1885,5562 \text{ kN}$$

**Tabel 5, 27 Rekapitulasi Gaya Semua Tiang Bor**

| BH 1  |     |    |                 |                 |           |
|-------|-----|----|-----------------|-----------------|-----------|
| No    | Xi  | Yi | Xi <sup>2</sup> | Yi <sup>2</sup> | Pi        |
| P1    | 1,2 | 0  | 1,44            | 0               | 1885,5562 |
| P2    | 1,2 | 0  | 1,44            | 0               | 1885,5562 |
| Total |     |    | 2,88            | 0               |           |

e, Analisis kekuatan tiang

$$P = 1885,556 \text{ kN (beban maksimum yang diterima satu tiang)}$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times D^2$$

$$A_p = 1/4 \times \pi \times 0,8^2$$

$$A_p = 0,5026$$

$$\begin{aligned}
 \sigma &= \frac{P}{A} \\
 \sigma &= \frac{1885,556}{0,5026} \\
 \sigma &= 3751,1950 \text{ kN/m}_2 \\
 \sigma_{ijin} &= 30 \text{ Mpa} \\
 &= 30 \times 1000 \\
 \sigma_{ijin} &= 30000 \text{ kN/m}_2 \\
 \text{Kondisi} &= \sigma \leq \sigma_{ijin} \text{ (AMAN)} \\
 &= 3751,195 \text{ kN/m}_2 \leq 30000 \text{ kN/m}_2 \text{ (AMAN)}
 \end{aligned}$$

## 5.6 Penurunan

### 5.5.1 Penurunan Tiang Tunggal

#### 1. Metode Mayerhoff

##### a. Diameter 0,6 Label 123

$$\begin{aligned}
 P &= 2963,853 \text{ kN} \\
 S &= S_{e1} + S_{e2} + S_{e3} \\
 D &= 0,6 \\
 \xi &= 0,67 \\
 L &= 12 \\
 A_p &= 0,2827 \\
 E_p &= 4700\sqrt{fc} \\
 E_p &= 4700\sqrt{30} \\
 E_p &= 25742960,2 \text{ kN} \\
 Q_w &= \frac{p}{n} \\
 Q_w &= \frac{2963,853}{3} \\
 Q_w &= 987,951 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q_{wp} &= \frac{Q_p}{Q_p + Q_s} \times Q_w \\
Q_{wp} &= \frac{1730,38}{477,45 + 1730,38} \times 987,951 \\
Q_{wp} &= 774,301 \text{ kN} \\
Q_{ws} &= \frac{Q_s}{Q_s + Q_p} \times Q_w \\
Q_{ws} &= \frac{477,45}{477,45 + 1730,38} \times 987,951 \\
Q_{ws} &= 213,650 \text{ kN} \\
S_{e1} &= \frac{(Q_{wp} + \xi \cdot Q_{ws})L}{A_{p,Ep}} \\
S_{e1} &= \frac{(774,301 + 0,67 \times 213,650)12}{0,2827 \times 25742960,2} \\
S_{e1} &= 0,0015 \text{ m}
\end{aligned}$$

Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi akibat beban di ujung tiang adalah sebesar 0,0015 m.

$$\begin{aligned}
C_p &= 0,09 \\
q_p &= \frac{Q_p}{A_p} \\
q_p &= \frac{1730,38}{0,2827} \\
q_p &= 6120 \\
S_{e2} &= \frac{(C_p \cdot Q_{wp})}{D \cdot q_p} \\
S_{e2} &= \frac{(0,09 \times 774,301)}{0,6 \times 6120} \\
S_{e2} &= 0,0068 \text{ m}
\end{aligned}$$

Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi akibat beban gesekan selimut tiang adalah sebesar 0,0068 m.

$$\begin{aligned}
S_{e3} &= \frac{Q_{ws}}{P, L} \times \frac{D}{E_s} (1 - \mu^2) I_{ws} \\
P &= 1,8849 \\
\mu &= 0,3 \\
E_s &= 100000 \\
I_{ws} &= 3,5652
\end{aligned}$$

$$S_{e3} = \frac{213,650}{1,8849 \times 12} \times \frac{0,6}{100000} (1 - 0,3^2) 3,5652$$

$$S_{e3} = 0,0002 \text{ m}$$

Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi akibat deformasi aksial tiang adalah sebesar 0,0002 m,

$$S = 0,0015 + 0,0068 + 0,0002$$

$$S = 0,0085 \text{ m}$$

$$S_{izin} = 10\% \times D$$

$$S_{izin} = 10\% \times 0,6$$

$$S_{izin} = 0,0600 \text{ m}$$

$$0,0085 \text{ m} < 0,0600 \text{ m (AMAN)}$$

b. Diameter 0,5 label 123

$$S = S_{e1} + S_{e2} + S_{e3}$$

$$D = 0,5$$

$$\xi = 0,67$$

$$L = 12$$

$$A_p = 0,1963$$

$$E_p = 4700\sqrt{fc}$$

$$E_p = 4700\sqrt{30}$$

$$E_p = 25742960,2 \text{ kN}$$

$$Q_w = \frac{p}{n}$$

$$Q_w = \frac{2963,853}{4}$$

$$Q_w = 740,963 \text{ kN}$$

$$Q_{wp} = \frac{Q_p}{Q_p + Q_s} \times Q_w$$

$$Q_{wp} = \frac{1201,65}{1201,65 + 397,88} \times 740,963$$

$$Q_{wp} = 556,650 \text{ kN}$$

$$Q_{ws} = \frac{Q_s}{Q_s + Q_p} \times Q_w$$

$$Q_{ws} = \frac{397,88}{397,88 + 1201,65} \times 740,963$$

$$Q_{ws} = 184,313 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 S_{e1} &= \frac{(Q_{wp} + \xi, Q_{ws})L}{A_p, E_p} \\
 S_{e1} &= \frac{(184,313 + 0,67 \times 556,650)12}{0,1963 \times 25742960,2} \\
 S_{e1} &= 0,0016 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi akibat beban di ujung tiang adalah sebesar 0,0016 m,

$$\begin{aligned}
 C_p &= 0,09 \\
 qp &= \frac{Qp}{Ap} \\
 qp &= \frac{1201,65}{0,1963} \\
 qp &= 6120 \\
 S_{e2} &= \frac{(C_p, Q_{wp})}{D, qp} \\
 S_{e2} &= \frac{(0,09 \times 556,650)}{0,5 \times 6120} \\
 S_{e2} &= 0,0041 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi akibat beban gesekan selimut tiang adalah sebesar 0,0041 m

$$\begin{aligned}
 S_{e3} &= \frac{Q_{ws}}{P, L} \times \frac{D}{E_s} (1 - \mu^2) I_{ws} \\
 P &= 1,5707 \\
 \mu &= 0,3 \\
 E_s &= 100000 \\
 I_{ws} &= 3,7146 \\
 S_{e3} &= \frac{184,313}{1,5707 \times 12} \times \frac{0,5}{80000} (1 - 0,3^2) 3,7146 \\
 S_{e3} &= 0,0002 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi akibat deformasi aksial tiang adalah sebesar 0,0002 m,

$$\begin{aligned}
 S &= 0,0016 + 0,0041 + 0,0002 \\
 S &= 0,0059 \text{ m} \\
 S_{izin} &= 10\% \times D
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{zin} &= 10\% \times 0,5 \\ S_{zin} &= 0,0500 \text{ m} \\ 0,0059 \text{ m} &< 0,0500 \text{ m (AMAN)} \end{aligned}$$

f. Diameter 0,8

$$\begin{aligned} S &= S_{e1} + S_{e2} + S_{e3} \\ D &= 0,8 \\ \xi &= 0,67 \\ L &= 12 \\ A_p &= 0,5026 \\ E_p &= 4700\sqrt{fc} \\ E_p &= 4700\sqrt{30} \\ E_p &= 25742960,2 \text{ kN} \\ Q_w &= \frac{p}{n} \\ Q_w &= \frac{2963,853}{2} \\ Q_w &= 1481,927 \text{ kN} \\ Q_{wp} &= \frac{Q_p}{Q_p + Q_s} \times Q_w \\ Q_{wp} &= \frac{3076,24}{3076,24 + 636,61} \times 1481,927 \\ Q_{wp} &= 1227,833 \text{ kN} \\ Q_{ws} &= \frac{Q_s}{Q_s + Q_p} \times Q_w \\ Q_{ws} &= \frac{636,61}{636,61 + 3076,24} \times 1481,927 \\ Q_{ws} &= 254,093 \text{ kN} \\ S_{e1} &= \frac{(Q_{wp} + \xi, Q_{ws})L}{A_p, E_p} \\ S_{e1} &= \frac{(1227,833 + 0,67 \times 254,093)12}{0,5026 \times 25742960,2} \\ S_{e1} &= 0,0013 \text{ m} \end{aligned}$$

Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi akibat beban di ujung tiang adalah sebesar 0,0013 m,

$$C_p, = 0,09$$

$$\begin{aligned}
 qp &= \frac{Qp}{Ap} \\
 qp &= \frac{3076,24}{0,5026} \\
 qp &= 6120 \\
 S_{e2} &= \frac{(C_p, Q_{wp})}{D, qp} \\
 S_{e2} &= \frac{(0,09 \times 1227,833)}{0,8 \times 6120} \\
 S_{e2} &= 0,0144 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi akibat beban gesekan selimut tiang adalah sebesar 0,0144 m

$$\begin{aligned}
 S_{e3} &= \frac{Q_{ws}}{P, L} \times \frac{D}{E_s} (1 - \mu^2) I_{ws} \\
 P &= 2,5132 \\
 \mu &= 0,3 \\
 E_s &= 100000 \\
 I_{ws} &= 3,3555 \\
 S_{e3} &= \frac{254,093}{1,5707 \times 12} \times \frac{0,8}{100000} (1 - 0,3^2) 3,3555 \\
 S_{e3} &= 0,0002 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi akibat deformasi aksial tiang adalah sebesar 0,0002 m.

$$\begin{aligned}
 S &= 0,0013 + 0,0144 + 0,0002 \\
 S &= 0,0159 \text{ m} \\
 S_{izin} &= 10\% \times D \\
 S_{izin} &= 10\% \times 0,8 \\
 S_{izin} &= 0,0800 \text{ m} \\
 0,0159 \text{ m} &< 0,0800 \text{ m (AMAN)}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan penurunan tiang tunggal metode Meyerhof dapat dilihat pada Tabel 5,28, Tabel 5,29, Tabel 5,30 dan Tabel 5,31 berikut,

**Tabel 5.28 Rekapitulasi Penurunan Tiang Tunggal BH 3**

| Diameter | Se1    | Se2    | Se3    | Stotal |        | Sizin  | Keterangan |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|
|          | m      | m      | m      | m      | mm     | m      |            |
| 0,6      | 0,0015 | 0,0068 | 0,0002 | 0,0085 | 8,528  | 0,0600 | AMAN       |
| 0,5      | 0,0016 | 0,0041 | 0,0002 | 0,0059 | 5,873  | 0,0500 | AMAN       |
| 0,8      | 0,0013 | 0,0144 | 0,0002 | 0,0159 | 15,947 | 0,0800 | AMAN       |

**Tabel 5.29 Rekapitulasi Penurunan Tiang Tunggal BH 4**

| Diameter | Se1    | Se2    | Se3    | Stotal |        | Sizin  | Keterangan |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|
|          | m      | m      | m      | m      | Mm     | m      |            |
| 0,6      | 0,0015 | 0,0061 | 0,0002 | 0,0078 | 7,799  | 0,0600 | AMAN       |
| 0,5      | 0,0016 | 0,0038 | 0,0001 | 0,0055 | 5,530  | 0,0500 | AMAN       |
| 0,8      | 0,0013 | 0,0128 | 0,0002 | 0,0143 | 14,290 | 0,0800 | AMAN       |

**Tabel 5.30 Rekapitulasi Penurunan Tiang Tunggal BH 3 Label 143**

| Diameter | Se1    | Se2     | Se3    | Stotal |        | Sizin  | Keterangan |
|----------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|------------|
|          | m      | m       | m      | m      | mm     | m      |            |
| 0,6      | 0,0007 | 0,00295 | 0,0001 | 0,0037 | 3,6831 | 0,0600 | AMAN       |
| 0,5      | 0,0009 | 0,00236 | 0,0001 | 0,0034 | 3,3817 | 0,0500 | AMAN       |
| 0,8      | 0,0004 | 0,00416 | 0,0001 | 0,0046 | 4,5914 | 0,0800 | AMAN       |

**Tabel 5.31 Rekapitulasi Penurunan Tiang Tunggal BH 4 Label 143**

| Diameter | Se1    | Se2     | Se3    | Stotal |        | Sizin  | Keterangan |
|----------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|------------|
|          | m      | m       | m      | m      | mm     | m      |            |
| 0,6      | 0,0007 | 0,00264 | 0,0001 | 0,0034 | 3,3681 | 0,0600 | AMAN       |
| 0,5      | 0,0009 | 0,00216 | 0,0001 | 0,0032 | 3,1843 | 0,0500 | AMAN       |
| 0,8      | 0,0004 | 0,00369 | 0,0001 | 0,0041 | 4,1142 | 0,0800 | AMAN       |

1. Metode Reese & Wright

a. Diameter 0,6

$$S = S_{e1} + S_{e2} + S_{e3}$$

$$D = 0,6$$

$$\xi = 0,67$$

$$L = 12$$

$$A_p = 0,2827$$

$$E_p = 4700\sqrt{fc}$$

$$E_p = 4700\sqrt{30}$$

$$E_p = 25742960,2 \text{ kN}$$

$$Q_w = \frac{p}{n}$$

$$Q_w = \frac{2963,8531}{3}$$

$$Q_w = 987,951 \text{ kN}$$

$$Q_{wp} = \frac{Q_p}{Q_p + Q_s} \times Q_w$$

$$Q_{wp} = \frac{465,98}{465,98 + 1763,34} \times 987,951$$

$$Q_{wp} = 206,506 \text{ kN}$$

$$Q_{ws} = \frac{Q_s}{Q_s + Q_p} \times Q_w$$

$$Q_{ws} = \frac{1763,34}{1763,34 + 465,98} \times 987,951$$

$$Q_{ws} = 781,445 \text{ kN}$$

$$S_{e1} = \frac{(Q_{wp} + \xi, Q_{ws})L}{A_{p,E_p}}$$

$$S_{e1} = \frac{(206,506 + 0,67 \times 781,445)12}{0,2827 \times 25742960,2}$$

$$S_{e1} = 0,0012 \text{ m}$$

Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi akibat beban di ujung tiang adalah sebesar 0,0012 m.

$$C_p = 0,09$$

$$q_p = \frac{Q_p}{A_p}$$

$$q_p = \frac{465,9836}{0,2827}$$

$$q_p = 1648$$

$$S_{e2} = \frac{(C_p, Q_{wp})}{D, q_p}$$

$$S_{e2} = \frac{(0,09 \times 206,506)}{0,6 \times 3364,83}$$

$$S_{e2} = 0,0068 \text{ m}$$

Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi akibat beban gesekan selimut tiang adalah sebesar 0,0068 m

$$S_{e3} = \frac{Q_{ws}}{P, L} \times \frac{D}{E_s} (1 - \mu^2) I_{ws}$$

$$\begin{aligned}
 P &= 1,8849 \\
 \mu &= 0,4 \\
 E_s &= 100000 \\
 I_{ws} &= 3,5652 \\
 S_{e3} &= \frac{781,445}{1,8849 \times 12} \times \frac{0,6}{100000} (1 - 0,4^2) 3,5652 \\
 S_{e3} &= 0,0007 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi akibat deformasi aksial tiang adalah sebesar 0,0007 m.

$$\begin{aligned}
 S &= 0,0012 + 0,0068 + 0,0007 \\
 S &= 0,0126 \text{ m} \\
 S_{izin} &= 10\% \times D \\
 S_{izin} &= 10\% \times 0,6 \\
 S_{izin} &= 0,0086 \text{ m} \\
 0,0086 \text{ m} &< 0,0600 \text{ m (AMAN)}
 \end{aligned}$$

b. Diameter 0,5

$$\begin{aligned}
 S &= S_{e1} + S_{e2} + S_{e3} \\
 D &= 0,5 \\
 \xi &= 0,67 \\
 L &= 12 \\
 A_p &= 0,1963 \\
 E_p &= 4700\sqrt{fc} \\
 E_p &= 4700\sqrt{30} \\
 E_p &= 25742960,2 \text{ kN} \\
 Q_w &= \frac{p}{n} \\
 Q_w &= \frac{2963,8531}{4} \\
 Q_w &= 740,963 \text{ kN} \\
 Q_{wp} &= \frac{Q_p}{Q_p + Q_s} \times Q_w \\
 Q_{wp} &= \frac{323,59}{323,59 + 1469,45} \times 740,963
 \end{aligned}$$

$$Q_{wp} = 133,725 \text{ kN}$$

$$Q_{ws} = \frac{Q_s}{Q_s + Q_p} \times Q_w$$

$$Q_{ws} = \frac{1469,45}{636,61 + 323,59} \times 740,963$$

$$Q_{ws} = 607,238 \text{ kN}$$

$$S_{e1} = \frac{(Q_{wp} + \xi, Q_{ws})L}{A_{p, E_p}}$$

$$S_{e1} = \frac{(133,725 + 0,67 \times 607,238)12}{0,1963 \times 25742960,2}$$

$$S_{e1} = 0,0013 \text{ m}$$

Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi akibat beban di ujung tiang adalah sebesar 0,0013 m,

$$C_p = 0,09$$

$$q_p = \frac{Q_p}{A_p}$$

$$q_p = \frac{323,59}{0,1963}$$

$$q_p = 1648$$

$$S_{e2} = \frac{(C_p, Q_{wp})}{D, q_p}$$

$$S_{e2} = \frac{(0,09 \times 133,725)}{0,5 \times 1648}$$

$$S_{e2} = 0,0037 \text{ m}$$

Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi akibat beban gesekan selimut tiang adalah sebesar 0,0037 m

$$S_{e3} = \frac{Q_{ws}}{P, L} \times \frac{D}{E_s} (1 - \mu^2) I_{ws}$$

$$P = 1,5707$$

$$\mu = 0,4$$

$$E_s = 100000$$

$$I_{ws} = 3,7146$$

$$S_{e3} = \frac{607,238}{1,5707 \times 12} \times \frac{0,5}{100000} (1 - 0,4^2) 3,7146$$

$$S_{e3} = 0,0005 \text{ m}$$

Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi akibat deformasi aksial tiang adalah sebesar 0,0005 m,

$$S = 0,0013 + 0,0037 + 0,0005$$

$$S = 0,0055 \text{ m}$$

$$S_{izin} = 10\% \times D$$

$$S_{izin} = 10\% \times 0,5$$

$$S_{izin} = 0,0500 \text{ m}$$

$$0,0055 \text{ m} < 0,0600 \text{ m (AMAN)}$$

c. Diameter 0,8

$$S = S_{e1} + S_{e2} + S_{e3}$$

$$D = 0,8$$

$$\xi = 0,67$$

$$L = 12$$

$$A_p = 0,5026$$

$$E_p = 4700\sqrt{fc}$$

$$E_p = 4700\sqrt{30}$$

$$E_p = 25742960,2 \text{ kN}$$

$$Q_w = \frac{p}{n}$$

$$Q_w = \frac{2963,8531}{2}$$

$$Q_w = 1481,926 \text{ kN}$$

$$Q_{wp} = \frac{Q_p}{Q_p + Q_s} \times Q_w$$

$$Q_{wp} = \frac{828,41}{828,41 + 2351,12} \times 1481,926$$

$$Q_{wp} = 386,110 \text{ kN}$$

$$Q_{ws} = \frac{Q_s}{Q_s + Q_p} \times Q_w$$

$$Q_{ws} = \frac{2351,12}{2351,12 + 828,41} \times 1481,926$$

$$Q_{ws} = 1095,817 \text{ kN}$$

$$S_{e1} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p}$$

$$S_{e1} = \frac{(386,110 + 0,67 \times 1095,817)12}{0,5026 \times 25742960,2}$$

$$S_{e1} = 0,0010 \text{ m}$$

Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi akibat beban di ujung tiang adalah sebesar 0,0010 m.

$$C_p = 0,09$$

$$qp = \frac{Qp}{Ap}$$

$$qp = \frac{828,41}{0,5026}$$

$$qp = 643,78$$

$$S_{e2} = \frac{(C_p, Q_{wp})}{D, qp}$$

$$S_{e2} = \frac{(0,09 \times 386,110)}{0,8 \times 643,78}$$

$$S_{e2} = 0,0169 \text{ m}$$

Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi akibat beban gesekan selimut tiang adalah sebesar 0,0169 m.

$$S_{e3} = \frac{Q_{ws}}{P, L} \times \frac{D}{E_s} (1 - \mu^2) I_{ws}$$

$$P = 2,5132$$

$$\mu = 0,4$$

$$E_s = 100000$$

$$I_{ws} = 3,3555$$

$$S_{e3} = \frac{1095,817}{2,5132 \times 12} \times \frac{0,8}{100000} (1 - 0,4^2) 3,3555$$

$$S_{e3} = 0,0009 \text{ m}$$

Nilai ini menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi akibat deformasi aksial tiang adalah sebesar 0,0002 m,

$$S = 0,0010 + 0,0169 + 0,0009$$

$$S = 0,0188 \text{ m}$$

$$S_{izin} = 10\% \times D$$

$$S_{izin} = 10\% \times 0,8$$

$$S_{izin} = 0,0800 \text{ m}$$

$$0,0188 \text{ m} < 0,0800 \text{ m (AMAN)}$$

Hasil perhitungan penurunan tiang tunggal metode Reese & Wright dapat dilihat pada Tabel 5,40, Tabel 5,42, Tabel 5,41 dan Tabel 5,42 berikut,

**Tabel 5, 32 Rekapitulasi Penurunan Tiang Tunggal BH 3**

| Diameter | Se1    | Se2    | Se3    | Stotal |         | Sizin  | Keterangan |
|----------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|------------|
|          | m      | m      | m      | m      | mm      | m      |            |
| 0,6      | 0,0012 | 0,0068 | 0,0007 | 0,0086 | 8,6424  | 0,0600 | AMAN       |
| 0,5      | 0,0013 | 0,0037 | 0,0005 | 0,0055 | 5,4791  | 0,0500 | AMAN       |
| 0,8      | 0,0010 | 0,0169 | 0,0009 | 0,0188 | 18,7946 | 0,0800 | AMAN       |

