

## DAFTAR ISI

|                                      |      |
|--------------------------------------|------|
| LEMBAR PERSYARATAN .....             | i    |
| LEMBAR PENGESAHAN .....              | ii   |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....       | iii  |
| LEMBAR KEBENARAN DOKUMEN .....       | iv   |
| LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN .....     | v    |
| LEMBAR HAK CIPTA DAN STATUS .....    | vi   |
| LEMBAR KONSULTASI PROYEK AKHIR ..... | vii  |
| MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....          | viii |
| KATA PENGANTAR.....                  | ix   |
| INTISARI.....                        | xi   |
| <i>ABSTRACT</i> .....                | xii  |
| DAFTAR SIMBOL .....                  | xxi  |
| BAB 1 PENDAHULUAN .....              | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....             | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....            | 4    |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....           | 4    |
| 1.4 Batasan Masalah.....             | 4    |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....         | 5    |
| 1.6 Sistematika Penulisan .....      | 6    |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....          | 8    |
| 2.1 Konstruksi Jalan .....           | 8    |
| 2.2 Tanah .....                      | 8    |
| 2.2.1 Klasifikasi Tanah.....         | 9    |

|        |                                              |    |
|--------|----------------------------------------------|----|
| 2.2.2  | Komponen tanah .....                         | 10 |
| 2.2.3  | Batas Tanah .....                            | 16 |
| 2.3    | Struktur Bawah .....                         | 17 |
| 2.3.1  | <i>Bored Pile</i> .....                      | 17 |
| 2.3.2  | <i>Pile cap</i> .....                        | 18 |
| 2.4    | Lereng dan kelongsoran .....                 | 19 |
| 2.4.1  | Longsor .....                                | 20 |
| 2.5    | Kuat Geser Tanah .....                       | 22 |
| 2.6    | Tekanan Tanah.....                           | 23 |
| 2.6.1  | Tekanan Tanah Lateral Aktif ( $K_a$ ).....   | 23 |
| 2.7    | Tekanan Tanah Pasif.....                     | 24 |
| 2.8    | <i>Standart Penetration Test</i> (SPT) ..... | 25 |
| 2.9    | Penurunan ( <i>Settlement</i> ) .....        | 26 |
| 2.10   | Pergeseran atau <i>Displacement</i> .....    | 28 |
| 2.11   | Beban Lalu Lintas .....                      | 28 |
| 2.12   | Beban Gempa .....                            | 29 |
| 2.13   | Dinding Penahan Tanah .....                  | 30 |
| 2.14   | <i>Sheet Pile</i> .....                      | 31 |
| 2.14.1 | Stabilitas <i>Sheet Pile</i> .....           | 31 |
| 2.14.2 | Profil <i>Sheet Pile</i> .....               | 32 |
| 2.15   | <i>Finite Element Methods</i> 2D .....       | 33 |
| 2.15.1 | Plaxis 2D .....                              | 33 |
| 2.15.2 | <i>Element Plane-Strain</i> .....            | 34 |
| 2.15.3 | Model Tanah.....                             | 34 |
| BAB 3  | METODOLOGI .....                             | 36 |