**Tabel 5, 33 Rekapitulasi Penurunan Tiang Tunggal BH 4**

| Diameter | Se1    | Se2    | Se3    | Stotal |         | Sizin  | Keterangan |
|----------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|------------|
|          | m      | m      | m      | m      | mm      | m      |            |
| 0,6      | 0,0012 | 0,0069 | 0,0006 | 0,0087 | 8,7192  | 0,0600 | AMAN       |
| 0,5      | 0,0013 | 0,0037 | 0,0005 | 0,0055 | 5,5486  | 0,0500 | AMAN       |
| 0,8      | 0,0011 | 0,0169 | 0,0008 | 0,0188 | 18,7828 | 0,0800 | AMAN       |

**Tabel 5, 34 Rekapitulasi Penurunan Tiang Tunggal BH 3 label 143**

| Diameter | Se1    | Se2    | Se3    | Stotal |        | Sizin  | Keterangan |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|
|          | m      | m      | m      | m      | mm     | m      |            |
| 0,6      | 0,0005 | 0,0029 | 0,0003 | 0,0037 | 3,7323 | 0,0600 | AMAN       |
| 0,5      | 0,0007 | 0,0021 | 0,0003 | 0,0032 | 3,1550 | 0,0500 | AMAN       |
| 0,8      | 0,0003 | 0,0049 | 0,0003 | 0,0054 | 5,4111 | 0,0800 | AMAN       |

**Tabel 5, 35 Rekapitulasi Penurunan Tiang Tunggal BH 4 Label 143**

| Diameter | Se1    | Se2    | Se3    | Stotal |        | Sizin  | Keterangan |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|
|          | m      | m      | m      | m      | mm     | m      |            |
| 0,6      | 0,0005 | 0,0030 | 0,0003 | 0,0038 | 3,7655 | 0,0600 | AMAN       |
| 0,5      | 0,0008 | 0,0021 | 0,0003 | 0,0032 | 3,1949 | 0,0500 | AMAN       |
| 0,8      | 0,0003 | 0,0049 | 0,0002 | 0,0054 | 5,4077 | 0,0800 | AMAN       |

### 5.6.2 Penurunan Tiang Kelompok

#### 1. Metode Mayerhoff

##### a. Diameter 0,6

Label = 123

D = 0,6

n = 3

S = 0,0085 m

$$bg = 3,36$$

$$S_g = S \sqrt{\frac{Bg}{D}}$$

$$S_g = 0,0085 \sqrt{\frac{3,36}{0,6}}$$

$$S_g = 0,0202 \text{ m}$$

$$S_g = 20,1786 \text{ mm}$$

$$\text{Sizin} = < 150 + \frac{b}{600} \text{ mm}$$

$$\text{Sizin} = < 150 + \frac{60}{600} \text{ mm}$$

$$\text{Sizin} = 150,1 \text{ mm}$$

$$20,1786 \text{ mm} < 150,1 \text{ mm (AMAN)}$$

b. Diameter 0,5

$$D = 0,5$$

$$n = 4$$

$$S = 0,0059 \text{ m}$$

$$bg = 2$$

$$S_g = S \sqrt{\frac{Bg}{D}}$$

$$S_g = 0,0059 \sqrt{\frac{2}{0,5}}$$

$$S_g = 0,0117 \text{ m}$$

$$S_g = 11,746 \text{ mm}$$

$$\text{Sizin} = < \frac{150+b}{600} \text{ mm}$$

$$\text{Sizin} = < \frac{150+60}{600} \text{ mm}$$

$$\text{Sizin} = 150,08 \text{ mm}$$

$$11,746 \text{ mm} < 150,08 \text{ mm (AMAN)}$$

c. Diameter 0,8

$$D = 0,8$$

$$n = 4$$

$$s = 0,0159$$

$$bg = 2,4$$

$$S_g = S \sqrt{\frac{Bg}{D}}$$

$$S_g = 0,0159 \sqrt{\frac{2,4}{0,8}}$$

$$S_g = 0,0276 \text{ m}$$

$$S_g = 27,6218 \text{ mm}$$

$$\text{Sizin} = < 150 + \frac{b}{600} \text{ mm}$$

$$\text{Sizin} = < 150 + \frac{60}{600} \text{ mm}$$

$$\text{Sizin} = 150,1 \text{ mm}$$

$$27,6218 \text{ mm} < 150,1 \text{ mm (AMAN)}$$

Hasil perhitungan penurunan tiang kelompok metode Meyerhof label 123 dapat dilihat pada Tabel 5.36, Tabel 5.37, Tabel 5.38 dan Tabel 5.39 berikut.

**Tabel 5.36 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Kelompok BH 3**

| Diameter | n | Bg   | Sg     |         | Sizin | Keterangan |
|----------|---|------|--------|---------|-------|------------|
|          |   | m    | m      | mm      | mm    |            |
| 0,6      | 3 | 3,36 | 0,0202 | 20,1786 | 150,1 | AMAN       |
| 0,5      | 4 | 2    | 0,0057 | 5,7209  | 150,1 | AMAN       |
| 0,8      | 2 | 2,4  | 0,0276 | 27,6218 | 150,1 | AMAN       |

**Tabel 5.37 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Kelompok BH 4**

| Diameter | n | Bg   | Sg     |         | Sizin | Keterangan |
|----------|---|------|--------|---------|-------|------------|
|          |   | m    | m      | mm      | mm    |            |
| 0,6      | 3 | 3,36 | 0,0117 | 11,7460 | 150,1 | AMAN       |
| 0,5      | 4 | 2    | 0,0111 | 11,0602 | 150,1 | AMAN       |
| 0,8      | 2 | 2,4  | 0,0248 | 24,7509 | 150,1 | AMAN       |

Hasil perhitungan penurunan tiang kelompok metode Meyerhof label 143 dapat dilihat pada Tabel 5,38 dan Tabel 5,39 berikut,

**Tabel 5.38 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Kelompok BH 3**

| Diameter | n | Bg  | Sg     |        | Sizin | Keterangan |
|----------|---|-----|--------|--------|-------|------------|
|          |   | m   | m      | mm     | mm    |            |
| 0,6      | 2 | 1,8 | 0,0064 | 6,3793 | 150,1 | AMAN       |
| 0,5      | 2 | 1,5 | 0,0059 | 5,8573 | 150,1 | AMAN       |
| 0,8      | 2 | 2,4 | 0,0080 | 7,9525 | 150,1 | AMAN       |

**Tabel 5.39 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Kelompok BH 4**

| Diameter | n | Bg  | Sg     |        | Sizin | Keterangan |
|----------|---|-----|--------|--------|-------|------------|
|          |   | m   | m      | mm     | mm    |            |
| 0,6      | 2 | 1,8 | 0,0058 | 5,8337 | 150,1 | AMAN       |
| 0,5      | 2 | 1,5 | 0,0055 | 5,5153 | 150,1 | AMAN       |
| 0,8      | 2 | 2,4 | 0,0071 | 7,1259 | 150,1 | AMAN       |

## 2. Reese & Wright

### a. Diameter 0,6

$$\text{Label} = 123$$

$$D = 0,6$$

$$n = 3$$

$$S = 0,0086 \text{ m}$$

$$bg = 3,35$$

$$S_g = S \sqrt{\frac{Bg}{D}}$$

$$S_g = 0,0086 \sqrt{\frac{3,35}{0,6}}$$

$$S_g = 0,0204 \text{ m}$$

$$S_g = 20,4481 \text{ mm}$$

$$\text{Sizin} = < 150 + \frac{b}{600} \text{ mm}$$

$$\text{Sizin} = < 150 + \frac{60}{600} \text{ mm}$$

$$\text{Sizin} = 150,1 \text{ mm}$$

$$20,4481 \text{ mm} < 150,1 \text{ mm (AMAN)}$$

b. Diameter 0,5

$$\text{Label} = 123$$

$$D = 0,5$$

$$n = 4$$

$$S = 0,0055$$

$$bg = 2$$

$$S_g = S \sqrt{\frac{Bg}{D}}$$

$$S_g = 0,0055 \sqrt{\frac{2}{0,5}}$$

$$S_g = 0,0110 \text{ m}$$

$$S_g = 10,9583 \text{ mm}$$

$$\text{Sizin} = < 150 + \frac{b}{600} \text{ mm}$$

$$\text{Sizin} = < 150 + \frac{60}{600} \text{ mm}$$

$$\text{Sizin} = 150,83 \text{ mm}$$

$$10,9583 \text{ mm} < 150,83 \text{ mm (AMAN)}$$

c. Diameter 0,8

$$\text{Label} = 123$$

$$D = 0,8$$

$$n = 2$$

$$S = 0,0188$$

$$b_g = 2,4$$

$$S_g = S \sqrt{\frac{b_g}{D}}$$

$$S_g = 0,0188 \sqrt{\frac{2,4}{0,8}}$$

$$S_g = 0,0326 \text{ m}$$

$$S_g = 32,5532 \text{ mm}$$

$$\text{Sizin} = < 150 + \frac{b}{600} \text{ mm}$$

$$\text{Sizin} = < 150 + \frac{60}{600} \text{ mm}$$

$$\text{Sizin} = 150,1 \text{ mm}$$

$$32,5532 \text{ mm} < 150,1 \text{ mm (AMAN)}$$

Hasil perhitungan penurunan tiang kelompok metode Reese & Wright label 123 dapat dilihat pada Tabel 5,52, Tabel 5,53, Tabel 5,54 dan Tabel 5,55 berikut,

**Tabel 5.40 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Kelompok BH 3**

| Diameter | n | Bg   | Sg     |         | Sizin  | Keterangan |
|----------|---|------|--------|---------|--------|------------|
|          |   | m    | m      | mm      | mm     |            |
| 0,6      | 3 | 3,36 | 0,0204 | 20,4481 | 150,1  | AMAN       |
| 0,5      | 4 | 2    | 0,0110 | 10,9583 | 150,83 | AMAN       |
| 0,8      | 2 | 2,4  | 0,0326 | 32,5532 | 150,1  | AMAN       |

**Tabel 5.41 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Kelompok BH 4**

| Diameter | n | Bg   | Sg     |         | Sizin  | Keterangan |
|----------|---|------|--------|---------|--------|------------|
|          |   | m    | m      | mm      | mm     |            |
| 0,6      | 3 | 3,36 | 0,0206 | 20,6299 | 150,1  | AMAN       |
| 0,5      | 4 | 2    | 0,0111 | 11,0972 | 150,83 | AMAN       |
| 0,8      | 2 | 2,4  | 0,0325 | 32,5328 | 150,1  | AMAN       |

Hasil perhitungan penurunan tiang kelompok metode Reese & Wright label 123 dapat dilihat pada Tabel 5.42 dan Tabel 5.43 berikut.

**Tabel 5.42 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Kelompok BH 3**

| Diameter | n | Bg  | Sg     |        | Sizin  | Keterangan |
|----------|---|-----|--------|--------|--------|------------|
|          |   | m   | m      | mm     | mm     |            |
| 0,6      | 2 | 1,8 | 0,0065 | 6,4645 | 150,1  | AMAN       |
| 0,5      | 2 | 1,5 | 0,0055 | 5,4645 | 150,83 | AMAN       |
| 0,8      | 2 | 2,4 | 0,0094 | 9,3723 | 150,1  | AMAN       |

**Tabel 5.43 Rekapitulasi Perhitungan Penurunan Tiang Kelompok BH 4**

| Diameter | n | Bg  | Sg     |        | Sizin  | Keterangan |
|----------|---|-----|--------|--------|--------|------------|
|          |   | m   | m      | mm     | mm     |            |
| 0,6      | 2 | 1,8 | 0,0065 | 6,5220 | 150,1  | AMAN       |
| 0,5      | 2 | 1,5 | 0,0055 | 5,5338 | 150,83 | AMAN       |
| 0,8      | 2 | 2,4 | 0,0094 | 9,3664 | 150,1  | AMAN       |

## 5.7 Analisis Pondasi Menggunakan PLAXIS 2D

Analisis menggunakan program PLAXIS 2D merupakan simulasi pembebanan pada fondasi tiang yang menggambarkan kondisi nyata di lapangan, Fondasi tiang bor didesain dengan variasi diameter 50 cm, 60 cm, dan 80 cm pada kedalaman 12 m, yang menerima beban kolom utama di atasnya sebesar 951,959 kN dan 3631,035 kN berdasarkan hasil analisis ETABS, Berikut adalah tahapan-tahapan dalam menganalisis menggunakan program,

### 5.7.1 Input Soil Properties

Data tanah yang digunakan dalam analisis PLAXIS 2D diperoleh dari hasil uji SPT (BH1 hingga BH4), Parameter tanah diinput dalam bentuk *soil properties* dengan model tanah *Mohr Coulomb* yang terdiri dari 3 lapis tanah, meliputi nilai NSPT, berat volume jenuh ( $\gamma_{sat}$ ), berat volume tidak jenuh ( $\gamma_{unsat}$ ), sudut geser dalam ( $\phi$ ), kohesi ( $c$ ), angka Poisson ( $v$ ), serta modulus elastisitas ( $E$ ) yang di dapat dari beberapa tabel korelasi data tanah yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 sampai dengan Tabel 3.4. Setiap titik boring hole memiliki karakteristik parameter tanah yang berbeda-beda sesuai dengan kondisi lapisan tanah pada masing-masing lokasi pengujian, Data *Soil Properties* dapat dilihat pada Tabel 5.44 serta input pada software PLAXIS 2D dapat dilihat pada Gambar 5.21 sampai Gambar 5.23 dan contoh pemodelan dapat dilihat pada Gambar 5.24 berikut.

**Tabel 5. 44 Data *Input Soil Properties* BH3**

| No | Data Input       | Lapis 1 | Lapis 2 | Lapis 3 |
|----|------------------|---------|---------|---------|
| 1  | NSPT             | 24,83   | 47,2    | 54,55   |
| 2  | $\gamma_{sat}$   | 18      | 18      | 20      |
| 3  | $\gamma_{unsat}$ | 16      | 16      | 18      |
| 4  | $\phi$           | 30      | 35      | 35      |
| 5  | $c$              | 0,1     | 0,1     | 0,1     |
| 6  | $v$              | 0,3     | 0,3     | 0,3     |
| 7  | $E$              | 50000   | 100000  | 100000  |

**Tabel 5. 45 Data *Input Soil Properties* BH4**

| No | Data Input       | Lapis 1 | Lapis 2 | Lapis 3 |
|----|------------------|---------|---------|---------|
| 1  | NSPT             | 21      | 39,11   | 52,42   |
| 2  | $\gamma_{sat}$   | 18      | 18      | 20      |
| 3  | $\gamma_{unsat}$ | 16      | 16      | 18      |
| 4  | $\phi$           | 30      | 35      | 35      |
| 5  | $c$              | 0,1     | 0,1     | 0,1     |
| 6  | $v$              | 0,3     | 0,3     | 0,3     |
| 7  | $E$              | 50000   | 100000  | 100000  |

Soil - Mohr-Coulomb - LAPIS 1 (pasir)

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

| Property                   | Unit                 | Value                               |
|----------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| <b>Material set</b>        |                      |                                     |
| Identification             |                      | LAPIS 1 (pasir)                     |
| Material model             |                      | Mohr-Coulomb                        |
| Drainage type              |                      | Drained                             |
| Colour                     |                      | RGB 161, 226, 232                   |
| Comments                   |                      |                                     |
| <b>General properties</b>  |                      |                                     |
| $\gamma_{unsat}$           | kN/m <sup>3</sup>    | 16.00                               |
| $\gamma_{sat}$             | kN/m <sup>3</sup>    | 18.00                               |
| <b>Advanced</b>            |                      |                                     |
| <b>Void ratio</b>          |                      |                                     |
| Dilatancy cut-off          |                      | <input type="checkbox"/>            |
| $e_{init}$                 |                      | 0.000                               |
| $e_{min}$                  |                      | 0.000                               |
| $e_{max}$                  |                      | 999.0                               |
| <b>Damping</b>             |                      |                                     |
| Rayleigh $\alpha$          |                      | 0.000                               |
| Rayleigh $\beta$           |                      | 0.000                               |
| <b>Stiffness</b>           |                      |                                     |
| $E'$                       | kN/m <sup>2</sup>    | 50.00E3                             |
| $\nu'$ ( $\nu_u$ )         |                      | 0.3000                              |
| <b>Alternatives</b>        |                      |                                     |
| $G$                        | kN/m <sup>2</sup>    | 19.23E3                             |
| $E_{oed}$                  | kN/m <sup>2</sup>    | 67.31E3                             |
| <b>Strength</b>            |                      |                                     |
| $c'_{ref}$                 | kN/m <sup>2</sup>    | 0.1000                              |
| $q'$ ( $p'h$ )             |                      | 30.00                               |
| $\psi$ ( $ps$ )            |                      | 0.000                               |
| <b>Velocities</b>          |                      |                                     |
| $V_s$                      | m/s                  | 108.6                               |
| $V_p$                      | m/s                  | 203.1                               |
| <b>Advanced</b>            |                      |                                     |
| Set to default values      |                      | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <b>Stiffness</b>           |                      |                                     |
| $E'_{inc}$                 | kN/m <sup>2</sup> /m | 0.000                               |
| $\gamma_{ref}$             | m                    | 0.000                               |
| <b>Strength</b>            |                      |                                     |
| $c'_{inc}$                 | kN/m <sup>2</sup> /m | 0.000                               |
| $\gamma_{ref}$             | m                    | 0.000                               |
| Tension cut-off            |                      | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Tensile strength           | kN/m <sup>2</sup>    | 0.000                               |
| <b>Undrained behaviour</b> |                      |                                     |

Gambar 5.21 Tabel *Input Soil Properties Plaxis 2D (Lapis 1)*

Soil - Mohr-Coulomb - LAPIS 2 (pasir)

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

| Property                   | Unit                 | Value                               |
|----------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| <b>Material set</b>        |                      |                                     |
| Identification             |                      | LAPIS 2 (pasir)                     |
| Material model             |                      | Mohr-Coulomb                        |
| Drainage type              |                      | Drained                             |
| Colour                     |                      | RGB 134, 234, 162                   |
| Comments                   |                      |                                     |
| <b>General properties</b>  |                      |                                     |
| $\gamma_{unsat}$           | kN/m <sup>3</sup>    | 16.00                               |
| $\gamma_{sat}$             | kN/m <sup>3</sup>    | 18.00                               |
| <b>Advanced</b>            |                      |                                     |
| <b>Void ratio</b>          |                      |                                     |
| Dilatancy cut-off          |                      | <input type="checkbox"/>            |
| $e_{init}$                 |                      | 0.000                               |
| $e_{min}$                  |                      | 0.000                               |
| $e_{max}$                  |                      | 999.0                               |
| <b>Damping</b>             |                      |                                     |
| Rayleigh $\alpha$          |                      | 0.000                               |
| Rayleigh $\beta$           |                      | 0.000                               |
| <b>Stiffness</b>           |                      |                                     |
| $E'$                       | kN/m <sup>2</sup>    | 100.00E3                            |
| $\nu'$ ( $\nu_u$ )         |                      | 0.3000                              |
| <b>Alternatives</b>        |                      |                                     |
| $G$                        | kN/m <sup>2</sup>    | 38.46E3                             |
| $E_{oed}$                  | kN/m <sup>2</sup>    | 134.6E3                             |
| <b>Strength</b>            |                      |                                     |
| $c'_{ref}$                 | kN/m <sup>2</sup>    | 0.1000                              |
| $q'$ ( $p'h$ )             |                      | 35.00                               |
| $\psi$ ( $ps$ )            |                      | 0.000                               |
| <b>Velocities</b>          |                      |                                     |
| $V_s$                      | m/s                  | 153.6                               |
| $V_p$                      | m/s                  | 287.3                               |
| <b>Advanced</b>            |                      |                                     |
| Set to default values      |                      | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <b>Stiffness</b>           |                      |                                     |
| $E'_{inc}$                 | kN/m <sup>2</sup> /m | 0.000                               |
| $\gamma_{ref}$             | m                    | 0.000                               |
| <b>Strength</b>            |                      |                                     |
| $c'_{inc}$                 | kN/m <sup>2</sup> /m | 0.000                               |
| $\gamma_{ref}$             | m                    | 0.000                               |
| Tension cut-off            |                      | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Tensile strength           | kN/m <sup>2</sup>    | 0.000                               |
| <b>Undrained behaviour</b> |                      |                                     |

Gambar 5.22 Tabel *Input Soil Properties Plaxis 2D (Lapis 2)*

Soil - Mohr-Coulomb - LAPIS 3 (Pasir)

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

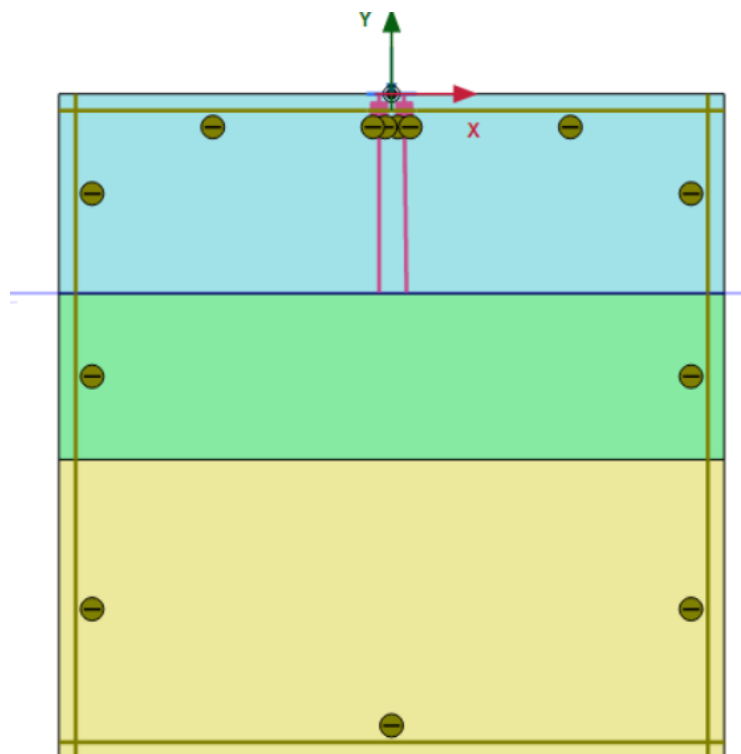
| Property                  | Unit     | Value                    |
|---------------------------|----------|--------------------------|
| <b>Material set</b>       |          |                          |
| Identification            |          | LAPIS 3 (Pasir)          |
| Material model            |          | Mohr-Coulomb             |
| Drainage type             |          | Drained                  |
| Colour                    |          | RGB 236, 232, 156        |
| Comments                  |          |                          |
| <b>General properties</b> |          |                          |
| $V_{unsat}$               | $kg/m^3$ | 18.00                    |
| $V_{sat}$                 | $kg/m^3$ | 20.00                    |
| <b>Advanced</b>           |          |                          |
| <b>Void ratio</b>         |          |                          |
| Dilatancy cut-off         |          | <input type="checkbox"/> |
| $e_{init}$                |          | 0.000                    |
| $e_{min}$                 |          | 0.000                    |
| $e_{max}$                 |          | 999.0                    |
| <b>Damping</b>            |          |                          |
| Rayleigh $\alpha$         |          | 0.000                    |
| Rayleigh $\beta$          |          | 0.000                    |

Soil - Mohr-Coulomb - LAPIS 3

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial \*

| Property                                                  | Unit       | Value                               |
|-----------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------|
| <b>Stiffness</b>                                          |            |                                     |
| $E'$                                                      | $kg/m^2$   | 100.0E3                             |
| $\nu'$ (nu)                                               |            | 0.3000                              |
| <b>Alternatives</b>                                       |            |                                     |
| $G$                                                       | $kg/m^2$   | 38.46E3                             |
| $E_{oed}$                                                 | $kg/m^2$   | 134.6E3                             |
| <b>Strength</b>                                           |            |                                     |
| $c'_{ref}$                                                | $kg/m^2$   | 0.1000                              |
| $\phi'$ (phi)                                             | °          | 35.00                               |
| $\psi$ (psi)                                              | °          | 0.000                               |
| <b>Velocities</b>                                         |            |                                     |
| $V_s$                                                     | m/s        | 144.8                               |
| $V_p$                                                     | m/s        | 270.9                               |
| <b>Advanced</b>                                           |            |                                     |
| Set to default values <input checked="" type="checkbox"/> |            |                                     |
| <b>Stiffness</b>                                          |            |                                     |
| $E'_{inc}$                                                | $kg/m^2/m$ | 0.000                               |
| $Y_{ref}$                                                 | m          | 0.000                               |
| <b>Strength</b>                                           |            |                                     |
| $c'_{inc}$                                                | $kg/m^2/m$ | 0.000                               |
| $Y_{ref}$                                                 | m          | 0.000                               |
| Tension cut-off                                           |            | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Tensile strength                                          | $kg/m^2$   | 0.000                               |
| <b>Undrained behaviour</b>                                |            |                                     |

Gambar 5.23 Tabel *Input Soil Properties* Plaxis 2D (Lapis 3)



Gambar 5.24 Pemodelan Lapis Tanah Pada Plaxis 2D

Selain itu, properti tiang bor diinput menggunakan metode *Embedded Beam* dengan parameter berupa berat volume beton ( $\gamma_{\text{beton}}$ ), modulus (E), dan angka Poisson (V), Data selengkapnya untuk masing-masing boring hole (BH3 dan BH 4) dapat dilihat pada Tabel 5.65 berikut,

**Tabel 5.46 Data *Input Pile Properties* dengan *Embedded Beam* BH 1**

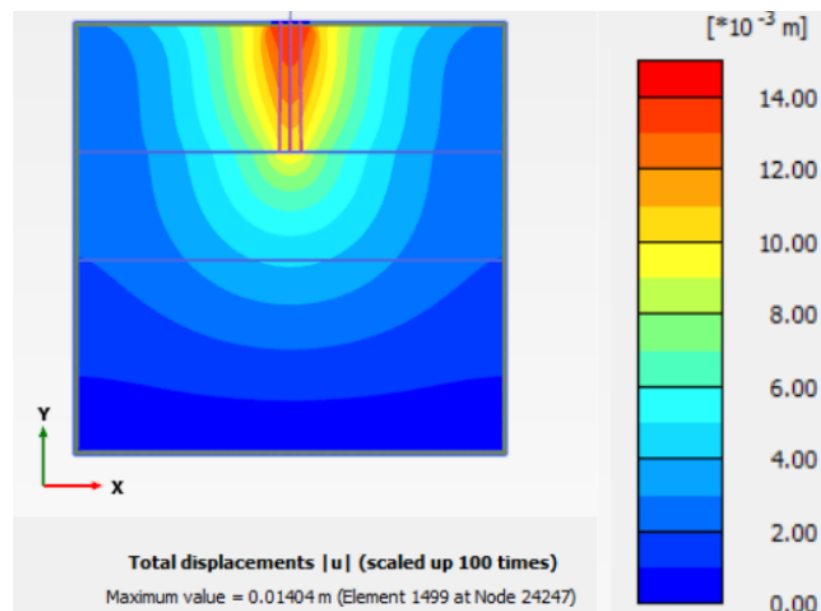
| No | Data <i>Input</i>       | Nilai      |
|----|-------------------------|------------|
| 1  | $\gamma_{\text{beton}}$ | 24         |
| 2  | Eref                    | 25742960,2 |
| 3  | V                       | 0,2        |

### 5.7.2 *Output* Penurunan Tiang

#### 1. Metode Mayerhoff

##### a. Diameter 0,6 (BH 3) Label 123

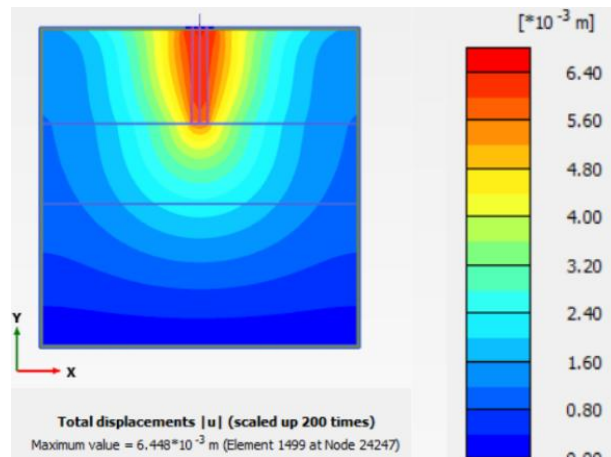
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,01404 m



**Gambar 5.25 *Output* Plaxis 2D 0,6 m (BH 3) 123**

b. Diameter 0,6 (BH 3) Label 143

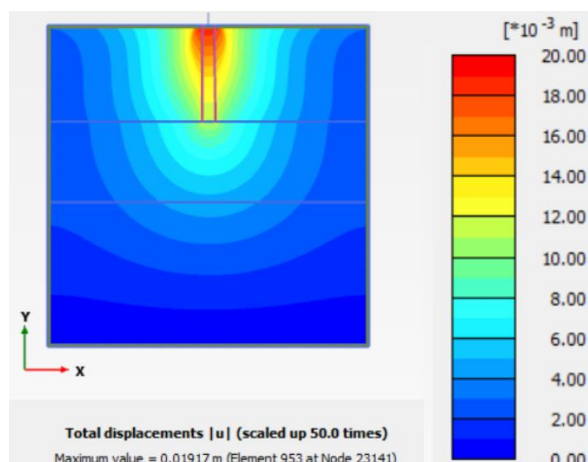
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0064m.



**Gambar 5.26 Output Plaxis 2D 0,6 m (BH 3) 143**

c. Diameter 0,5 (BH 3) Label 123

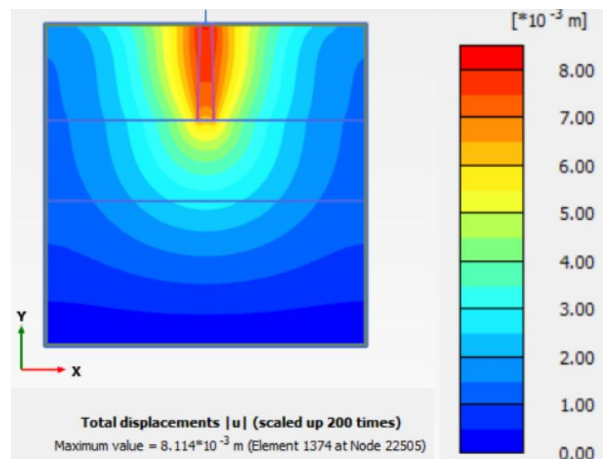
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0191 m.



**Gambar 5.27 Output Plaxis 2D 0,5 m (BH 3) 123**

d. Diameter 0,5 (BH 3) Label 143

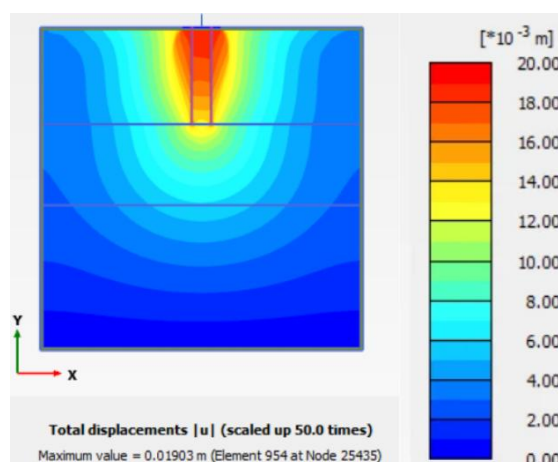
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah 0,0081 m.



**Gambar 5.28 Output Plaxis 2D 0,5 m (BH 3) 143**

e. Diameter 0,8 (BH 3) Label 123

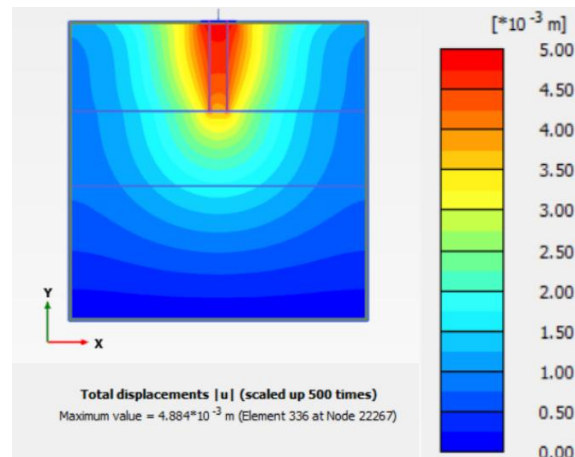
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0190 m.



**Gambar 5.29 Output Plaxis 2D 0,8 m (BH 3) 123**

f. Diameter 0,8 (BH 3) Label 143

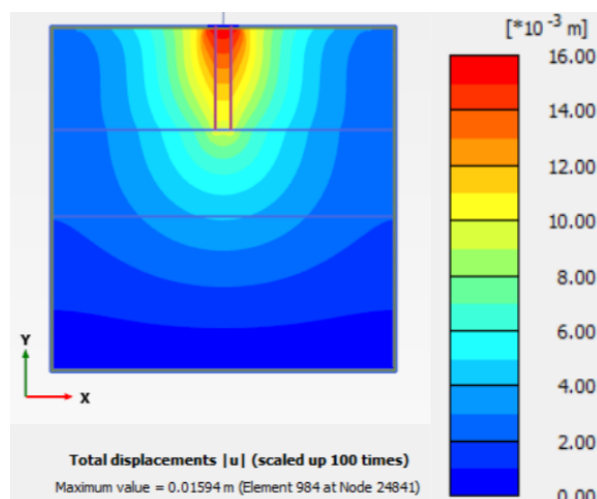
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0048 m.



**Gambar 5.30 Output Plaxis 2D 0,8 m (BH 3) 143**

g. Diameter 0,6 (BH 4) Label 123

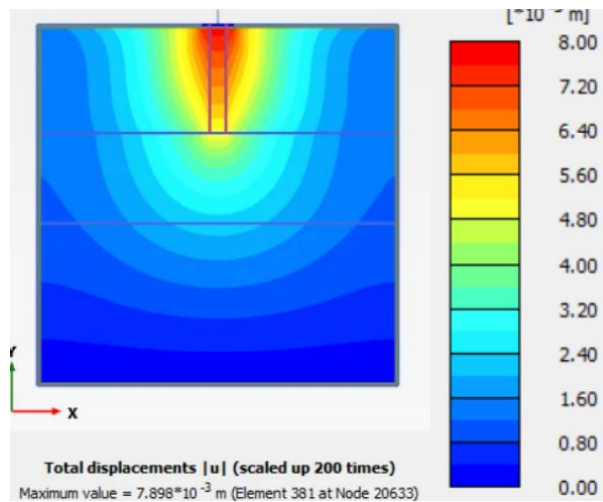
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0159 m.



**Gambar 5, 31 Output Plaxis 2D 0,6 m (BH 4) 123**

h. Diameter 0,6 (BH 4) Label 143

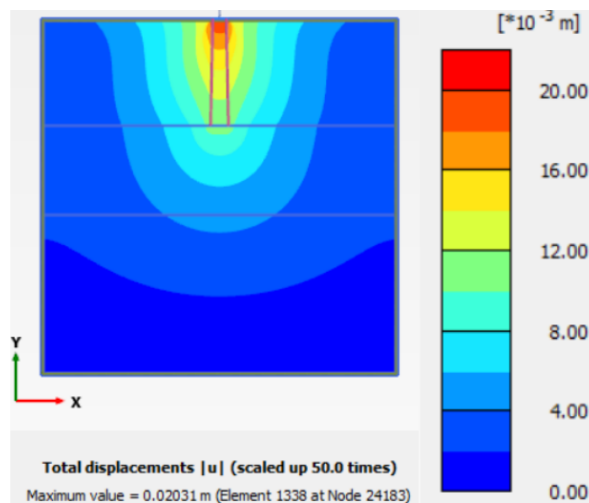
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0078 m.



**Gambar 5.32 Output Plaxis 2D 0,6 m (BH 4) 143**

i. Diameter 0,5 (BH 4) Label 123

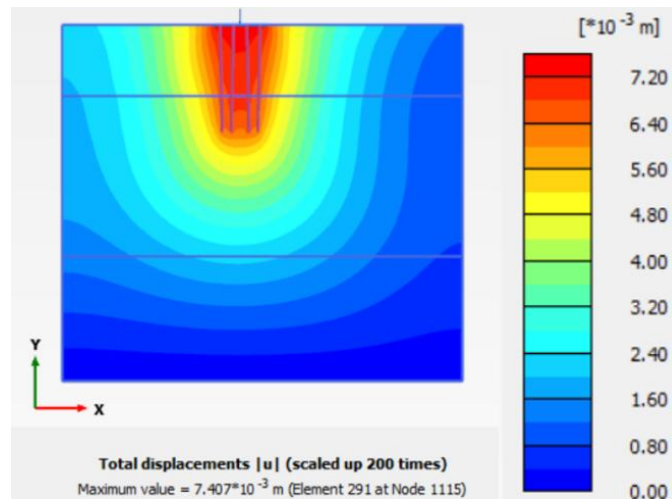
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0203 m.



**Gambar 5.33 Output Plaxis 2D 0,5 m (BH 4) 123**

- j. Diameter 0,5 (BH 4) Label 143

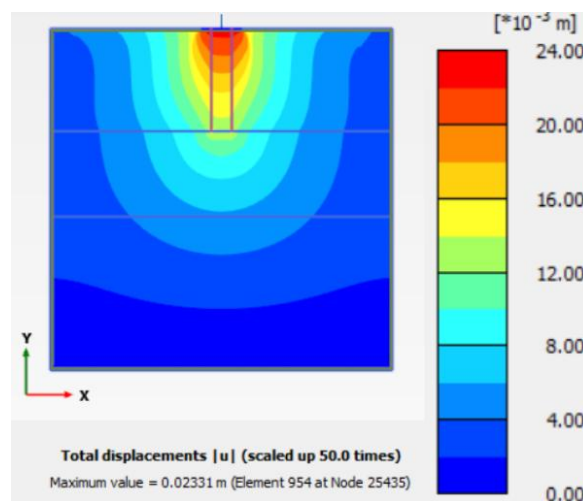
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0074 m.



**Gambar 5.34 Output Plaxis 2D 0,5 m (BH 4) 143**

- k. Diameter 0,8 (BH 4) Label 123

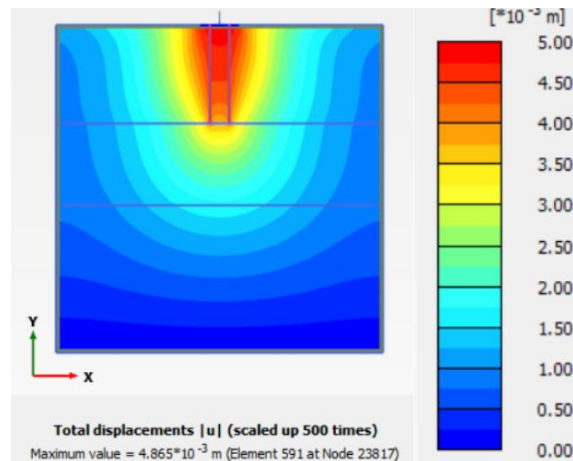
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0233 m.



**Gambar 5.35 Output Plaxis 2D 0,8 m (BH 4) 123**

1. Diameter 0,8 (BH 4) Label 143

Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0048 m.

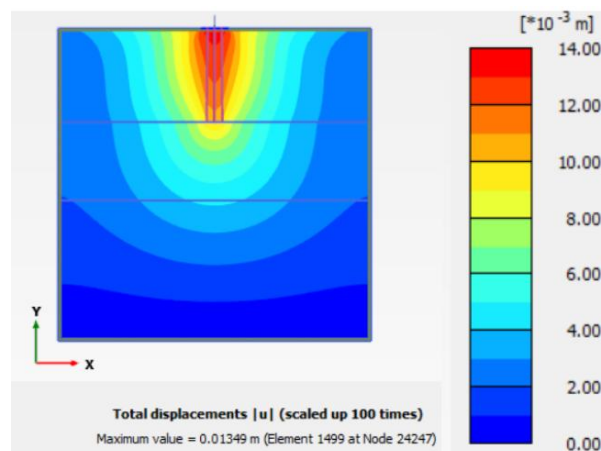


**Gambar 5.36 Output Plaxis 2D 0,8 m (BH 4) 143**

2. Metode Reese & Wright

a. Diameter 0,6 (BH 3) Label 123

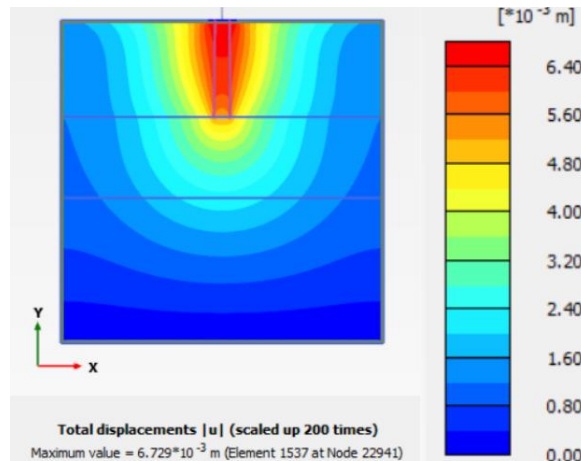
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0134 m.



**Gambar 5.37 Output Plaxis 2D 0,6 m (BH 3) 123**

b. Diameter 0,6 (BH 3) Label 143

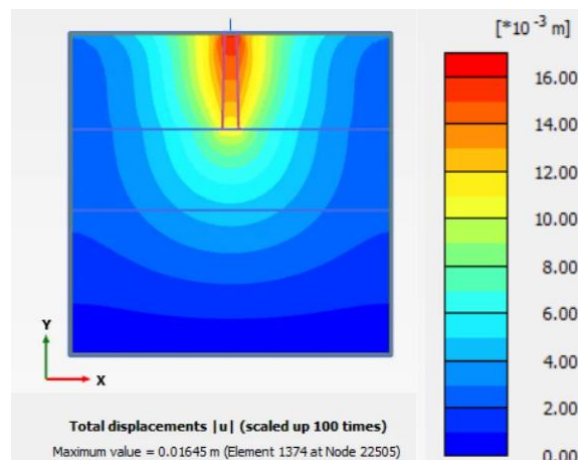
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0067 m.



**Gambar 5.38 Output Plaxis 2D 0,6 m (BH 3) 143**

c. Diameter 0,5 (BH 3) Label 123

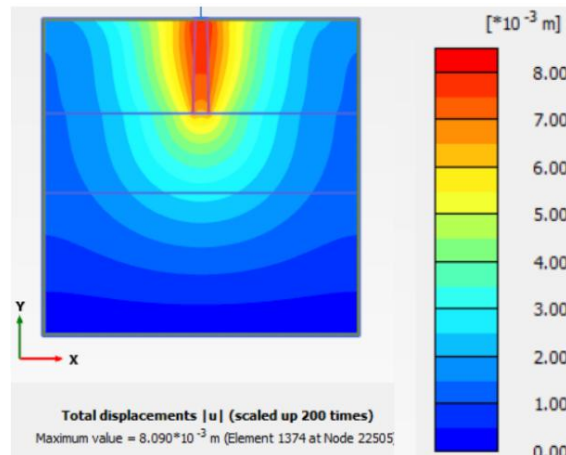
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0164 m.