|       |                                                                      |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1   | Lokasi Penelitian.....                                               | 36 |
| 3.2   | Rencana Evaluasi dan Pembahasan .....                                | 37 |
| 3.2.1 | Pengumpulan Data .....                                               | 37 |
| 3.2.2 | Evaluasi Numeris dengan FEM .....                                    | 38 |
| 3.3   | Diagram Alur.....                                                    | 39 |
| BAB 4 | HASIL DAN PEMBAHASAN .....                                           | 40 |
| 4.1   | Deskripsi Lokasi Penelitian.....                                     | 40 |
| 4.2   | Metode Konstruksi .....                                              | 41 |
| 4.3   | Penyelidikan Parameter Tanah .....                                   | 47 |
| 4.3.1 | Hasil Pengujian <i>Standard Penetration Test</i> (SPT) .....         | 47 |
| 4.3.2 | Hasil <i>Index Properties</i> Parameter Laboratorium .....           | 48 |
| 4.3.3 | Hasil Pengujian Laboratorium <i>Engineering Properties</i> .....     | 49 |
| 4.4   | Analisis Pembebanan .....                                            | 50 |
| 4.5   | Spesifikasi <i>Steel Sheet Pile</i> .....                            | 54 |
| 4.6   | Penentuan Pemodelan dan Parameter Modeling FEM 2D.....               | 56 |
| 4.7   | Evaluasi Numeris Lereng Tanpa Perkuatan .....                        | 58 |
| 4.7.1 | Output Lereng Eksisting .....                                        | 59 |
| 4.8   | Evaluasi Numeris Lereng dengan <i>Reinforcement</i> .....            | 60 |
| 4.8.1 | Geometri Lereng dengan perkuatan .....                               | 60 |
| 4.8.2 | Tahapan pemodelan dengan FEM 2D .....                                | 61 |
| 4.8.3 | Output Evaluasi Numeris Kondisi dengan <i>Reinforcement</i> .....    | 68 |
| 4.9   | Validasi Data Parameter Pemodelan Terhadap <i>Displacement</i> ..... | 79 |
| 4.9.1 | Data Koordinat Aktual Perpindahan <i>Steel Sheet Pile</i> .....      | 79 |
| 4.9.2 | Hasil Evaluasi Numeris.....                                          | 81 |
| 4.10  | <i>Excutive Summarry</i> Hasil FEM 2D.....                           | 83 |

|                       |                           |    |
|-----------------------|---------------------------|----|
| BAB 5                 | KESIMPULAN DAN SARAN..... | 87 |
| 5.1                   | Kesimpulan .....          | 87 |
| 5.2                   | Saran.....                | 88 |
| DAFTAR PUSTAKA .....  |                           | 89 |
| BIODATA PENULIS ..... |                           | 90 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1. 1 <i>Site Plan</i> Jalan Tol Yogyakarta-Solo (Sumber: Overview Proyek Tol Yogyakarta-Solo) ..... | 2  |
| Gambar 1. 2 Site Plan Titik P46 STA 54+739 .....                                                           | 2  |
| Gambar 1. 3 Metode Pelaksanaan Sheet Pile (Sumber: Overview Proyek Tol Yogyakarta-Solo) .....              | 3  |
| Gambar 2. 1 Komponen Tanah .....                                                                           | 11 |
| Gambar 2. 2 Batas Atterberg .....                                                                          | 16 |
| Gambar 2. 3 Potongan <i>Bored Pile</i> .....                                                               | 18 |
| Gambar 2. 4 <i>Pile Cap</i> .....                                                                          | 18 |
| Gambar 2. 5 Gambar Kemiringan Lereng.....                                                                  | 19 |
| Gambar 2. 6 Keadaan Lereng saat Terjadi Longsor.....                                                       | 20 |
| Gambar 2. 7 Kelongsoran Rotasi .....                                                                       | 21 |
| Gambar 2. 8 Kelongsoran Translasi .....                                                                    | 21 |
| Gambar 2. 9 Kriteria Kegagalan <i>Mohr Coulomb</i> .....                                                   | 23 |
| Gambar 2. 10 Tekanan Tanah Lateral Aktif .....                                                             | 24 |
| Gambar 2. 11 Tekanan Tanah Lateral Pasif.....                                                              | 24 |
| Gambar 2. 12 Alat <i>Split Bareel Sampler</i> .....                                                        | 25 |
| Gambar 2. 13 Dinding Penahan Tanah <i>Steel Sheet Pile</i> .....                                           | 30 |
| Gambar 2. 14 Profil U- <i>Sheet Pile</i> .....                                                             | 32 |
| Gambar 2. 15 Model <i>Plane-Strain</i> .....                                                               | 34 |
| Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian (Sumber: <i>Google Earth</i> 2024).....                                      | 36 |
| Gambar 3. 2 Situasi Lokasi Galian dengan Dinding Penahan <i>Steel Sheet Pile</i> ....                      | 36 |
| Gambar 3. 3 <i>Shop Drawing</i> Rencana <i>Steel Sheet Pile</i> .....                                      | 38 |
| Gambar 3. 4 Tampilan Awal Plaxis 2D .....                                                                  | 38 |
| Gambar 3. 5 Diagram Alur Penelitian.....                                                                   | 39 |
| Gambar 4. 1 Gambar Shop Drawing Pekerjaan <i>Steel Sheet Pile</i> .....                                    | 40 |
| Gambar 4. 2 Pengeboran fondasi <i>Bored Pile</i> .....                                                     | 41 |
| Gambar 4. 3 Pekerjaan <i>marking area</i> pancang .....                                                    | 42 |
| Gambar 4. 4 Proses Pancang <i>Steel Sheet Pile</i> .....                                                   | 43 |
| Gambar 4. 5. Pekerjaan Galian .....                                                                        | 44 |