**Gambar 5.39 Output Plaxis 2D 0,5 m (BH 3) 123**

d. Diameter 0,5 (BH 3) Label 143

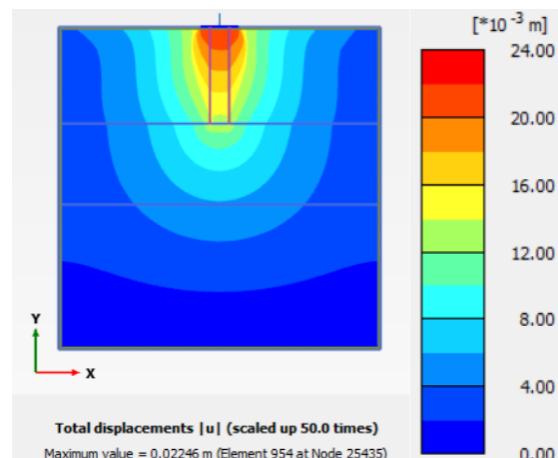
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0080 m.



**Gambar 5.40 Output Plaxis 2D 0,5 m (BH 3) 143**

e. Diameter 0,8 (BH 3) Label 123

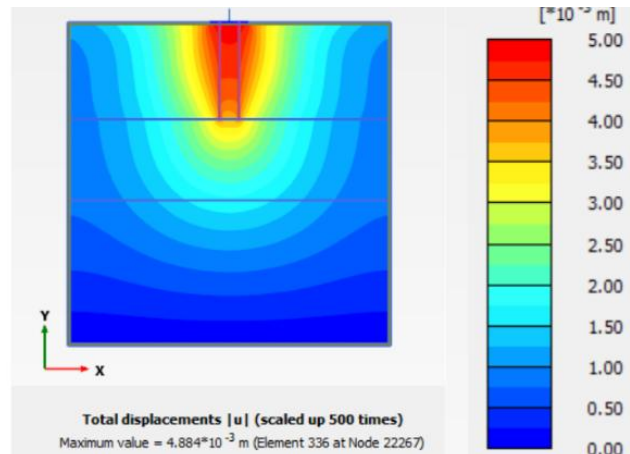
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0224 m.



**Gambar 5.41 Output Plaxis 2D 0,8 m (BH 3) 123**

f. Diameter 0,8 (BH 3) Label 143

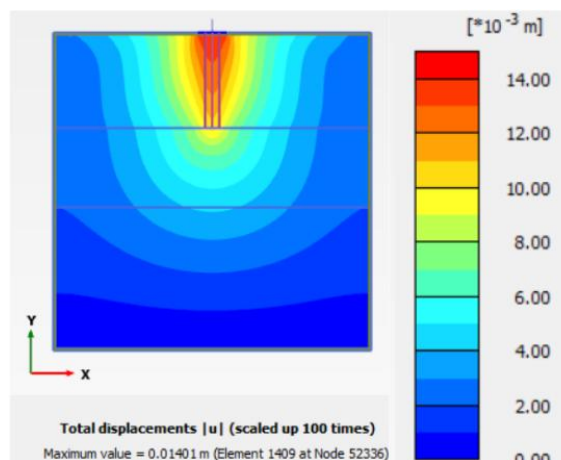
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0048 m.



**Gambar 5.42 Output Plaxis 2D 0,8 m (BH 3) 143**

g. Diameter 0,6 (BH 4) Label 123

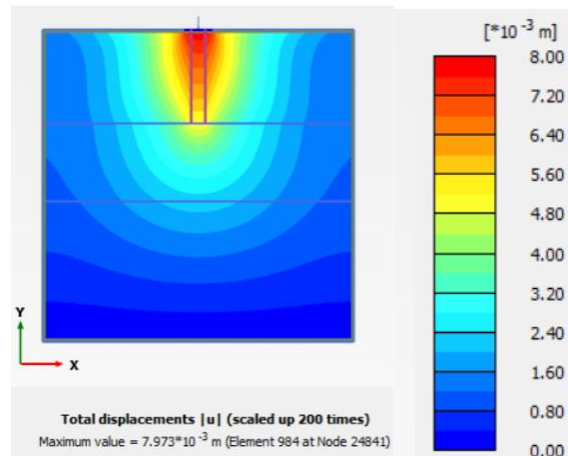
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0140 m.



**Gambar 5.43 Output Plaxis 2D 0,6 m (BH 4) 123**

h. Diameter 0,6 (BH 4) Label 143

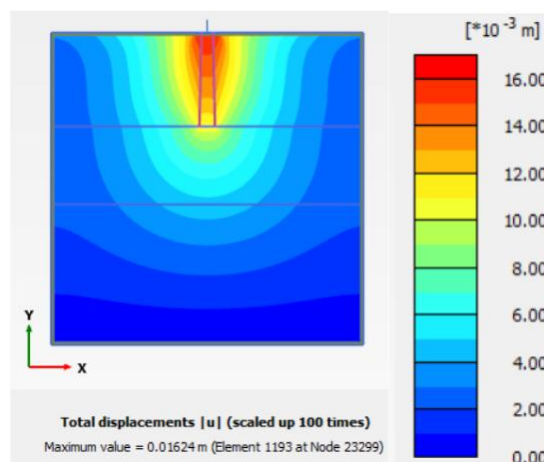
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0079 m.



**Gambar 5.44 Output Plaxis 2D 0,6 m (BH 4) 143**

i. Diameter 0,5 (BH 4) Label 123

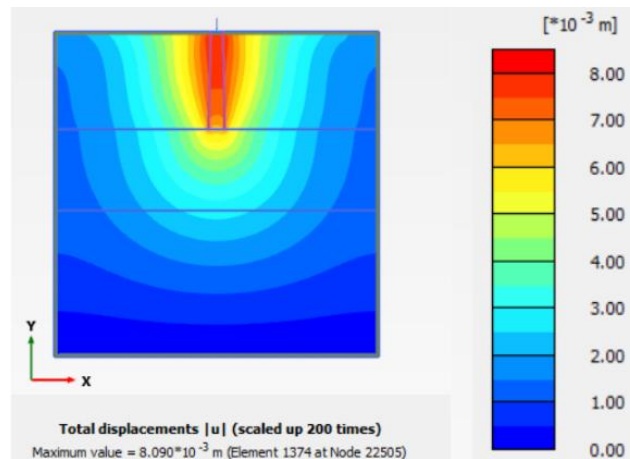
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0162 m.



**Gambar 5.45 Output Plaxis 2D 0,5 m (BH 4) 123**

- j. Diameter 0,5 (BH 4) Label 143

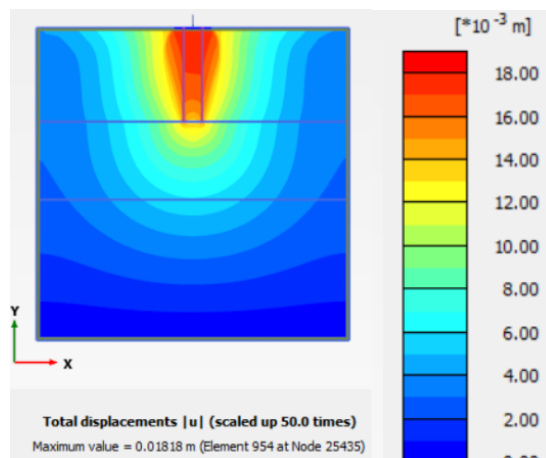
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0080 m.



**Gambar 5.46 Output Plaxis 2D 0,5 m (BH 4) 143**

- k. Diameter 0,8 (BH 4) Label 123

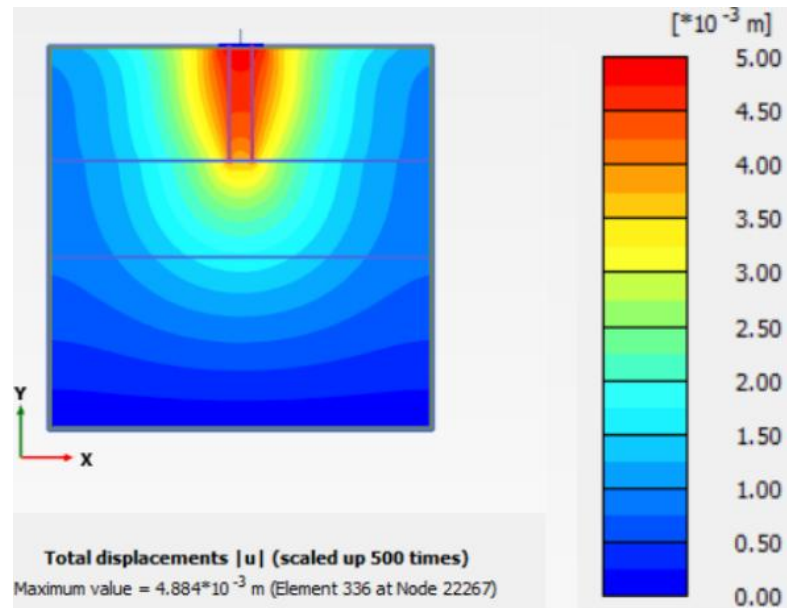
Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0181 m.



**Gambar 5.47 Output Plaxis 2D 0,8 m (BH 4) 123**

1. Diameter 0,8 (BH 4) Label 14

Berdasarkan hasil analisis Plaxis 2D, nilai total perpindahan (*total displacement*) maksimum yang terjadi adalah sebesar 0,0048 m.



**Gambar 5.48 Output Plaxis 2D 0,8 m (BH 4) 143**

Hasil rekapitulasi analisis penurunan fondasi tiang bor dapat dilihat pada Tabel 5.47 berikut.

**Tabel 5.47 Rekapitulasi Penurunan Hasil PLAXIS 2D (BH 3)**

| Metode | Mayerhoff (Label 123) |        |        | Reese & Wright (Label 123) |        |        |
|--------|-----------------------|--------|--------|----------------------------|--------|--------|
| D (m)  | 0,5 m                 | 0,6 m  | 0,8 m  | 0,5 m                      | 0,6 m  | 0,8 m  |
| n      | 4                     | 3      | 2      | 4                          | 3      | 2      |
| Sg (m) | 0,0191                | 0,0140 | 0,0190 | 0,0164                     | 0,0134 | 0,0224 |
| Metode | Mayerhoff (Label 143) |        |        | Reese & Wright (Label 143) |        |        |
| D (m)  | 0,5 m                 | 0,6 m  | 0,8 m  | 0,5 m                      | 0,6 m  | 0,8 m  |
| n      | 2                     | 2      | 2      | 2                          | 2      | 2      |
| Sg (m) | 0,0081                | 0,0064 | 0,0049 | 0,0081                     | 0,0067 | 0,0049 |

**Tabel 5.48 Rekapitulasi Penurunan Hasil PLAXIS 2D (BH 4)**

| Metode | Mayerhoff (Label 123) |        |        | Reese & Wright (Label 123) |        |        |
|--------|-----------------------|--------|--------|----------------------------|--------|--------|
| D (m)  | 0,5 m                 | 0,6 m  | 0,8 m  | 0,5 m                      | 0,6 m  | 0,8 m  |
| n      | 4                     | 3      | 2      | 4                          | 3      | 2      |
| Sg (m) | 0,0203                | 0,0159 | 0,0233 | 0,0162                     | 0,0140 | 0,0182 |
| Metode | Mayerhoff (Label 143) |        |        | Reese & Wright (Label 143) |        |        |
| D (m)  | 0,5 m                 | 0,6 m  | 0,8 m  | 0,5 m                      | 0,6 m  | 0,8 m  |
| n      | 4                     | 3      | 2      | 4                          | 3      | 2      |
| Sg (m) | 0,0081                | 0,0079 | 0,0049 | 0,0081                     | 0,0067 | 0,0049 |

### 5.7.3 Faktor Kemanan

Evaluasi tiang bor menggunakan Plaxis 2D mencakup perhitungan faktor keamanan global secara otomatis. Melalui fase analisis *safety*, program akan menghasilkan nilai  $\Sigma M_{sf}$ . Dengan menggunakan angka tersebut, dapat menghitung nilai daya dukung ultimit ( $Q_u$ ) tiang bor berdasarkan persamaan berikut,

$$Q_{all} = P_{all}$$

$$Q_u = P_{all} \times \Sigma M_{sf}$$

$$Q_u = 2963,8531 \times 2,177$$

$$Q_u = 6452,3081 \text{ kN}$$

Hasil rekapitulasi analisis kapasitas daya dukung fondasi tiang bor dapat dilihat pada Tabel 5.49 berikut.

**Tabel 5.49 Rekapitulasi ( $Q_u$ ) Hasil PLAXIS 2D (BH 3)**

| Metode          | Mayerhoff (Label 123) |         |         | Reese & Wright (Label 123) |         |         |
|-----------------|-----------------------|---------|---------|----------------------------|---------|---------|
| D (m)           | 0,5 m                 | 0,6 m   | 0,8 m   | 0,5 m                      | 0,6 m   | 0,8 m   |
| $\Sigma M_{sf}$ | 1,728                 | 2,177   | 2,552   | 1,459                      | 1,598   | 1,664   |
| $Q_u$ (kN)      | 5121,53               | 6452,30 | 7563,75 | 4324,26                    | 4736,23 | 4931,85 |

**Lanjutan Tabel 5.50 Rekapitulasi (Qu) Hasil PLAXIS 2D (BH 3)**

| Metode          | Mayerhoff (Label 143) |         |         | Reese & Wright (Label 143) |         |         |
|-----------------|-----------------------|---------|---------|----------------------------|---------|---------|
| D (m)           | 0,5 m                 | 0,6 m   | 0,8 m   | 0,5 m                      | 0,6 m   | 0,8 m   |
| $\Sigma M_{sf}$ | 1,796                 | 2,194   | 2,552   | 1,906                      | 2,47    | 2,552   |
| Qu (kN)         | 1532,55               | 1872,16 | 2177,65 | 1626,41                    | 2107,68 | 2177,65 |

**Tabel 5.51 Rekapitulasi (Qu) Hasil PLAXIS 2D (BH 4)**

| Metode          | Mayerhoff (Label 123) |         |         | Reese & Wright (Label 123) |         |         |
|-----------------|-----------------------|---------|---------|----------------------------|---------|---------|
| D (m)           | 0,5 m                 | 0,6 m   | 0,8 m   | 0,5 m                      | 0,6 m   | 0,8 m   |
| $\Sigma M_{sf}$ | 1,48                  | 1,601   | 1,75    | 1,495                      | 1,584   | 1,665   |
| Qu (kN)         | 4386,50               | 4745,13 | 5186,74 | 4430,96                    | 4694,74 | 4934,82 |
| Metode          | Mayerhoff (Label 143) |         |         | Reese & Wright (Label 143) |         |         |
| D (m)           | 0,5 m                 | 0,6 m   | 0,8 m   | 0,5 m                      | 0,6 m   | 0,8 m   |
| $\Sigma M_{sf}$ | 2,401                 | 2,696   | 2,951   | 1,906                      | 2,513   | 2,552   |
| Qu (kN)         | 2048,80               | 2300,53 | 2518,12 | 1626,41                    | 2144,37 | 2177,65 |

## 5.8 Pembahasan

Perancangan bangunan selalu melibatkan perencanaan fondasi sebagai elemen struktur yang berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas, meliputi beban hidup, beban mati, beban gempa, dan beban angin, ke lapisan tanah dasar yang mampu menahannya tanpa menimbulkan kerusakan maupun penurunan di luar batas toleransi (Hardiyatmo, 2015). Pada proyek revitalisasi Pasar Terban Yogyakarta, bangunan lama tercatat mengalami kegagalan struktural berupa amblesnya lantai kios (JPNN, 2023), yang mengindikasikan lapisan tanah permukaan memiliki daya dukung sangat rendah dengan kompresibilitas tinggi. Hal ini diperkuat oleh hasil investigasi tanah yang menunjukkan nilai N-SPT rendah pada kedalaman dangkal, sehingga penggunaan fondasi dalam jenis *bored pile* sedalam 12 meter menjadi krusial untuk mencegah terulangnya fenomena tersebut. Di samping itu, kondisi kawasan perkotaan Yogyakarta yang padat dan rentan terhadap aktivitas seismik (SNI 1726:2019) menjadikan *bored pile* sebagai

solusi paling efektif karena meminimalkan getaran dan gangguan suara terhadap lingkungan sekitar selama konstruksi berlangsung.

Penyelidikan tanah dilakukan menggunakan metode *Standard Penetration Test* (SPT) dengan bor. Data tersebut digunakan sebagai dasar perhitungan daya dukung fondasi eksisting sekaligus sebagai input simulasi numerik menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D. Kapasitas dukung tiang dihitung dengan metode statik dengan memperhatikan beban aksial, dimensi tiang, jarak antatiang, kedalaman fondasi, dan mutu beton. Hasil analisis fondasi eksisting kemudian dibandingkan dengan hasil *redesign* menggunakan variasi diameter 0,5 m dan 0,8 m guna mengetahui pengaruh perubahan dimensi tiang terhadap kapasitas daya dukung dan besar penurunan yang terjadi.

#### 5.8.1 Hasil Analisis Struktur Atas Menggunakan *Software* ETABS

Analisis struktur bawah pada proyek renovasi Pasar Terban dimodelkan menggunakan program ETABS dengan kondisi peletakan jepit (*fixed*) pada level dasar, sehingga seluruh gaya dari struktur atas tersalurkan secara kaku ke sistem fondasi tanpa menimbulkan pergeseran lateral. Beban mati yang diinput mencakup berat sendiri elemen struktural (*Dead Load*) dan beban mati tambahan (SIDL) berupa komponen arsitektural serta utilitas gedung, sedangkan beban gempa dianalisis menggunakan metode respons spektrum dinamis. Berdasarkan rekapitulasi gaya pada tabel *Joint Reactions*, titik kritis dengan kombinasi pembebanan paling ekstrem terdapat pada *Joint Label* 143 dan 123 di level *Base*, dengan rincian gaya sebagai berikut.

##### 1. Label 123

$$\text{Beban aksial (Fz)} = 2963,8531 \text{ kN}$$

$$\text{Momen arah x (Mx)} = 887,2183 \text{ kN}$$

$$\text{Momen arah y (My)} = 1679,2183 \text{ kN}$$

##### 2. Label 143

$$\text{Beban aksial (Fz)} = 853,3107 \text{ kN}$$

$$\text{Momen arah x (Mx)} = 580,543 \text{ kN}$$

$$\text{Momen arah y (My)} = 2623,0856 \text{ kN}$$

### 5.8.2 Analisis Perbandingan Kapasitas Dukung Tiang Tunggal

Analisis kapasitas dukung tiang tunggal dilakukan dengan menggunakan dua metode perhitungan, yaitu metode Meyerhof dan metode Reese & Wright, serta pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak Plaxis, Perhitungan dilakukan berdasarkan data hasil uji *Standard Penetration Test* (SPT) pada dua titik penyelidikan tanah, yaitu BH 3 dan BH 4. Tiang yang digunakan adalah tiang bor (*bored pile*) dengan panjang rencana 12 m dan variasi diameter 0,5 m; 0,6 m; dan 0,8 m, Faktor keamanan (SF) yang digunakan adalah 1,6 untuk mendapatkan kapasitas dukung izin (Qall).

Beban aksial rencana yang bekerja pada struktur diperoleh dari hasil analisis struktur menggunakan perangkat lunak ETABS. Berdasarkan hasil analisis tersebut, beban pada frame 123 (2963,8531 kN) dan frame 143 (853,3107 kN). Kedua nilai beban ini menjadi acuan dalam menentukan kelayakan kapasitas dukung tiang tunggal yang direncanakan. Rekapitulasi hasil perhitungan kapasitas dukung tiang tunggal dari masing-masing metode disajikan pada Tabel 5.51 Berikut.

**Tabel 5.52 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Tunggal (Qu)**

| METODE    | Label | D   | BH | Qu (kN) | Qall (kN) | Qu Plaxis | Qall Plaxis |
|-----------|-------|-----|----|---------|-----------|-----------|-------------|
| Mayerhoff | 123   | 0,5 | 3  | 1599,54 | 999,71    | 5121,54   | 3200,96     |
|           |       |     | 4  | 1743,74 | 1089,84   | 4386,503  | 2741,564    |
|           |       | 0,6 | 3  | 2207,85 | 1379,91   | 6452,31   | 4032,69     |
|           |       |     | 4  | 2467,41 | 1542,13   | 4745,13   | 2965,71     |
|           |       | 0,8 | 3  | 3712,86 | 2320,54   | 7563,75   | 4727,35     |
|           |       |     | 4  | 4187,11 | 2616,95   | 5186,74   | 3241,71     |
|           | 143   | 0,5 | 3  | 1599,54 | 999,71    | 1532,55   | 957,84      |
|           |       |     | 4  | 1743,74 | 1089,84   | 2048,80   | 1280,50     |
|           |       | 0,6 | 3  | 2207,85 | 1379,91   | 1872,16   | 1170,10     |
|           |       |     | 4  | 2467,41 | 1542,13   | 2300,53   | 1437,83     |
|           |       | 0,8 | 3  | 3712,86 | 2320,54   | 2177,65   | 1361,03     |
|           |       |     | 4  | 4187,11 | 2616,95   | 2518,12   | 1573,82     |

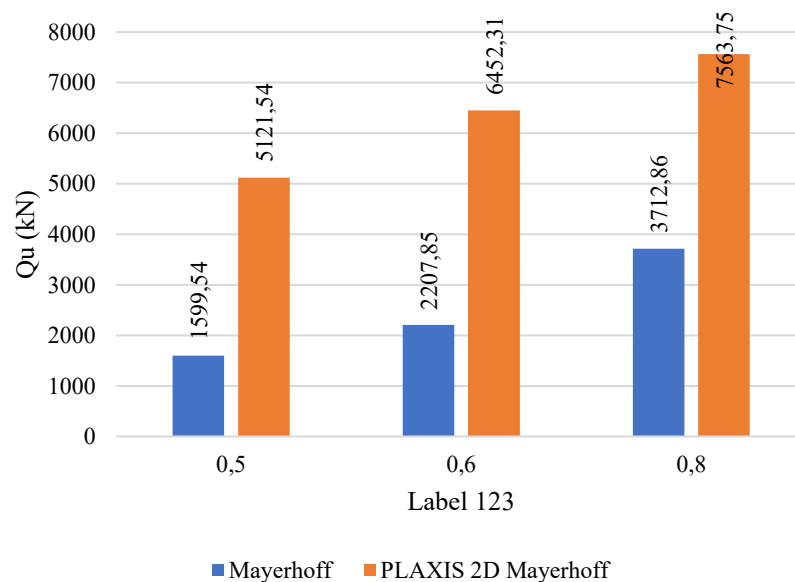
**Lanjutan Tabel 5.53 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung  
Tiang Tunggal (Qu)**

| METODE         | Label | D   | BH | Qu (kN) | Qall (kN) | Qu Plaxis | Qall Plaxis |
|----------------|-------|-----|----|---------|-----------|-----------|-------------|
| Reese & Wright | 123   | 0,5 | 3  | 1793,05 | 1120,66   | 4324,26   | 2702,66     |
|                |       |     | 4  | 1758,23 | 1098,89   | 4430,96   | 2769,35     |
|                |       | 0,6 | 3  | 2229,32 | 1393,33   | 4736,24   | 2960,15     |
|                |       |     | 4  | 2200,48 | 1375,30   | 4694,74   | 2934,21     |
|                |       | 0,8 | 3  | 3179,54 | 1987,21   | 4931,85   | 3082,41     |
|                |       |     | 4  | 3175,59 | 1984,75   | 4934,82   | 3084,26     |
|                | 143   | 0,5 | 3  | 1793,05 | 1120,66   | 1626,41   | 1016,51     |
|                |       |     | 4  | 1758,23 | 1098,89   | 1626,41   | 1016,51     |
|                |       | 0,6 | 3  | 2229,32 | 1393,33   | 2107,68   | 1317,30     |
|                |       |     | 4  | 2200,48 | 1375,30   | 2144,37   | 1340,23     |
|                |       | 0,8 | 3  | 3179,54 | 1987,21   | 2177,65   | 1361,03     |
|                |       |     | 4  | 3175,59 | 1984,75   | 2177,65   | 1361,03     |

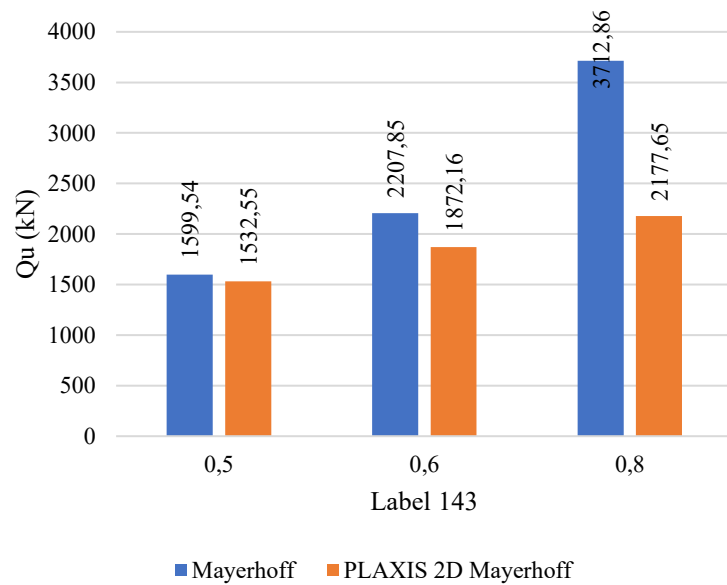
Pada metode Meyerhof, daya dukung ultimit meningkat cukup konsisten seiring bertambahnya diameter tiang. Untuk BH-3, nilai Qu naik dari 1599,54 kN pada diameter 0,5 m menjadi 2207,85 kN pada diameter 0,6 m, lalu menjadi 3712,86 kN pada diameter 0,8 m. Pola serupa juga terlihat pada BH-4, kenaikan ini wajar karena penambahan diameter memperbesar luas ujung tiang sekaligus keliling selimut tiang, sehingga kontribusi tahanan ujung maupun tahanan gesek meningkat bersamaan. Hasil Plaxis 2D menunjukkan tren kenaikan yang sama terhadap diameter, namun dengan besaran yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan metode Meyerhof, terutama pada kombinasi beban dengan gaya aksial besar (label 123). Sebagai contoh, pada BH-3 nilai Qu Plaxis meningkat dari 5121,54 kN (diameter 0,5 m) menjadi 6452,31 kN (diameter 0,6 m) dan 7563,75 kN (diameter 0,8 m). Selisih antara Meyerhof dan Plaxis justru mengecil seiring bertambahnya diameter, hal ini menunjukkan bahwa metode Meyerhof relatif lebih konservatif dibandingkan Plaxis pada tiang berdiameter kecil, namun kesenjangan tersebut menyempit ketika diameter membesar karena kapasitas dari perhitungan manual tumbuh lebih cepat secara proporsional terhadap luas penampang.

Pada kombinasi beban dengan momen dominan (label 143), pola yang muncul justru berkebalikan dengan Qu Plaxis menjadi lebih kecil daripada Qu

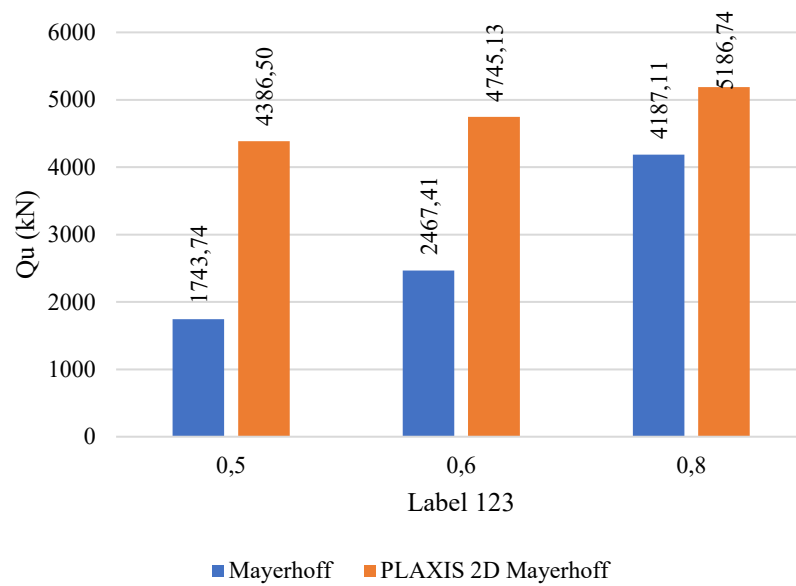
Meyerhof, dan gap ini melebar seiring bertambahnya diameter. Pada BH-3,  $Q_u$  Plaxis sebenarnya tetap naik seiring diameter (dari 1532,55 kN pada diameter 0,5 m menjadi 2177,65 kN pada diameter 0,8 m), namun laju kenaikannya jauh lebih landai dibandingkan Meyerhof, sehingga pada diameter 0,8 m nilainya hanya sekitar 2177,65 kN jauh di bawah  $Q_u$  Meyerhof yang mencapai 3712,86 kN pada diameter yang sama. Perbedaan arah tren antara kedua label ini menegaskan bahwa hasil Plaxis sangat dipengaruhi oleh besar beban kerja yang diterapkan pada model, sedangkan Meyerhof murni mencerminkan kapasitas tanah yang tidak berubah oleh beban. Adapun grafik perbandingan dapat dilihat pada Gambar 5.46 sampai Gambar 5.49 berikut.



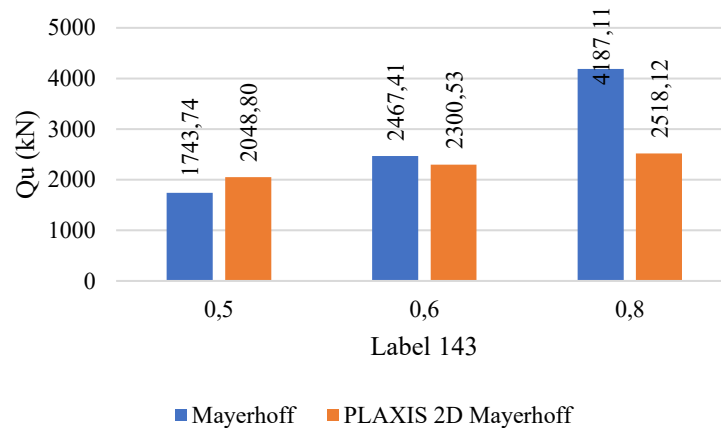
**Gambar 5.49 Perbandingan Nilai Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal ( $Q_u$ ) Metode Meyerhof dan Plaxis 2D BH 3 123**



**Gambar 5.50 Perbandingan Nilai Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal ( $Q_u$ ) Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 3 143**

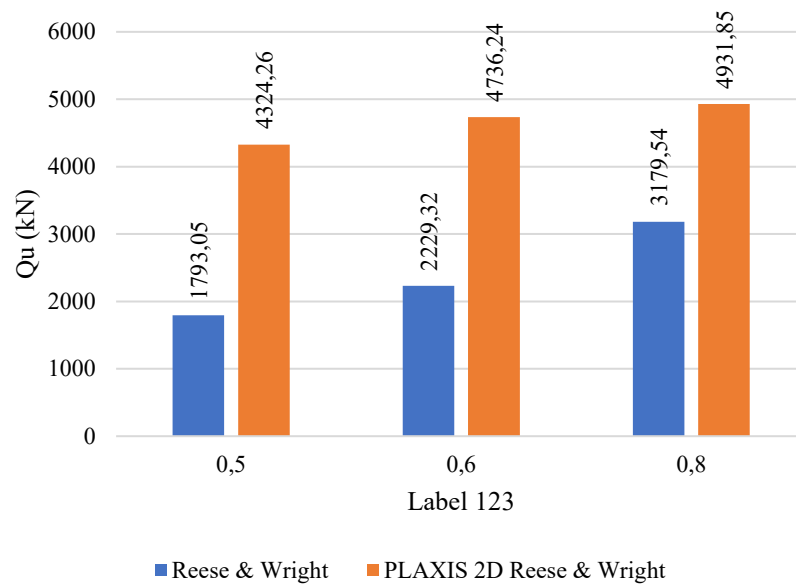


**Gambar 5.51 Perbandingan Nilai Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal ( $Q_u$ ) Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 4 123**

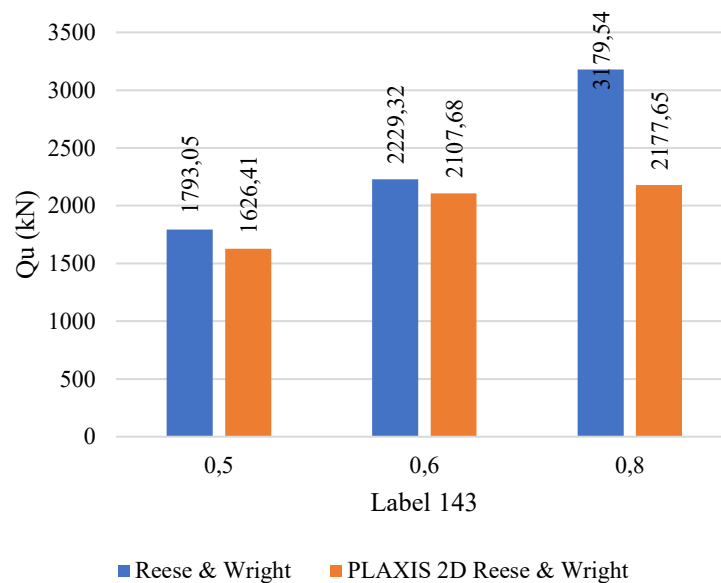


**Gambar 5.52 Perbandingan Nilai Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal (Qu) Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 4 143**

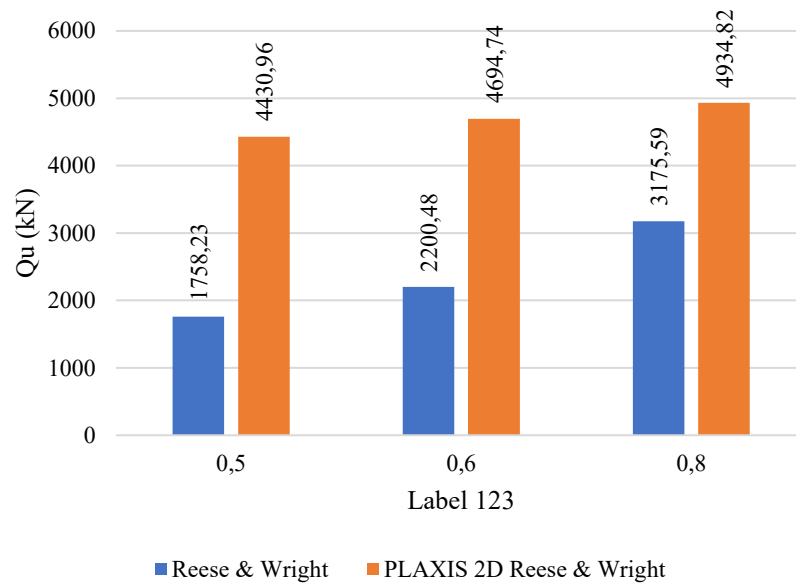
Pola yang relatif mirip juga terlihat dalam perbandingan metode Reese & Wright dengan Plaxis 2D. Daya dukung Reese & Wright meningkat terhadap diameter, meski dengan laju kenaikan yang sedikit lebih landai dibandingkan dengan Meyerhof. Misalnya, pada BH-3,  $Q_u$  naik dari 1793,05 kN (diameter 0,5 m) menjadi 2229,32 kN (diameter 0,6 m) dan 3179,54 kN (diameter 0,8 m). Pada label 123, Plaxis kembali menghasilkan nilai yang jauh lebih tinggi, dengan  $Q_u$  Plaxis berkisar 4324 – 4932 kN pada BH-3 untuk ketiga diameter tersebut. Selisih antara Reese & Wright dan Plaxis pada label ini juga mengecil seiring bertambahnya diameter, sejalan dengan pola yang ditemukan pada metode Meyerhof. Sebaliknya, pada label 143,  $Q_u$  Plaxis untuk Reese & Wright tetap meningkat terhadap diameter (dari 1626 kN pada diameter 0,5 m menjadi 2177 kN pada diameter 0,8 m), tetapi tetap berada di bawah nilai manualnya yang mencapai 3179,54 kN pada diameter 0,8 m. Pola yang sama seperti pada Meyerhof, dengan kesenjangan relatif yang melebar seiring dengan membesarnya diameter. Adapun grafik perbandingan dapat dilihat pada Gambar 5.50 sampai Gambar 5.53 berikut.



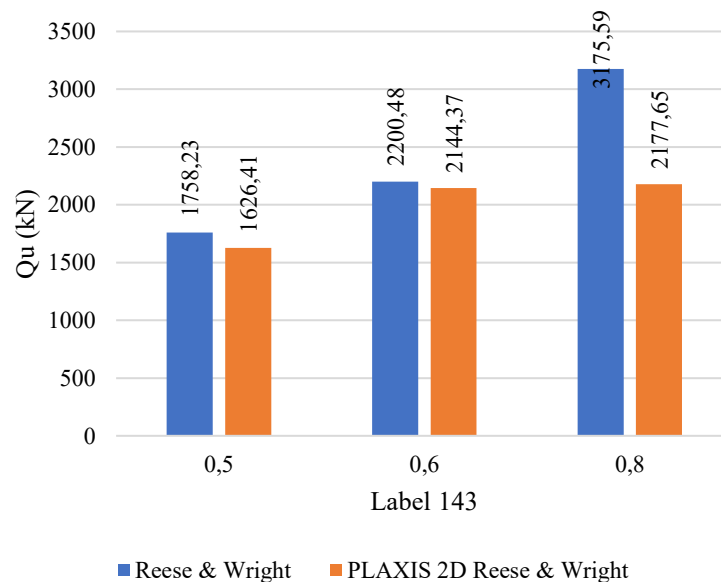
**Gambar 5.53 Perbandingan Nilai Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal (Qu) Metode Reese & Wright dan Plaxis 2D BH 3 123**



**Gambar 5.54 Perbandingan Nilai Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal (Qu) Metode Reese & Wright dan Plaxis 2D BH 3 143**



**Gambar 5.55 Perbandingan Nilai Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal (Qu) Metode Reese & Wright dan Plaxis 2D BH 4 123**



**Gambar 5.56 Perbandingan Nilai Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Tunggal (Qu) Metode Reese & Wright dan Plaxis 2D BH 4 143**

### 5.8.3 Analisis Perbandingan Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

Analisis kapasitas dukung tiang kelompok dilakukan berdasarkan hasil perhitungan kapasitas dukung tiang tunggal yang telah diperoleh sebelumnya, Perhitungan tiang kelompok menggunakan faktor efisiensi kelompok ( $E_g$ ) yang dihitung berdasarkan konfigurasi susunan tiang, jumlah tiang ( $n$ ), serta diameter tiang. Selain perhitungan manual, pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak Plaxis juga dilakukan untuk memperoleh nilai  $Q_g$  Plaxis sebagai pembandingan.

Analisis dilakukan untuk dua nilai beban rencana, yaitu frame 123 dengan beban 2963,8531 kN dan frame 143 dengan beban 853,3107 kN, masing-masing ditinjau berdasarkan data tanah BH 3 dan BH 4 dengan variasi diameter tiang 0,5 m; 0,6 m; dan 0,8 m, Rekapitulasi hasil perhitungan kapasitas dukung tiang kelompok disajikan pada tabel-tabel berikut.

**Tabel 5.54 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok ( $Q_g$ ) BH 3 Label 123**

| Metode       | Mayerhof |         |         | Reese & Wright |         |         |
|--------------|----------|---------|---------|----------------|---------|---------|
| D (m)        | 0,5 m    | 0,6 m   | 0,8 m   | 0,5 m          | 0,6 m   | 0,8 m   |
| P(kN)        | 2963,85  | 2963,85 | 2963,85 | 2963,85        | 2963,85 | 2963,85 |
| Qall (kN)    | 999,71   | 1379,91 | 2320,54 | 1120,66        | 1393,33 | 1987,21 |
| n            | 4        | 3       | 2       | 4              | 3       | 2       |
| $E_g$        | 0,7952   | 0,7952  | 0,8976  | 0,7952         | 0,7952  | 0,8976  |
| $Q_g$ (kN)   | 3179,76  | 3291,77 | 4165,75 | 3564,44        | 3323,79 | 3567,38 |
| $Q_g$ Plaxis | 5121,54  | 6452,31 | 7563,75 | 8596,28        | 7061,44 | 5533,44 |
| Keterangan   | AMAN     | AMAN    | AMAN    | AMAN           | AMAN    | AMAN    |

**Tabel 5.55 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok ( $Q_g$ ) BH 3 Label 143**

| Metode       | Mayerhof |         |         | Reese & Wright |         |         |
|--------------|----------|---------|---------|----------------|---------|---------|
| D (m)        | 0,5 m    | 0,6 m   | 0,8 m   | 0,5 m          | 0,6 m   | 0,8 m   |
| P(kN)        | 853,31   | 853,31  | 853,31  | 853,31         | 853,31  | 853,31  |
| Qall (kN)    | 999,71   | 1379,91 | 2320,54 | 1120,66        | 1393,33 | 1987,21 |
| n            | 2        | 2       | 2       | 2              | 2       | 2       |
| $E_g$        | 0,8976   | 0,8976  | 0,8976  | 0,8976         | 0,8976  | 0,8976  |
| $Q_g$ (kN)   | 1794,65  | 2477,16 | 4165,75 | 2011,77        | 2501,26 | 3567,38 |
| $Q_g$ Plaxis | 1532,55  | 1872,16 | 2177,65 | 1824,80        | 2364,77 | 2443,28 |
| Keterangan   | AMAN     | AMAN    | AMAN    | AMAN           | AMAN    | AMAN    |

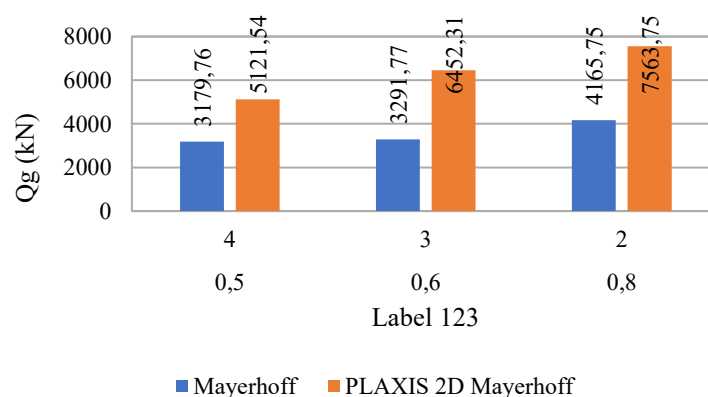
**Tabel 5.56 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok (Qg) BH 4 Label 123**

| Metode     | Mayerhof |         |         | Reese & Wright |         |         |
|------------|----------|---------|---------|----------------|---------|---------|
| D (m)      | 0,5      | 0,6     | 0,8     | 0,5            | 0,6     | 0,8     |
| P(kN)      | 0,5 m    | 0,6 m   | 0,8 m   | 0,5 m          | 0,6 m   | 0,8 m   |
| Qall (kN)  | 2963,85  | 2963,85 | 2963,85 | 2963,85        | 2963,85 | 2963,85 |
| n          | 1089,84  | 1542,13 | 2616,95 | 1098,89        | 1375,30 | 1984,75 |
| Eg         | 4        | 3       | 2       | 4              | 3       | 2       |
| Qg (kN)    | 0,7952   | 0,7952  | 0,8976  | 0,7952         | 0,7952  | 0,8976  |
| Qg Plaxis  | 3466,41  | 3678,75 | 4697,86 | 3495,21        | 3280,78 | 3562,95 |
| Keterangan | AMAN     | AMAN    | AMAN    | AMAN           | AMAN    | AMAN    |

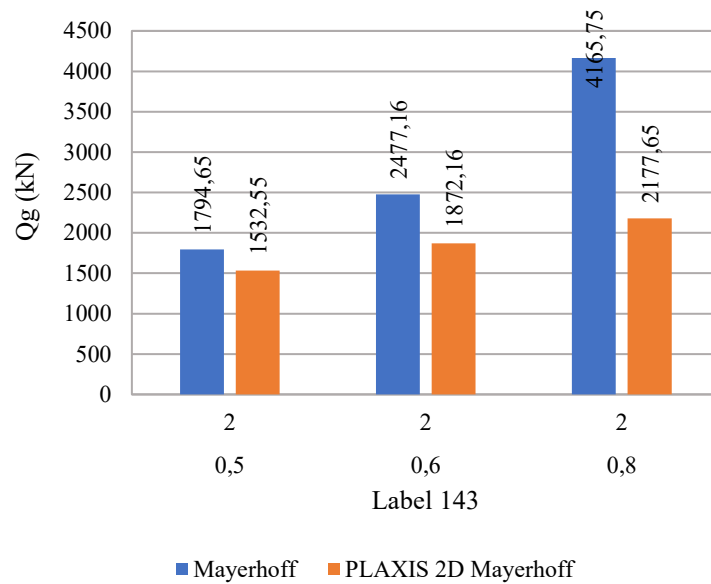
**Tabel 5.57 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok (Qg) BH 4 Label 143**

| Metode     | Mayerhof |         |         | Reese & Wright |         |         |
|------------|----------|---------|---------|----------------|---------|---------|
| D (m)      | 0,5      | 0,6     | 0,8     | 0,5            | 0,6     | 0,8     |
| P(kN)      | 0,5 m    | 0,6 m   | 0,8 m   | 0,5 m          | 0,6 m   | 0,8 m   |
| Qall (kN)  | 853,31   | 853,31  | 853,31  | 853,31         | 853,31  | 853,31  |
| n          | 1089,84  | 1542,13 | 2616,95 | 1098,89        | 1375,30 | 1984,75 |
| Eg         | 2        | 2       | 2       | 2              | 2       | 2       |
| Qg (kN)    | 0,8976   | 0,8976  | 0,8976  | 0,8976         | 0,8976  | 0,8976  |
| Qg Plaxis  | 1956,44  | 2768,38 | 4697,86 | 1972,69        | 2468,89 | 3562,95 |
| Keterangan | AMAN     | AMAN    | AMAN    | AMAN           | AMAN    | AMAN    |

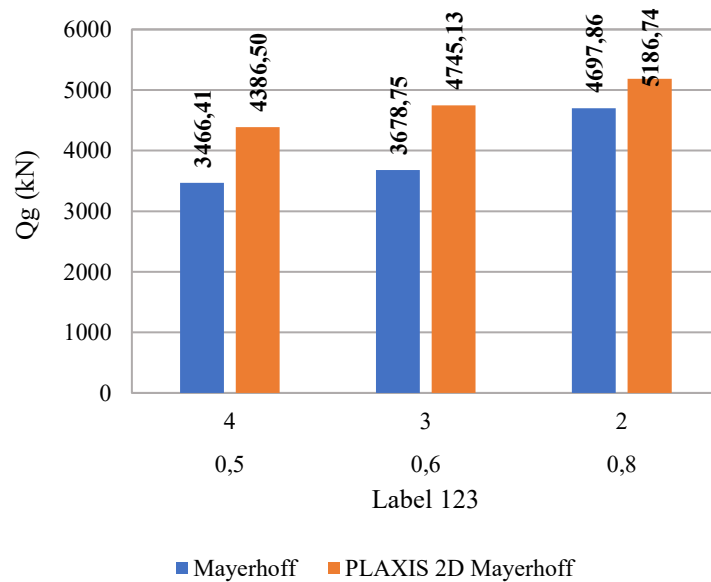
Adapun grafik perbandingan dapat dilihat pada Gambar 5.54 sampai dengan Gambar 5.61 berikut.