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4. 6 Pekerjaan Tulangan dan Pengecoran <i>Pile Cap</i> .....         | 44 |
| Gambar 4. 7 Pekerjaan tulangan dan pengecoran kolom.....                    | 45 |
| Gambar 4. 8 Pekerjaan Timbunan Galian <i>Pile Cap</i> .....                 | 46 |
| Gambar 4. 9 Pekerjaan Pencabutan <i>Steel Sheet Pile</i> .....              | 46 |
| Gambar 4. 10 Lokasi Penyelidikan Tanah .....                                | 47 |
| Gambar 4. 11 Tekanan Tanah.....                                             | 50 |
| Gambar 4. 12 Peta Zonasi Gempa Indonesia.....                               | 53 |
| Gambar 4. 13 Nilai Spektral Percepatan Gempa Sleman .....                   | 53 |
| Gambar 4. 14 Spesifikasi <i>Steel Sheet Pile</i> .....                      | 54 |
| Gambar 4. 15 Kondisi Lereng Eksisting tanpa Perkuatan .....                 | 59 |
| Gambar 4. 16 Geometri Galian .....                                          | 60 |
| Gambar 4. 17 Hasil <i>Modeling</i> Tahapan Kondisi Awal.....                | 61 |
| Gambar 4. 18 Hasil <i>Modeling</i> Tahapan <i>Steel Sheet Pile</i> .....    | 62 |
| Gambar 4. 19 Hasil <i>Modeling</i> Tahapan Galian 1 .....                   | 62 |
| Gambar 4. 20 Hasil <i>Modeling</i> Tahapan Galian 2 .....                   | 63 |
| Gambar 4. 21 Hasil <i>Modeling</i> Tahapan Galian 3 .....                   | 63 |
| Gambar 4. 22 Hasil <i>Modeling</i> Tahapan Galian 4 .....                   | 64 |
| Gambar 4. 23 Hasil <i>Modeling</i> Tahapan Galian 5 .....                   | 64 |
| Gambar 4. 24 Hasil <i>Modeling</i> Tahapan Galian 6 .....                   | 65 |
| Gambar 4. 25 Hasil <i>Modeling</i> Tahapan Galian 7 .....                   | 65 |
| Gambar 4. 26 Hasil <i>Modeling</i> Tahapan Galian 8 .....                   | 66 |
| Gambar 4. 27 Hasil <i>Modeling</i> Tahapan Galian 8 .....                   | 66 |
| Gambar 4. 28 Hasil <i>Modeling</i> Tahapan Galian 10 .....                  | 67 |
| Gambar 4. 29 Hasil <i>Modeling</i> Tahapan Pembanan <i>Pile Cap</i> .....   | 67 |
| Gambar 4. 30 <i>Safety Analysis Msf</i> Fase <i>Ultimate Load</i> .....     | 68 |
| Gambar 4. 31 <i>Total Displacement</i> Fase <i>Ultimate Load</i> .....      | 69 |
| Gambar 4. 32 Grafik <i>Displacement Steel Sheet Pile</i> .....              | 70 |
| Gambar 4. 33 Koordinat Titik <i>Steel Sheet Pile</i> .....                  | 79 |
| Gambar 4. 34 Perpindahahan <i>Steel Sheet Pile</i> Aktual.....              | 80 |
| Gambar 4. 35 Grafik Perbandingan Parameter Pemodelan .....                  | 83 |
| Gambar 4. 36 Grafik Perbandingan <i>Displacement Steel Sheet Pile</i> ..... | 86 |

Gambar 4. 37 Grafik Perbandingan *Safety Factor* ..... 86

## DAFTAR TABEL

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2. 1 Sistem Klasifikasi Metode AASHTO.....                                   | 10 |
| Tabel 2. 2 Berat Jenis Tanah.....                                                  | 12 |
| Tabel 2. 3 Koefisien Permeabilitas berdasarkan Klasifikasi Tanah .....             | 13 |
| Tabel 2. 4 Kohesi Lempung dari N-SPT .....                                         | 14 |
| Tabel 2. 5 Sudut Gesek Dalam ( $\phi$ ) untuk tanah pasir .....                    | 14 |
| Tabel 2. 6 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah .....                         | 14 |
| Tabel 2. 7 Rentang Nilai <i>Poisson's ratio</i> ( $\nu$ ) .....                    | 15 |
| Tabel 2. 8 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah.....                           | 17 |
| Tabel 2. 9 Values of minimum <i>safety factors</i> .....                           | 19 |
| Tabel 2. 10 Tabel Konsistensi Tanah Non-Kohesif dengan N-SPT .....                 | 26 |
| Tabel 2. 11 Tabel Ketentuan Klasifikasi Kelas Beban .....                          | 28 |
| Tabel 2. 12 Faktor Amplifikasi untuk PGA .....                                     | 29 |
| Tabel 2. 13 Brosur Spesifikasi <i>Steel Sheet Pile</i> .....                       | 33 |
| Tabel 4. 1 Analisis Data <i>Borehole</i> titik P46 STA 54+739                      | 48 |
| Tabel 4. 2 Analisis <i>Index Properties</i> Sampel Tanah.....                      | 49 |
| Tabel 4. 3 Analisis <i>Grain Size</i> .....                                        | 49 |
| Tabel 4. 4 Analisis <i>Engineering Properties</i> .....                            | 49 |
| Tabel 4. 5 Beban <i>Pile Cap</i> .....                                             | 50 |
| Tabel 4. 6 Beban <i>Bored Pile</i> .....                                           | 51 |
| Tabel 4. 7 Beban Kerja.....                                                        | 51 |
| Tabel 4. 8 Spesifikasi <i>Steel Sheet Pile N-SSPIIIA</i> .....                     | 55 |
| Tabel 4. 9 Rekapitulasi Parameter Tanah .....                                      | 57 |
| Tabel 4. 10 Tahapan Fase Konstruksi Galian <i>Pile Cap</i> tanpa Perkuatan .....   | 58 |
| Tabel 4. 11 Output <i>Displacement Steel Sheet Pile</i> .....                      | 72 |
| Tabel 4. 12 Tabel Titik Koordinat <i>Steel Sheet Pile</i> .....                    | 80 |
| Tabel 4. 13 Hasil Evaluasi Parameter Pemodelan.....                                | 82 |
| Tabel 4. 14 <i>Summary</i> Hasil Evaluasi Stabilitas <i>Steel Sheet Pile</i> ..... | 84 |

## DAFTAR SIMBOL

|                  |   |                                       |
|------------------|---|---------------------------------------|
| PL               | = | Batas plastis                         |
| PI               | = | Indeks plastis                        |
| Np               | = | Non plastis                           |
| LL               | = | Batas cair                            |
| $\gamma_d$       | = | Berat volume kering                   |
| ws               | = | Berat butiran                         |
| v                | = | Volume total tanah                    |
| $\gamma_{unsat}$ | = | Berat volume tanah kering sempurna    |
| $\gamma_w$       | = | Berat volume air                      |
| Gs               | = | Berat jenis air                       |
| e                | = | Angka pori                            |
| $\gamma_s$       | = | Berat volume butiran padat            |
| ws               | = | Berat butiran padat                   |
| Vs               | = | Volume butiran padat                  |
| c                | = | Kohesi                                |
| $\phi$           | = | Sudut Gesek dalam                     |
| E                | = | Modulus elastisitas                   |
| v                | = | <i>Poisson's ratio</i>                |
| $\tau$           | = | Kuat Geser (kn/ M <sup>2</sup> )      |
| c                | = | Kohesi tanah (kn/ M <sup>2</sup> )    |
| $\sigma$         | = | Tegangan normal (kn/ M <sup>2</sup> ) |
| $\phi$           | = | Sudut gesek dalam (derajat)           |
| $\psi$           | = | Sudut dilatasi                        |
| k                | = | Koefisien permeabilitas               |
| Wn               | = | Kadar air                             |
| G                | = | <i>Gravel</i>                         |
| S                | = | <i>Sand</i>                           |
| S & Cl           | = | <i>Silt and clay</i>                  |