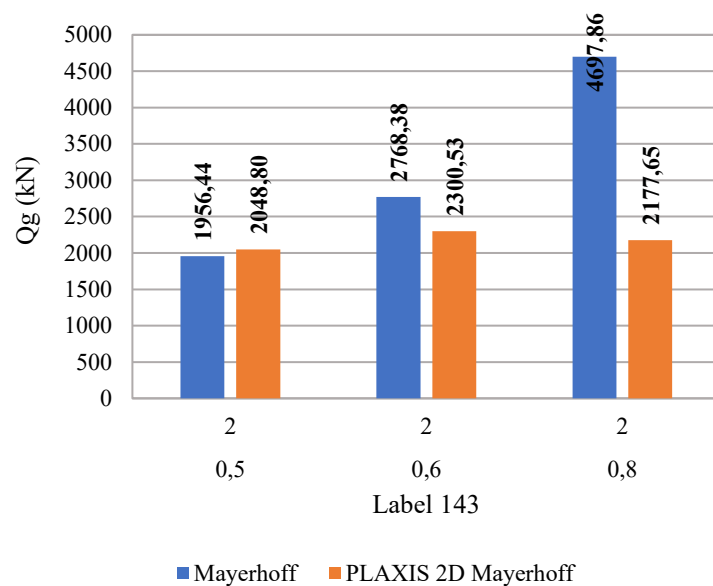
**Gambar 5.57 Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok (Qg) Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH3 Label 123**



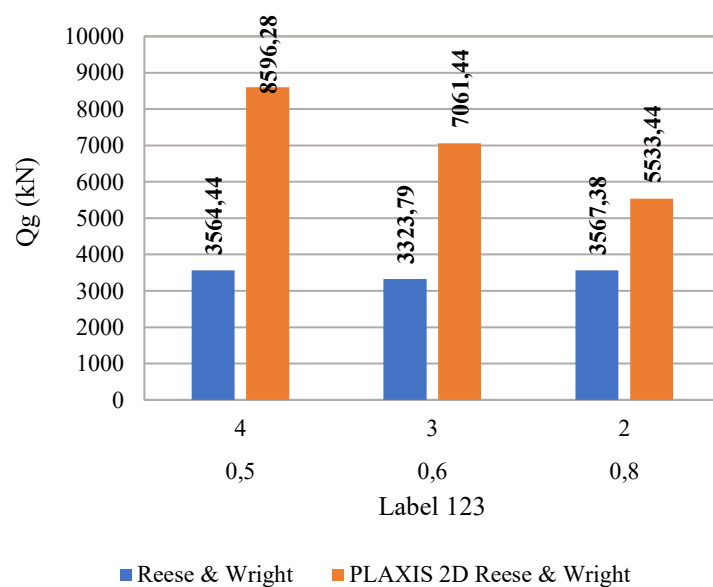
**Gambar 5.58 Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok ( $Q_g$ ) Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 3 Label 143**



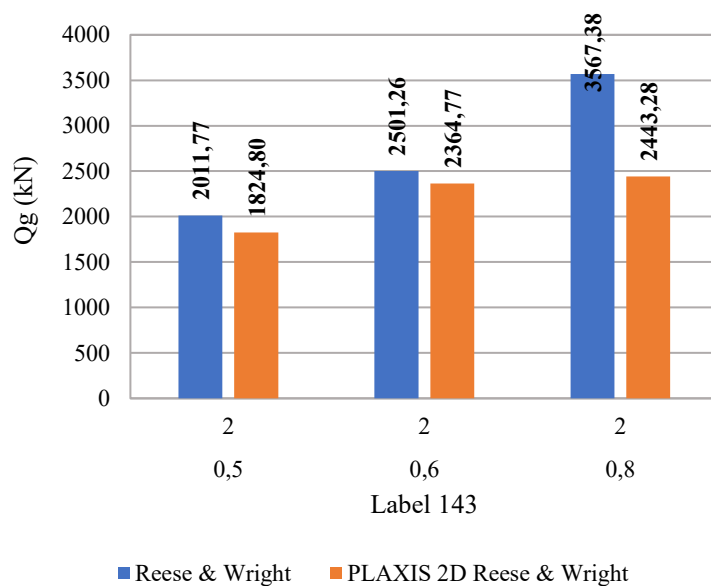
**Gambar 5.59 Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok ( $Q_g$ ) Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 4 Label 123**



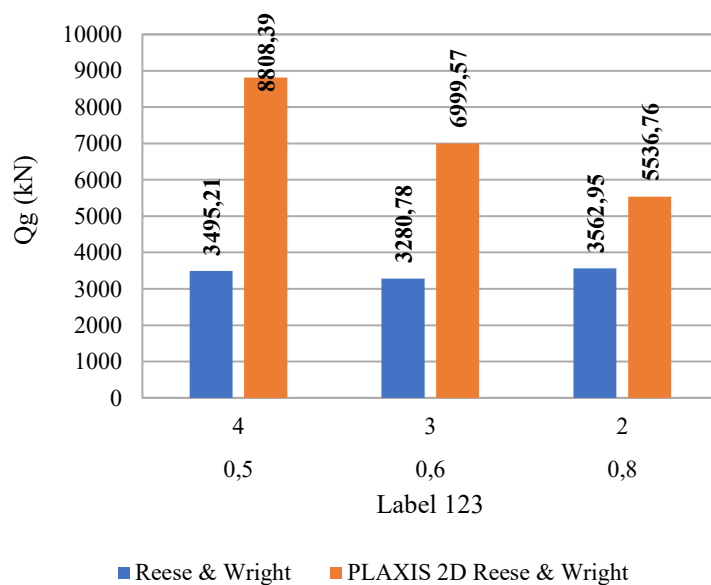
**Gambar 5.60 Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok ( $Q_g$ ) Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 4 Label 143**



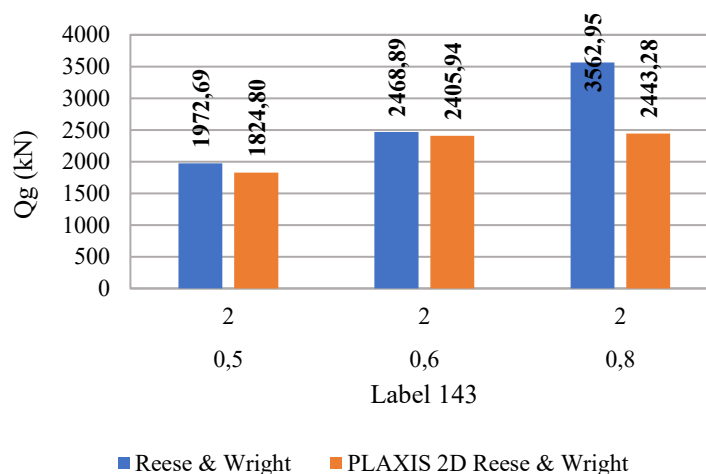
**Gambar 5.61 Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok ( $Q_g$ ) Metode Reese & Wright BH 3 Label 123**



**Gambar 5.62 Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok ( $Q_g$ ) Metode Reese & Wright BH 3 Label 143**



**Gambar 5.63 Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok ( $Q_g$ ) Metode Reese & Wright BH 4 Label 123**



**Gambar 5.64 Perbandingan Kapasitas Dukung Kelompok ( $Q_g$ ) Metode Reese & Wright BH 4 Label 143**

Fondasi dianggap aman jika kapasitas dukung kelompok tiang ( $Q_g$ ) lebih besar dari beban yang diterima oleh fondasi. Berdasarkan hasil perhitungan pada BH-3 Label 123, kapasitas dukung tiang kelompok pemodelan Plaxis Meyerhof diameter 0,5 m, 0,6 m, dan 0,8 m, diperoleh sebesar 5121,54 kN, 6452,31 kN, dan 7563,75 kN lebih besar dari nilai P (2963,85 kN), dan pemodelan Plaxis Reese & Wright diameter 0,5 m, 0,6 m, dan 0,8 m, diperoleh hasil masing-masing sebesar 8596,28 kN, 7061,44 kN, dan 5533,44 kN lebih besar dari nilai P sebesar 2963,85 kN. Pola serupa juga terjadi pada seluruh variasi di titik BH-4 maupun pada kombinasi beban Label 143, di mana kapasitas dukung kelompok ( $Q_g$ ) selalu lebih besar dari nilai P. Sehingga pondasi *bored pile* dengan diameter 0,5 m, 0,6 m, dan 0,8 m aman digunakan dalam proyek renovasi Pasar Terban di Yogyakarta.

#### 5.8.4 Analisis Perbandingan Penurunan Fondasi Tiang Bor

Analisis perbandingan penurunan grup fondasi tiang bor dilakukan untuk mengevaluasi besarnya penurunan (*settlement*) yang terjadi pada fondasi tiang dengan menggunakan dua pendekatan, yaitu perhitungan manual dengan metode Vesic dan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian hasil antara kedua metode tersebut serta menilai kelayakan desain fondasi tiang bor yang telah direncanakan.

Dalam analisis ini, jumlah tiang ( $n$ ) yang digunakan pada masing-masing konfigurasi ditentukan berdasarkan hasil perhitungan kapasitas dukung tiang menggunakan metode Meyerhoff dan Reese & Wright, Beban yang bekerja pada fondasi diperoleh dari hasil analisis struktur menggunakan program ETABS, yaitu label 123 dan label 143. Kedalaman tiang bor yang digunakan seragam, yaitu 12 m, dengan variasi diameter tiang sebesar 0,5 m, 0,6 m, dan 0,8 m. Analisis dilakukan pada dua titik penyelidikan tanah, yaitu *Bore Hole* 3 (BH3) dan *Bore Hole* 4 (BH4).

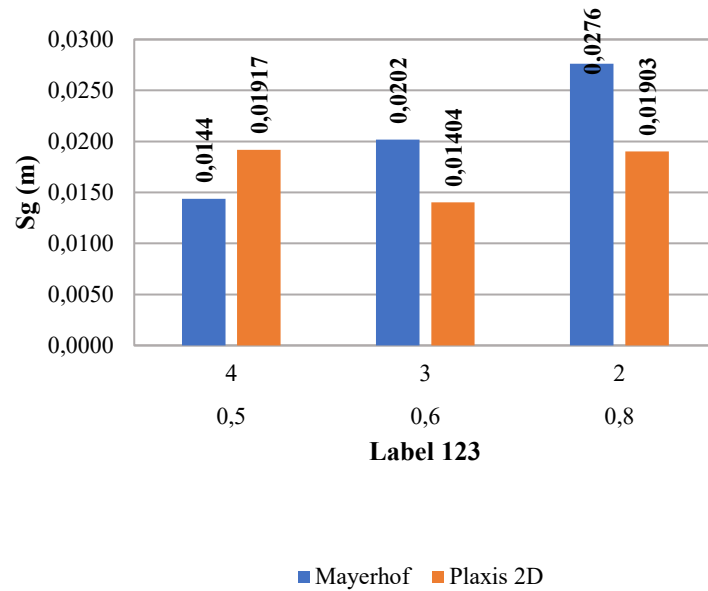
Data tanah pada titik bor BH3 menunjukkan kondisi tanah yang terdiri dari tiga lapisan utama, Berdasarkan hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT), nilai N-SPT rata-rata pada masing-masing lapisan berturut-turut adalah sebesar 24,83; 47,2; dan 54,56, Adapun muka air tanah pada lokasi BH3 berada pada kedalaman -12 m dari permukaan tanah. Hasil perhitungan penurunan grup tiang pada BH3 untuk setiap konfigurasi disajikan secara lengkap pada Tabel 5.56 dan Tabel 5.57 berikut.

**Tabel 5.58 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Penurunan Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 3 Label 123**

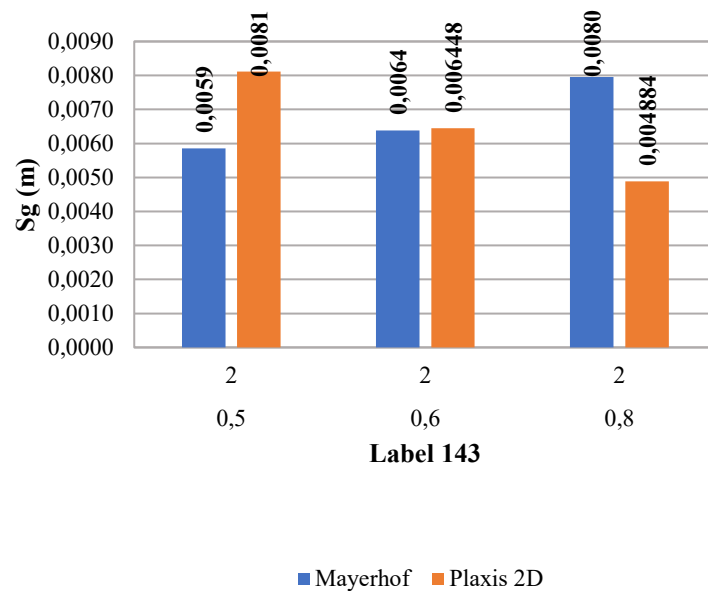
| Metode         | Mayerhoff |        |        | Reese & Wright |        |        |
|----------------|-----------|--------|--------|----------------|--------|--------|
| Label          | 123       |        |        | 123            |        |        |
| D (m)          | 0,5 m     | 0,6 m  | 0,8 m  | 0,5 m          | 0,6 m  | 0,8 m  |
| n              | 4         | 3      | 2      | 4              | 3      | 2      |
| Sg (m)         | 0,0144    | 0,0202 | 0,0276 | 0,0134         | 0,0204 | 0,0326 |
| Sg (PLAXIS 2D) | 0,0192    | 0,0140 | 0,0190 | 0,0165         | 0,0135 | 0,0225 |

**Tabel 5.59 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Penurunan Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 3 Label 143**

| Metode         | Mayerhoff |        |        | Reese & Wright |        |        |
|----------------|-----------|--------|--------|----------------|--------|--------|
| Label          | 143       |        |        | 143            |        |        |
| D (m)          | 0,5 m     | 0,6 m  | 0,8 m  | 0,5 m          | 0,6 m  | 0,8 m  |
| n              | 2         | 2      | 2      | 2              | 2      | 2      |
| Sg (m)         | 0,0059    | 0,0064 | 0,0080 | 0,0055         | 0,0065 | 0,0094 |
| Sg (PLAXIS 2D) | 0,0081    | 0,0064 | 0,0049 | 0,0081         | 0,0067 | 0,0049 |

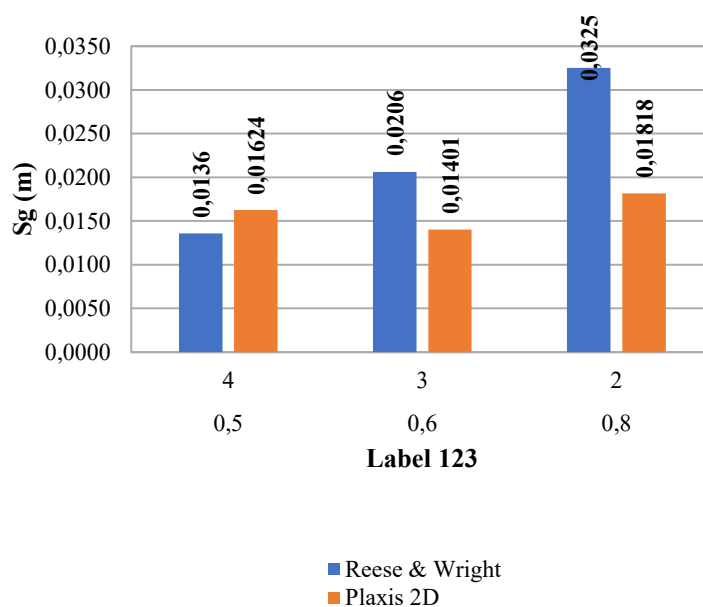


**Gambar 5.65 Perbandingan Nilai Penurunan Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 3 Label 123**

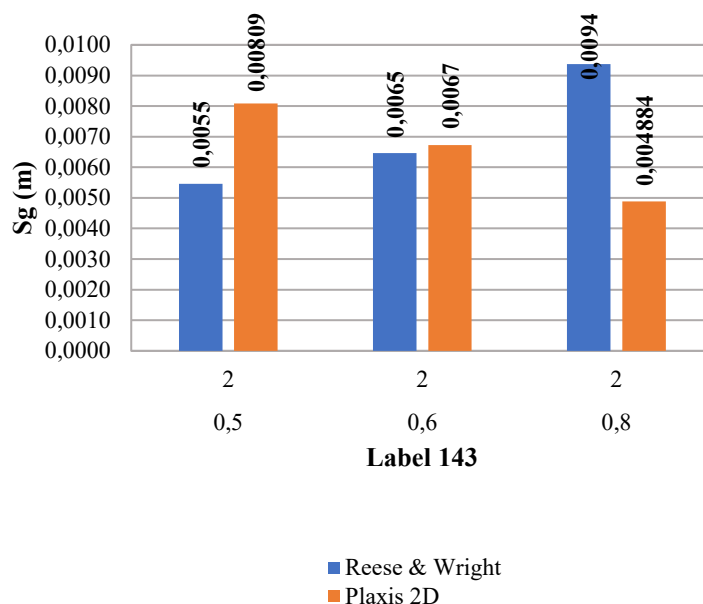


**Gambar 5.66 Perbandingan Nilai Penurunan Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 3 Label 143**

Nilai batas izin untuk variasi diameter 0,5 m; 0,6 m; dan 0,8 m berkisar di angka 0,15 meter. Pada titik bor BH-3, nilai penurunan tiang bervariasi bergantung pada diameter dan jenis pembebanan. Untuk kombinasi beban Label 123, hasil perhitungan metode analitis menghasilkan rentang penurunan antara 0,0134 m hingga 0,0326 m, sementara pemodelan perangkat lunak Plaxis 2D mencatat penurunan di kisaran 0,0135 m hingga 0,0225 m. Pada kombinasi beban Label 143, penurunan dari metode analitis berada di angka 0,0055 m hingga 0,0094 m, sedangkan dari Plaxis 2D berkisar antara 0,0049 m hingga 0,0081 m. Seluruh nilai penurunan maksimal yang terjadi di titik bor BH-3 ini masih terpatut jauh di bawah batas izin 0,15 meter, sehingga seluruh desain kelompok tiang pada area ini dinyatakan aman terhadap syarat penurunan.



**Gambar 5.67 Perbandingan Nilai Penurunan Metode Reese & Wright dan Plaxis 2D BH 3 Label 123**



**Gambar 5.68 Perbandingan Nilai Penurunan Metode Reese & Wright dan Plaxis 2D BH 3 Label 143**

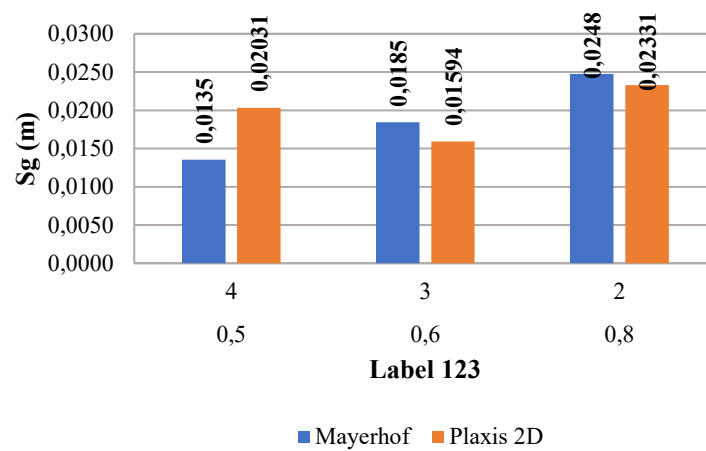
Data tanah pada BH4 menunjukkan profil lapisan tanah dengan tiga lapisan utama yang memiliki nilai N-SPT rata-rata berturut-turut sebesar 21; 39,11; dan 52,43, Muka air tanah pada BH4 berada pada kedalaman -11 m, sedikit lebih dangkal dibandingkan dengan BH3, Hasil perhitungan penurunan grup tiang pada BH4 disajikan pada Tabel 5.58 dan Tabel 5.59 berikut.

**Tabel 5.60 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Penurunan Metode Mayerhoff dan Plaxis 2D BH 4 Label 123**

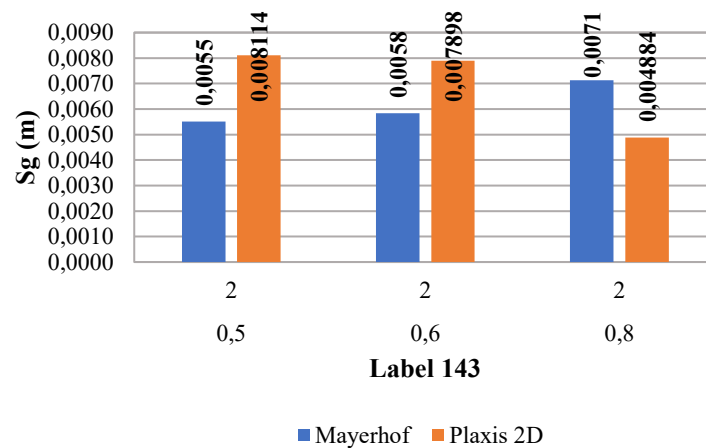
| Metode         | Mayerhoff |        |        | Reese & Wright |        |        |
|----------------|-----------|--------|--------|----------------|--------|--------|
| Label          | 123       |        |        | 123            |        |        |
| D (m)          | 0,5 m     | 0,6 m  | 0,8 m  | 0,5 m          | 0,6 m  | 0,8 m  |
| n              | 4         | 3      | 2      | 4              | 3      | 2      |
| Sg (m)         | 0,0135    | 0,0185 | 0,0248 | 0,0136         | 0,0206 | 0,0325 |
| Sg (PLAXIS 2D) | 0,0203    | 0,0159 | 0,0233 | 0,0162         | 0,0140 | 0,0182 |

**Tabel 5.61 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Penurunan Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 4 Label 143**

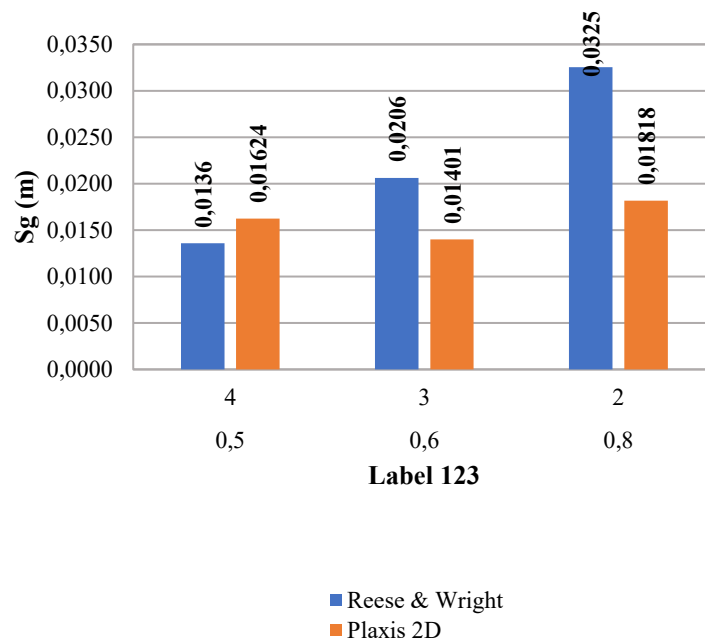
| Metode         | Mayerhoff |        |        | Reese & Wright |        |        |
|----------------|-----------|--------|--------|----------------|--------|--------|
| Label          | 143       |        |        | 143            |        |        |
| D (m)          | 0,5 m     | 0,6 m  | 0,8 m  | 0,5 m          | 0,6 m  | 0,8 m  |
| n              | 2         | 2      | 2      | 2              | 2      | 2      |
| Sg (m)         | 0,0055    | 0,0058 | 0,0071 | 0,0055         | 0,0065 | 0,0094 |
| Sg (PLAXIS 2D) | 0,0081    | 0,0079 | 0,0049 | 0,0081         | 0,0067 | 0,0049 |



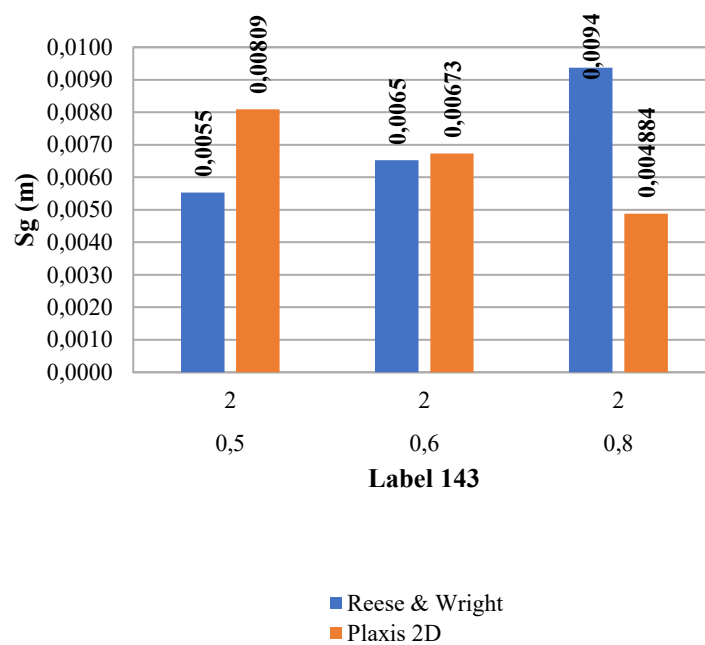
**Gambar 5.69 Perbandingan Nilai Penurunan Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 4 Label 123**



**Gambar 5.70 Perbandingan Nilai Penurunan Metode Mayerhof dan Plaxis 2D BH 4 Label 143**



**Gambar 5.71 Perbandingan Nilai Penurunan Metode Reese & Wright dan Plaxis 2D BH 4 Label 123**



**Gambar 5.72 Perbandingan Nilai Penurunan Metode Reese & Wright dan Plaxis 2D BH 4 Label 143**

Serupa dengan kondisi sebelumnya, besaran penurunan di titik bor BH-4 juga menunjukkan variasi berdasarkan parameter desainnya, namun secara keseluruhan tetap berada dalam batas yang aman. Pada kombinasi beban Label 123, rentang penurunan dari perhitungan metode analitis tercatat sebesar 0,0135 m hingga 0,0325 m, sedangkan pada pemodelan Plaxis 2D rentangnya berada di angka 0,0140 m hingga 0,0233 m. Selanjutnya, untuk kombinasi beban Label 143, nilai penurunan melalui perhitungan analitis berkisar antara 0,0055 m hingga 0,0094 m, dan hasil pemodelan Plaxis 2D menunjukkan penurunan sebesar 0,0049 m hingga 0,0081 m. Nilai penurunan paling besar yang terjadi pada titik bor BH-4, yakni sekitar 0,0325 meter, tetap berada sangat jauh di bawah batas toleransi penurunan izin SNI yang mencapai 0,1501 meter. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi tiang pada titik bor BH-4 sepenuhnya aman untuk digunakan.

Ditinjau dari syarat penurunan izin, seluruh nilai penurunan grup tiang yang diperoleh dari kedua metode (manual maupun PLAXIS 2D) masih berada di bawah batas penurunan izin yang umum digunakan dalam praktik rekayasa geoteknik, yaitu sebesar  $S_{izin} = 15 \text{ cm} + B/600$ , untuk fondasi tiang. Dengan demikian, desain fondasi tiang bor yang telah direncanakan dinilai aman dan memenuhi persyaratan penurunan.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis daya dukung fondasi tiang bor menggunakan data SPT dengan simulasi perangkat lunak Plaxis 2D pada Proyek Renovasi Pasar Terban Daerah Istimewa Yogyakarta, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada tiang bor berdiameter 0,6 m dengan panjang 12 m, metode Meyerhof menghasilkan kapasitas dukung izin (Qall) sebesar 1379,91 kN pada data BH-3 dan 1542,13 kN pada data BH-4. Metode Reese & Wright menghasilkan nilai yang relatif berdekatan, yaitu 1393,33 kN (BH-3) dan 1375,30 kN (BH-4). Hasil pemodelan Plaxis 2D pada diameter yang sama menunjukkan nilai Qall yang jauh lebih tinggi dibandingkan perhitungan manual pada kondisi beban aksial besar (Label 123), yaitu berkisar 2934,21 sampai 4032,69 kN, namun memberikan hasil yang lebih rendah dan mendekati perhitungan manual pada kombinasi beban dengan momen dominan (Label 143), yaitu berkisar 1170,10 sampai 1437,83 kN. Hal ini menunjukkan bahwa nilai Qall dari Plaxis 2D sangat dipengaruhi oleh besarnya beban kerja yang diterapkan pada model, sehingga tidak dapat dibaca sebagai kapasitas tanah yang independen terhadap beban seperti pada metode analitis.
2. Pada tiang bor berdiameter 0,6 m, hasil perhitungan penurunan kelompok tiang menggunakan metode Vesic menghasilkan nilai Sg antara 5,83 mm hingga 20,63 mm, sedangkan hasil simulasi Plaxis 2D menghasilkan nilai Sg antara 6,45 mm hingga 15,94 mm, tergantung pada kombinasi beban dan data tanah yang ditinjau. Seluruh nilai penurunan tersebut masih jauh berada di bawah batas penurunan izin berdasarkan SNI, yaitu  $S_{izin} = 150 \text{ mm} + B/600$  (150,10 mm untuk diameter ini), sehingga fondasi tiang bor berdiameter 0,6 m dinyatakan memenuhi persyaratan penurunan dengan margin keamanan yang besar.

3. Kapasitas dukung tiang tunggal meningkat seiring bertambahnya diameter tiang dari 0,5 m menjadi 0,8 m. Metode Meyerhof menghasilkan  $Q_{all}$  sebesar 999,71 kN (diameter 0,5 m) hingga 2320,54 kN (diameter 0,8 m) pada BH-3, serta 1089,84 kN hingga 2616,95 kN pada BH-4. Metode Reese & Wright menghasilkan nilai yang relatif berdekatan, yaitu 1120,66 kN hingga 1987,21 kN pada BH-3, serta 1098,89 kN hingga 1984,75 kN pada BH-4. Pemodelan Plaxis 2D kembali menghasilkan nilai  $Q_{all}$  yang lebih tinggi dibandingkan dengan perhitungan manual pada beban besar (Label 123), dengan kesenjangan yang justru mengecil seiring bertambahnya diameter, namun menghasilkan nilai yang lebih rendah pada beban yang lebih kecil (Label 143), dengan kesenjangan yang justru melebar seiring bertambahnya diameter. Pada tinjauan kelompok tiang, seluruh konfigurasi diameter 0,5 m dan 0,8 m dengan jumlah tiang per kelompok yang disesuaikan terhadap diameter (jumlah tiang 4 untuk diameter 0,5 m dan jumlah tiang 2 untuk diameter 0,8 m pada Label 123) dinyatakan AMAN terhadap beban rencana, dengan nilai kapasitas dukung kelompok ( $Q_g$ ) berkisar antara 1794,65 kN hingga 4697,86 kN.
4. Hasil analisis penurunan kelompok tiang pada diameter 0,5 m dan 0,8 m menggunakan metode Vesic menghasilkan nilai  $S_g$  antara 5,46 mm hingga 32,55 mm, sedangkan simulasi Plaxis 2D menghasilkan nilai  $S_g$  antara 4,88 mm hingga 23,31 mm. Kedua metode menunjukkan hubungan yang tidak selalu satu arah pada sebagian kombinasi diameter dan titik bor, Vesic menghasilkan nilai yang lebih besar daripada Plaxis, sementara pada kombinasi lain berlaku sebaliknya namun seluruh nilai dari kedua metode, baik pada diameter 0,5 m maupun 0,8 m, tetap berada jauh di bawah batas penurunan izin berdasarkan SNI ( $S_{izin}$  sekitar 150,08 sampai 150,13 mm untuk rentang diameter ini. Dengan demikian, desain fondasi tiang bor dengan variasi diameter tersebut dinyatakan aman dan memenuhi persyaratan penurunan yang berlaku.

## 6.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut,

1. Perlu dilakukan uji pembebanan tiang (*pile load test*) di lapangan untuk memverifikasi hasil perhitungan kapasitas dukung yang diperoleh dari metode analitis maupun pemodelan Plaxis 2D, sehingga tingkat kepercayaan desain fondasi dapat ditingkatkan,
2. Untuk penelitian lanjutan, disarankan menggunakan pemodelan tiga dimensi (Plaxis 3D) agar interaksi antartiang dalam kelompok dapat dimodelkan dengan lebih akurat, termasuk pengaruh efek kelompok dan distribusi beban yang lebih realistis,

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *SNI-1726-2019: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktural Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2015. *SNI 6371:2015: Tata Cara Pengklasifikasian Tanah untuk Keperluan Teknik dengan Sistem Klasifikasi Unifikasi Tanah*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2017. *SNI 8460:2017: Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *SNI 1727:2013: Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta.
- Bagus, S. d. 2024. Analisis Daya Dukung Fondasi Bore Pile pada Proyek Pembangunan Fasilitas Perkeretaapian Manggarai-Jatinegara. *Jurnal Teknik Sipil*.
- Bowles, J. E. 1997. *Foundation Analysis and Design. Fifth Edition*. Washington D.C.
- Das, B. M. 2012. *Principles of Geotechnical Engineering. 8th Edition*. USA: USA: Cengage Learning.
- Doediek, M. d. 2025. Bearing Capacity and Settlement Analysis of Drilled Pile Foundation at The ASN-4IKN Apartment Construction Project. *International Journal of Civil Engineering*.
- Hardiyatmo, H. C. 2002. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. 2015. *Teknik Fondasi II. Edisi ke-2*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. 2008. *Teknik Pondasi. Edisi Ke-2*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. 2010. *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. 2011. *Analisis dan Perancangan Fondasi I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

- Reese, L. C. 1977. *Drilled Shaft Design and Construction Guidelines Manual*. Washington D.C.: U.S. Department of Transportation.
- Valerianus, J. d. 2023. Analisis Komparatif Daya Dukung & Penurunan Fondasi Menggunakan Metode Analitis dan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus: Proyek Apartment Mega Techno City Kota Batam). *Jurnal Infrastruktur*.
- Vesic, A. S. 1977. *Design of Pile Foundations. National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Practice*. Washington D.C.: Transportation Research Board.
- Vira, N. d. 2023. Analisis Fondasi Bore Pile dengan Variasi Diameter pada Proyek Rumah Sakit Bhayangkara Menggunakan Software GEO5. *Jurnal Geoteknik*.
- Ziahul, M. d. 2025. Pengaruh Variasi Diameter Terhadap Kapasitas Dukung dan Penurunan Fondasi pada Tanah Pasir (Studi Kasus: Gedung Rumah Susun di Yogyakarta). *Jurnal Konstruksi*.
- Khairunnisa, J. 2025. Analisis Daya Dukung Pondasi *Bored Pile* Berdasarkan Data SPT pada Proyek Pembangunan RSUD Kota Yogyakarta (Studi Kasus: Proyek Gedung Instalasi Bedah Sentral). *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

# LAMPIRAN

**Lampiran 1 Denah Lokasi Proyek**



**Lampiran 2 Lokasi Pengujian *Standart Penetration Test* (SPT)**



## Lampiran 3 Data Tanah (BH-3)

|  <b>PT. GWA Desain Teknologi</b><br>Consulting Engineers - GeoEnvironment - Architect<br>website : www.gwadestek.com   |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          |                              |            |    |                                                                                                                                    |    |    |   |    |    |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|---------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------|------------|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|---|----|----|----|
| <b>BORE LOG</b>                                                                                                                                                                                         |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          |                              |            |    |                                                                                                                                    |    |    |   |    |    |    |
| <b>Project :</b> Pada Pekerjaan Penyusunan Detail Engineering Design (DED) Pasar Terban Kota Yogyakarta<br><b>Location :</b> Terban, Kec. Gondokusuman, Kota Yogyakarta, DIY                            |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          |                              |            |    | <b>Bore Hole No :</b> BH. 3<br><b>Page</b> 1/2                                                                                     |    |    |   |    |    |    |
| <b>Date of drilling :</b> 14 Desember 2023<br><b>Bore Machine :</b> Cocan<br><b>Pump :</b> Sunchin<br><b>Master bore :</b> Slamet<br><b>Drilling method :</b> Rotary<br><b>Diameter of hole :</b> 73 mm |           |                 |               |        | <b>Described by :</b> Ir. Siti Hardiyati, MT.<br><b>Checked by :</b> Andi Retno Aji S. ST., MT.<br><b>Date of photograph :</b> -<br><b>Sample store at :</b> Semarang<br><b>Ground Water Depth :</b> -12.00 meter |                                          |                              |            |    | <b>Coordinate S :</b> -7.761094<br><b>E :</b> 110.372220<br><b>Elevation Z :</b> -<br><b>Inclination :</b> -<br><b>Azimuth :</b> - |    |    |   |    |    |    |
| Date                                                                                                                                                                                                    | Depth (m) | Depth Layer (m) | Thickness (m) | Sample | Symbol                                                                                                                                                                                                            | Layer Type                               | DESCRIPTION                  | Field Test |    |                                                                                                                                    |    |    |   |    |    |    |
|                                                                                                                                                                                                         |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          |                              | SPT        |    |                                                                                                                                    |    |    |   |    |    |    |
|                                                                                                                                                                                                         |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          |                              | Depth (m)  | N1 | N2                                                                                                                                 | N3 | N4 | 0 | 20 | 40 | 60 |
| 14 s.d 17 Desember 2023                                                                                                                                                                                 | 1         | 0.00            |               |        |                                                                                                                                                                                                                   | Pasir Halus                              | Warna hitam, setengah padat  |            |    |                                                                                                                                    |    |    |   |    |    |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 2         | 3.00            |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          |                              | 2.00       | 5  | 11                                                                                                                                 | 13 | 24 |   |    |    |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 3         | 3.00            |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          |                              | 2.45       |    |                                                                                                                                    |    |    |   |    |    |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 4         | 3.00            |               |        |                                                                                                                                                                                                                   | Pasir Kasar                              | Warna hitam, setengah padat  | 4.00       | 5  | 10                                                                                                                                 | 11 | 21 |   |    |    |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 5         | 3.00            | 4.50          |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          |                              | 4.45       |    |                                                                                                                                    |    |    |   |    |    |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 6         | 6.00            |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          |                              | 6.00       | 6  | 11                                                                                                                                 | 12 | 23 |   |    |    |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 7         | 2.00            |               |        |                                                                                                                                                                                                                   | Pasir Halus                              | Warna hitam, setengah padat  | 6.45       |    |                                                                                                                                    |    |    |   |    |    |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 8         | 8.00            |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          |                              | 8.00       | 4  | 7                                                                                                                                  | 11 | 18 |   |    |    |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 9         |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          |                              | 8.45       |    |                                                                                                                                    |    |    |   |    |    |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 10        | 0.00            | 9.50          |        |                                                                                                                                                                                                                   | Pasir Halus                              | Warna coklat, setengah padat | 10.00      | 9  | 17                                                                                                                                 | 22 | 39 |   |    |    |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 11        |                 | 10.00         |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          |                              | 10.45      |    |                                                                                                                                    |    |    |   |    |    |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 12        | 12.00           |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          |                              | 12.00      | 9  | 11                                                                                                                                 | 13 | 24 |   |    |    |    |
| 13                                                                                                                                                                                                      |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          | 12.45                        |            |    |                                                                                                                                    |    |    |   |    |    |    |
| 14                                                                                                                                                                                                      |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          | 14.00                        | 17         | 22 | 24                                                                                                                                 | 46 |    |   |    |    |    |
| 15                                                                                                                                                                                                      |           | 14.50           |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          | 14.45                        |            |    |                                                                                                                                    |    |    |   |    |    |    |
| 16                                                                                                                                                                                                      | 20.00     | 15.00           |               |        | Pasir Kasar                                                                                                                                                                                                       | Warna hitam, setengah padat sampai padat | 16.00                        | 16         | 24 | 25                                                                                                                                 | 49 |    |   |    |    |    |
| 17                                                                                                                                                                                                      |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          | 16.45                        |            |    |                                                                                                                                    |    |    |   |    |    |    |
| 18                                                                                                                                                                                                      |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          | 18.00                        | 11         | 21 | 23                                                                                                                                 | 44 |    |   |    |    |    |
| 19                                                                                                                                                                                                      | 19.00     | 18.50           |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          | 18.45                        |            |    |                                                                                                                                    |    |    |   |    |    |    |
| 20                                                                                                                                                                                                      | 1.00      | 19.00           |               |        | Pasir Halus                                                                                                                                                                                                       | Warna hitam, padat                       | 20.00                        | 13         | 23 | 27                                                                                                                                 | 50 |    |   |    |    |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 20.00     |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          | 20.45                        |            |    |                                                                                                                                    |    |    |   |    |    |    |
| Next Page                                                                                                                                                                                               |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                                          |                              |            |    |                                                                                                                                    |    |    |   |    |    |    |