|            |   |                                           |
|------------|---|-------------------------------------------|
| $q$        | = | Beban                                     |
| $E_{50}$   | = | Kekuatan pembebanan triaksial             |
| $E_{ur}$   | = | Pembebanan triaksial elastis              |
| $E_{oed}$  | = | Kekuatan pembebanan <i>oedometer</i>      |
| MC         | = | <i>Mohr-coulomb</i>                       |
| $K_p$      | = | Tekanan tanah pasif                       |
| $K_0$      | = | Tekanan tanah diam                        |
| $K_a$      | = | Tekanan tanah aktif                       |
| $Pa$       | = | Koefisien tanah aktif                     |
| $Pp$       | = | Tekanan tanah pasif                       |
| $\Delta x$ | = | Pergeseran lateral                        |
| PGA        | = | Nilai percepatan puncak                   |
| FPGA       | = | Faktor implikasi pga                      |
| PGAM       | = | Percepatan puncak dengan faktor implikasi |
| $K_h$      | = | Koefisien gempa horizontal                |
| $Pa$       | = | Koefisien tanah aktif                     |
| $Pp$       | = | Tekanan tanah pasif                       |
| $W$        | = | Modulus penampang                         |
| $EA$       | = | Kekakuan aksial                           |
| $EI$       | = | Kekakuan lentur                           |
| $H$        | = | Kedalaman                                 |
| COL        | = | <i>Cut off level</i>                      |
| COP        | = | <i>Cut off pile</i>                       |

## **BAB 1**

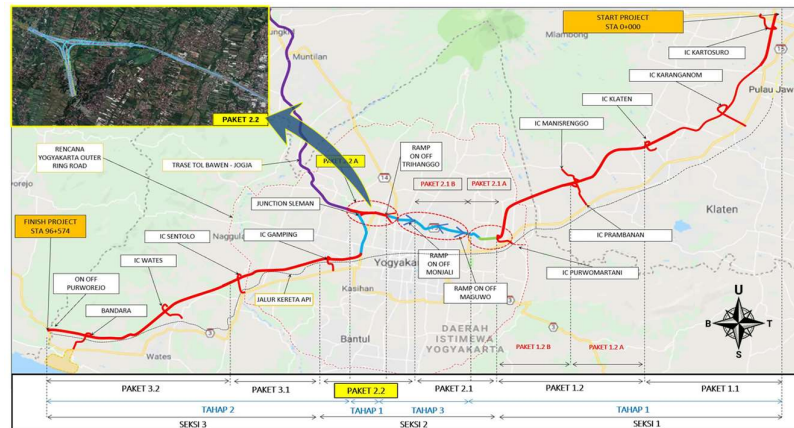
### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Pembangunan infrastruktur jalan merupakan salah satu proyek strategis yang dilaksanakan oleh pemerintah guna meningkatkan kualitas infrastruktur transportasi di Indonesia. Pembangunan ini bertujuan untuk menciptakan akses jalan tol yang menghubungkan antar daerah, aksesibilitas yang lebih baik melalui jalan tol diharapkan dapat memperlancar distribusi barang dan jasa, meningkatkan daya saing, serta mempercepat pertumbuhan ekonomi di berbagai daerah.

Kota Istimewa Yogyakarta merupakan kota dengan mobilitas dan konektivitas antar wilayah yang tinggi. Terletak di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY), Jogja memiliki peran penting sebagai salah satu tujuan wisata utama di Indonesia. Dengan adanya pembangunan jalan tol yang melintasi Yogyakarta-Solo, efisiensi perjalanan bagi pendatang atau wisatawan yang berkunjung ke Yogyakarta dan Solo semakin meningkat. Akses yang lebih cepat dan mudah diharapkan dapat mendukung sektor pariwisata serta meningkatkan kedatangan wisatawan domestik maupun mancanegara.

Proyek pembangunan Jalan Tol Yogyakarta-Solo merupakan bagian dari inisiatif proyek strategis nasional yang bertujuan untuk meningkatkan aksesibilitas dan efisiensi lalu lintas di wilayah Yogyakarta dan sekitarnya. Jalan tol yang menghubungkan kota Yogyakarta, Solo, dan Bandara Internasional Yogyakarta (NYIA) Kulon Progo diharapkan dapat memperlancar perjalanan antar daerah, mengurangi kemacetan, dan mempercepat distribusi barang. Selain itu, pembangunan tol ini diharapkan dapat mendukung sektor pariwisata dengan mempercepat pergerakan wisatawan, serta memberikan kontribusi terhadap perkembangan ekonomi di kawasan Yogyakarta, Solo, dan Semarang.