NOTE : N = N-Spt Belum Terkoreksi

### Lampiran 4 Lanjutan Data Tanah (BH-3)

|  <b>PT. GWA Desain Teknologi</b><br>Consulting Engineers - GeoEnvironment - Architect<br>website : www.gwadestek.com   |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                       |                               |            |    |                                                                                                                                |     |                 |    |    |    |    |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|---------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------|----|----|----|----|--|
| <b>BORE LOG</b>                                                                                                                                                                                         |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                       |                               |            |    |                                                                                                                                |     |                 |    |    |    |    |  |
| <b>Project</b> : Pada Pekerjaan Penyusunan Detail Engineering Design (DED) Pasar Terban<br>Kota Yogyakarta                                                                                              |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                       |                               |            |    | <b>Bore Hole No</b> : BH. 3                                                                                                    |     | <b>Page</b> 2/2 |    |    |    |    |  |
| <b>Location</b> : Terban, Kec. Gondokusuman, Kota Yogyakarta, DIY                                                                                                                                       |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                       |                               |            |    |                                                                                                                                |     |                 |    |    |    |    |  |
| <b>Date of drilling</b> : 14 Desember 2023<br><b>Bore Machine</b> : Cocam<br><b>Pump</b> : Sunchin<br><b>Master bore</b> : Slamet<br><b>Drilling metode</b> : Rotary<br><b>Diameter of hole</b> : 73 mm |           |                 |               |        | <b>Described by</b> : Ir. Siti Hardiyati, MT.<br><b>Checked by</b> : Andi Ratno Ari S. ST., MT.<br><b>Date of photograph</b> : -<br><b>Sample store at</b> : Semarang<br><b>Ground Water Depth</b> : -12.00 meter |                       |                               |            |    | <b>Coordinate S</b> : -7.781094<br><b>E</b> : 110.372220<br><b>Elevation Z</b> : -<br><b>Inclination</b> :<br><b>Azimuth</b> : |     |                 |    |    |    |    |  |
| Date                                                                                                                                                                                                    | Depth (m) | Depth Layer (m) | Thickness (m) | Sample | Symbol                                                                                                                                                                                                            | Layer Type            | DESCRIPTION                   | Field Test |    |                                                                                                                                |     |                 |    |    |    |    |  |
|                                                                                                                                                                                                         |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                       |                               | SPT        |    |                                                                                                                                |     |                 |    |    |    |    |  |
|                                                                                                                                                                                                         |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                       |                               | Depth (m)  | N1 | N2                                                                                                                             | N3  | N4              | 0  | 20 | 40 | 60 |  |
| 14 s/d 17 Desember 2023                                                                                                                                                                                 | 21        | 20.00           |               |        |                                                                                                                                                                                                                   | Pasir Halus           | Warna hitam, padat            | 22.00      | 17 | 22                                                                                                                             | 25  | 47              |    |    |    |    |  |
|                                                                                                                                                                                                         | 22        |                 | 3.00          |        |                                                                                                                                                                                                                   |                       |                               | 22.45      |    |                                                                                                                                |     |                 |    |    |    |    |  |
|                                                                                                                                                                                                         | 23        | 23.00           |               |        |                                                                                                                                                                                                                   | Pasir Kasar           | Warna hitam, padat            | 24.00      | 13 | 23                                                                                                                             | 25  | 48              |    |    |    |    |  |
|                                                                                                                                                                                                         | 24        |                 |               | 4.00   |                                                                                                                                                                                                                   |                       |                               | 24.45      |    |                                                                                                                                |     |                 |    |    |    |    |  |
|                                                                                                                                                                                                         | 25        |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                       |                               | 25.00      | 17 | 24                                                                                                                             | 27  | 51              |    |    |    |    |  |
|                                                                                                                                                                                                         | 26        |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                       |                               | 25.45      |    |                                                                                                                                |     |                 |    |    |    |    |  |
|                                                                                                                                                                                                         | 27        | 27.00           |               |        |                                                                                                                                                                                                                   | Pasir Halus           | Warna coklat kehitaman, padat | 28.00      | 14 | 22                                                                                                                             | 27  | 49              |    |    |    |    |  |
|                                                                                                                                                                                                         | 28        |                 | 3.00          |        |                                                                                                                                                                                                                   |                       |                               | 28.45      |    |                                                                                                                                |     |                 |    |    |    |    |  |
|                                                                                                                                                                                                         | 29        |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                       |                               | 29.50      | 16 | 24                                                                                                                             | 29  | 53              |    |    |    |    |  |
|                                                                                                                                                                                                         | 30        | 30.00           |               |        |                                                                                                                                                                                                                   | Pasir Halus           | Warna hitam, padat            | 30.45      |    |                                                                                                                                |     |                 |    |    |    |    |  |
|                                                                                                                                                                                                         | 31        |                 | 3.00          |        |                                                                                                                                                                                                                   |                       |                               | 32.00      | 15 | 22                                                                                                                             | 32  | 54              |    |    |    |    |  |
|                                                                                                                                                                                                         | 32        |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                       |                               | 32.45      |    |                                                                                                                                |     |                 |    |    |    |    |  |
| 33                                                                                                                                                                                                      | 33.00     |                 |               |        | Pasir Kasar                                                                                                                                                                                                       | Warna hitam, padat    | 34.00                         | 15         | 24 | 32                                                                                                                             | 56  |                 |    |    |    |    |  |
| 34                                                                                                                                                                                                      |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                       | 34.45                         |            |    |                                                                                                                                |     |                 |    |    |    |    |  |
| 35                                                                                                                                                                                                      |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                       | 36.00                         | 17         | 32 | 35                                                                                                                             | >60 |                 |    |    |    |    |  |
| 36                                                                                                                                                                                                      |           | 7.00            |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                       | 36.45                         |            |    |                                                                                                                                |     |                 |    |    |    |    |  |
| 37                                                                                                                                                                                                      |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                       | 38.00                         | 18         | 31 | 32                                                                                                                             | >60 |                 |    |    |    |    |  |
| 38                                                                                                                                                                                                      |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                       | 38.45                         |            |    |                                                                                                                                |     |                 |    |    |    |    |  |
| 39                                                                                                                                                                                                      |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                       | 39.50                         | 19         | 34 | 35                                                                                                                             | >60 |                 |    |    |    |    |  |
| 40                                                                                                                                                                                                      | 40.00     |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |                       | 40.45                         |            |    |                                                                                                                                |     |                 | 10 | 30 | 50 |    |  |
|                                                                                                                                                                                                         |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   | <b>End Off Boring</b> |                               |            |    |                                                                                                                                |     |                 |    |    |    |    |  |

**NOTE** : N = N-Spt Belum Terkoreksi

## Lampiran 5 Data Tanah (BH-4)

|  <b>PT. GWA Desain Teknologi</b><br>Consulting Engineers - GeoEnvironement - Architect<br>website : www.gwadestek.com  |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          |            |    |                                                                                                                                |    |    |   |    |                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|---------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------------|------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|---|----|-----------------|----|
| <b>BORE LOG</b>                                                                                                                                                                                         |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          |            |    |                                                                                                                                |    |    |   |    |                 |    |
| <b>Project :</b> Pada Pekerjaan Penyusunan Detail Engineering Design (DED) Pasar Terban<br>Kota Yogyakarta                                                                                              |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          |            |    | <b>Bore Hole No :</b> BH. 4                                                                                                    |    |    |   |    | <b>Page</b> 1/2 |    |
| <b>Location :</b> Terban, Kec. Gondokusuman, Kota Yogyakarta, DIY                                                                                                                                       |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          |            |    |                                                                                                                                |    |    |   |    |                 |    |
| <b>Date of drilling :</b> 18 Desember 2023<br><b>Bore Machine :</b> Cocan<br><b>Pump :</b> Sunchin<br><b>Master bore :</b> Slamet<br><b>Drilling method :</b> Rotary<br><b>Diameter of hole :</b> 73 mm |           |                 |               |        | <b>Described by :</b> Ir. Siti Hardiyati, MT.<br><b>Checked by :</b> Andi Retno Ari S. ST., MT.<br><b>Date of photograph :</b> -<br><b>Sample store at :</b> Semarang<br><b>Ground Water Depth :</b> -11.00 meter |               |                                          |            |    | <b>Coordinate S :</b> -7.781152<br><b>E :</b> 110.372258<br><b>Elevation Z :</b> -<br><b>Inclination :</b><br><b>Azimuth :</b> |    |    |   |    |                 |    |
| Date                                                                                                                                                                                                    | Depth (m) | Depth Layer (m) | Thickness (m) | Sample | Symbol                                                                                                                                                                                                            | Layer Type    | DESCRIPTION                              | Field Test |    |                                                                                                                                |    |    |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          | SPT        |    |                                                                                                                                |    |    |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          | Depth (m)  | N1 | N2                                                                                                                             | N3 | N  | 0 | 20 | 40              | 60 |
| 18 s.d 21 Desember 2023                                                                                                                                                                                 | 1         | 0.00            |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          |            |    |                                                                                                                                |    |    |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 2         | 3.00            |               |        |                                                                                                                                                                                                                   | Pasir Halus   | Warna hitam, lepas                       | 2.00       | 4  | 5                                                                                                                              | 7  | 12 |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 3         | 3.00            |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          | 2.45       |    |                                                                                                                                |    |    |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 4         |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          | 4.00       | 10 | 11                                                                                                                             | 12 | 23 |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 5         |                 |               | 4.50   |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          | 4.45       |    |                                                                                                                                |    |    |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 6         | 6.00            |               | 5.00   |                                                                                                                                                                                                                   | Pasir Kasar   | Warna hitam, setengah padat              | 6.00       | 9  | 10                                                                                                                             | 11 | 21 |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 7         |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          | 6.45       |    |                                                                                                                                |    |    |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 8         |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          | 8.00       | 9  | 14                                                                                                                             | 14 | 28 |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 9         | 9.00            |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          | 8.45       |    |                                                                                                                                |    |    |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 10        | 10.00           | 1.00          | 9.50   |                                                                                                                                                                                                                   | Lanau Pasiran | Warna coklat, kaku                       | 10.00      | 11 | 13                                                                                                                             | 15 | 28 |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 11        |                 |               | 10.00  |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          | 10.45      |    |                                                                                                                                |    |    |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 12        |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          | 12.00      | 10 | 12                                                                                                                             | 16 | 28 |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 13        |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          | 12.45      |    |                                                                                                                                |    |    |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 14        |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          | 14.00      | 11 | 17                                                                                                                             | 19 | 36 |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 15        | 10.00           |               | 14.50  |                                                                                                                                                                                                                   | Pasir Kasar   | Warna hitam, setengah padat sampai padat | 14.45      |    |                                                                                                                                |    |    |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 16        |                 |               | 15.00  |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          | 16.00      | 11 | 17                                                                                                                             | 21 | 38 |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 17        |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          | 16.45      |    |                                                                                                                                |    |    |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 18        |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          | 18.00      | 12 | 19                                                                                                                             | 22 | 41 |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 19        |                 |               | 18.50  |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          | 18.45      |    |                                                                                                                                |    |    |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         | 20        | 20.00           |               | 19.00  |                                                                                                                                                                                                                   |               |                                          | 20.00      | 11 | 22                                                                                                                             | 26 | 48 |   |    |                 |    |
|                                                                                                                                                                                                         |           |                 |               |        |                                                                                                                                                                                                                   |               | 20.45                                    |            |    |                                                                                                                                |    |    |   |    |                 |    |

Next Page

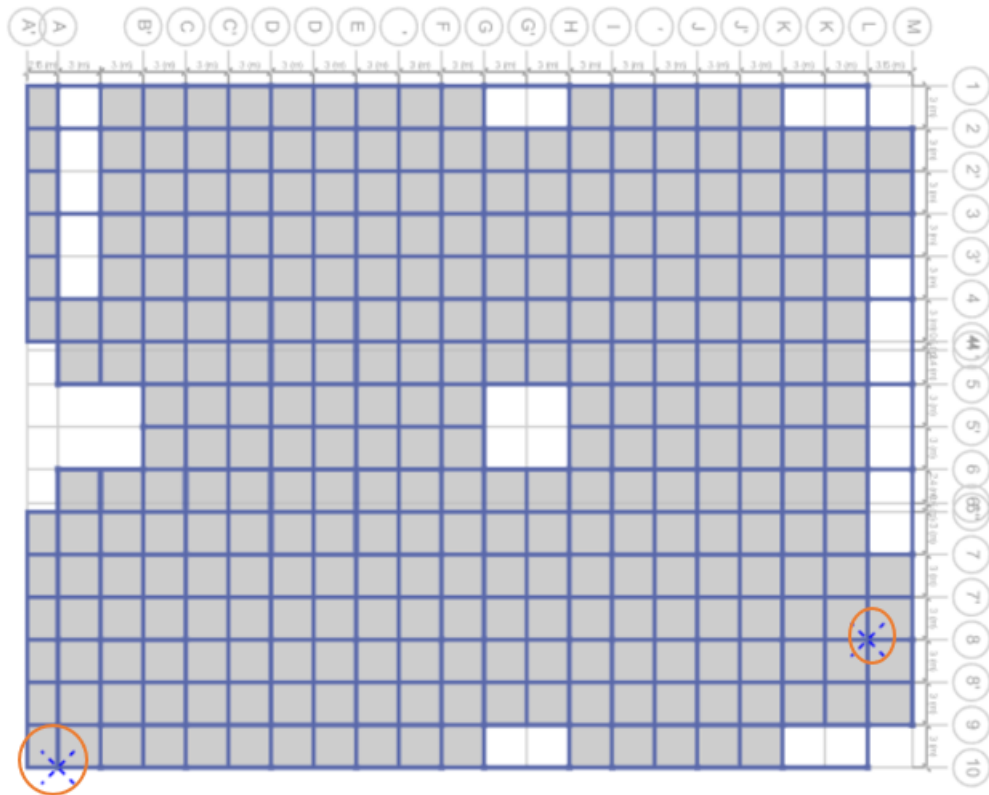
**NOTE :** N = N-Spt Belum Terkoreksi

### Lampiran 6 Lanjutan Data Tanah (BH-4)

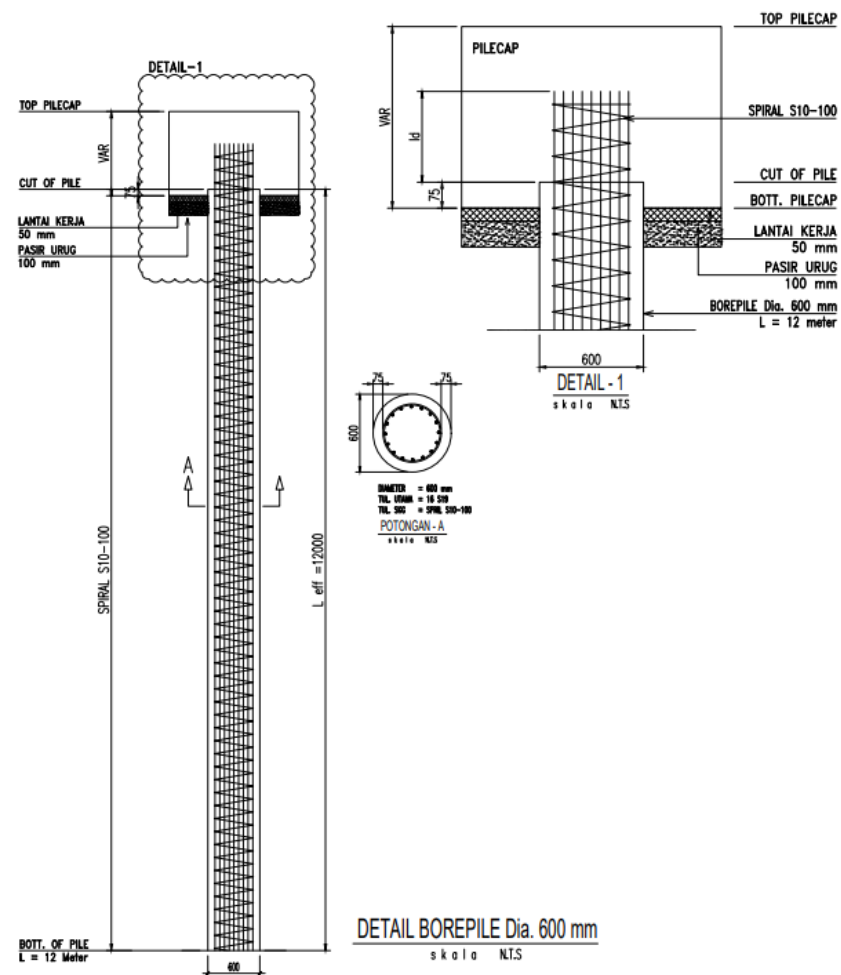
|  <b>PT. GWA Desain Teknologi</b><br>Consulting Engineers - GeoEnvironement - Architect<br>website : www.gwadestek.com   |           |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                |                             |                 |    |    |     |    |            |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------|----|----|-----|----|------------|--|
| <b>BORE LOG</b>                                                                                                                                                                                          |           |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                |                             |                 |    |    |     |    |            |  |
| <b>Project</b> : Pada Pekerjaan Penyusunan Detail Engineering Design (DED) Pasar Terban<br>Kota Yogyakarta<br><b>Location</b> : Terban, Kec. Gondokusuman, Kota Yogyakarta, DIY                          |           |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        | <b>Bore Hole No</b> : BH. 4                                                                                                    |                             | <b>Page</b> 2/2 |    |    |     |    |            |  |
| <b>Date of drilling</b> : 18 Desember 2023<br><b>Bore Machine</b> : Cocor<br><b>Pump</b> : Sunchin<br><b>Master bore</b> : Starnet<br><b>Drilling metode</b> : Rotary<br><b>Diameter of hole</b> : 73 mm |           |                 | <b>Described by</b> : Ir. Sri Hardiyati, MT.<br><b>Checked by</b> : Andi Retno An S. ST., MT.<br><b>Date of photograph</b> : -<br><b>Sample store at</b> : Semarang<br><b>Ground Water Depth</b> : -11.00 meter |        |        | <b>Coordinate</b> S : -7.781152<br><b>E</b> : 110.372258<br><b>Elevation</b> Z : -<br><b>Inclination</b> :<br><b>Azimuth</b> : |                             |                 |    |    |     |    |            |  |
| Date                                                                                                                                                                                                     | Depth (m) | Depth Layer (m) | Thickness (m)                                                                                                                                                                                                   | Sample | Symbol | Layer Type                                                                                                                     | DESCRIPTION                 | Field Test      |    |    |     |    |            |  |
|                                                                                                                                                                                                          |           |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                |                             | SPT             |    |    |     |    | 0 20 40 60 |  |
|                                                                                                                                                                                                          |           |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                |                             | Depth (m)       | N1 | N2 | N3  | N4 |            |  |
| 18 s/d 21 Desember 2023                                                                                                                                                                                  | 21        | 20.00           | 1.00                                                                                                                                                                                                            |        |        | Pasir Kasar                                                                                                                    | Warna hitam, padat          |                 |    |    |     |    |            |  |
|                                                                                                                                                                                                          | 22        | 21.00           | 2.00                                                                                                                                                                                                            |        |        | Pasir Kasar                                                                                                                    | Warna coklat abu-abu, padat | 22.00           | 9  | 19 | 22  | 41 |            |  |
|                                                                                                                                                                                                          | 23        | 23.00           |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                |                             | 22.45           |    |    |     |    |            |  |
|                                                                                                                                                                                                          | 24        |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                |                             | 24.00           | 11 | 17 | 24  | 41 |            |  |
|                                                                                                                                                                                                          | 25        |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                |                             | 24.45           |    |    |     |    |            |  |
|                                                                                                                                                                                                          | 26        |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                |                             | 26.00           | 11 | 24 | 27  | 51 |            |  |
|                                                                                                                                                                                                          | 27        |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                |                             | 26.45           |    |    |     |    |            |  |
|                                                                                                                                                                                                          | 28        |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                |                             | 28.00           | 12 | 22 | 25  | 47 |            |  |
|                                                                                                                                                                                                          | 29        |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                |                             | 28.45           |    |    |     |    |            |  |
|                                                                                                                                                                                                          | 30        |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                |                             | 30.00           | 15 | 22 | 28  | 50 |            |  |
|                                                                                                                                                                                                          | 31        |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                |                             | 30.45           |    |    |     |    |            |  |
|                                                                                                                                                                                                          | 32        |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                |                             | 32.00           | 15 | 19 | 32  | 51 |            |  |
|                                                                                                                                                                                                          | 33        |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                |                             | 32.45           |    |    |     |    |            |  |
|                                                                                                                                                                                                          | 34        |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                |                             | 34.00           | 15 | 24 | 27  | 51 |            |  |
|                                                                                                                                                                                                          | 35        |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                |                             | 34.45           |    |    |     |    |            |  |
|                                                                                                                                                                                                          | 36        |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                |                             | 36.00           | 13 | 22 | 26  | 48 |            |  |
| 37                                                                                                                                                                                                       |           |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                | 36.45                       |                 |    |    |     |    |            |  |
| 38                                                                                                                                                                                                       |           |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                | 38.00                       | 17              | 25 | 36 | >60 |    |            |  |
| 39                                                                                                                                                                                                       |           |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                | 38.45                       |                 |    |    |     |    |            |  |
| 40                                                                                                                                                                                                       |           |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                | 40.00                       | 17              | 24 | 36 | 60  |    |            |  |
|                                                                                                                                                                                                          |           |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                | 40.45                       |                 |    |    |     |    |            |  |
| <b>End Off Boring</b>                                                                                                                                                                                    |           |                 |                                                                                                                                                                                                                 |        |        |                                                                                                                                |                             |                 |    |    |     |    |            |  |

**NOTE** : N = N-Spt Belum Terkoreksi

### Lampiran 7 Titik Joint yang Ditinjau



# Lampiran 8 Detail Fondasi *Bored Pile*



### Lampiran 9 Denah Fondasi *Bored Pile*