Gambar 1. 1 *Site Plan* Jalan Tol Yogyakarta-Solo

(Sumber: Overview Proyek Tol Yogyakarta-Solo)

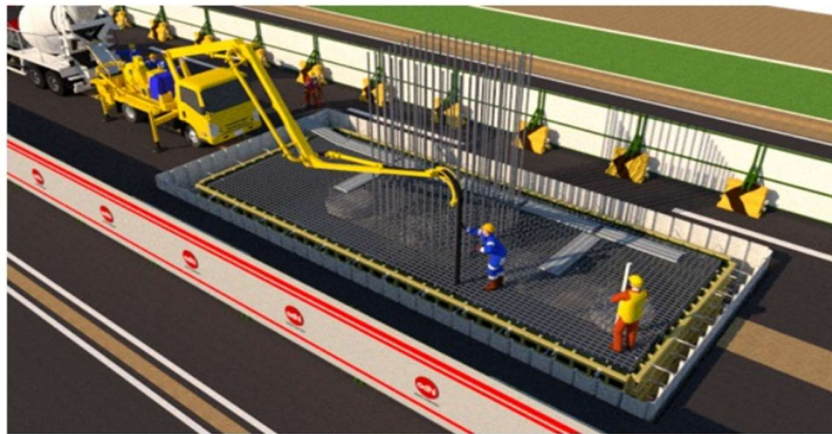
Proyek pembangunan Jalan Tol Yogyakarta-Solo NYIA Kulon Progo Seksi II Paket 2.2 (STA 54+600 s.d STA 57+839), Ramp On dan Off Trihanggo, serta Junction Sleman) pada Gambar 1. 1 dikelola oleh Jasa Marga dan dilaksanakan oleh PT Adhi Karya Persero Tbk. Pekerjaan mencakup pembangunan jalan tol dengan panjang 3.239 km, meliputi pekerjaan pada ruas jalan dari Monjali - Gamping, Yogyakarta. Dalam paket pekerjaan yang dilaksanakan meliputi pembangunan jalan seperti, simpang susun, jalan layang, jembatan, struktur timbunan, (*frontage*) jalan akses dengan *box culvert*, dan pekerjaan hidrologi. Tipe jalan yang dibangun terdiri dari jalan *at-grade* dan *elevated*. Jalan *elevated* dibangun di atas Jalan Ringroad hingga Desa Cebongan, sedangkan jalan *at-grade* terletak di wilayah Desa Cebongan pada Gambar 1. 2 *Site Plan* Titik P46 STA 54+739.



Gambar 1. 2 *Site Plan* Titik P46 STA 54+739

(Sumber: Google Earth 2024)

Dalam pelaksanaan konstruksi, menggunakan fondasi *bored pile* dengan kedalaman rata-rata variasi titik sekitar 30 meter dengan diameter 1,2 meter. Tantangan utama pada pekerjaan *elevated main road* yang berada di atas Jalan Ringroad adalah terbatasnya akses area kerja di tengah jalan dan beban lalu lintas. Kondisi ini memberikan pengaruh pada metode pelaksanaan struktur fondasi, yang dapat menyebabkan kelongsoran saat pekerjaan galian dan pengecoran *pile cap*. *Pile cap* yang digunakan memiliki dimensi tinggi 3 meter dengan ukuran 20,5 x 8 meter pada titik *main road* P46 STA 54+739 yang memiliki akses area kerja terbatas pada Gambar 1. 3.



Gambar 1. 3 Metode Pelaksanaan Sheet Pile

(Sumber: Overview Proyek Tol Yogyakarta-Solo)

Metode yang direncanakan untuk mengatasi potensi longsor pada galian *pile cap* sedalam 5 meter adalah dengan menggunakan *sheet pile* sebagai penahan sementara saat pengecoran *pile cap*. Jenis *sheet pile* yang digunakan adalah *steel sheet pile* dengan profil U, dengan dimensi panjang 12 meter yang akan dipancang hingga kedalaman 10 meter di bawah permukaan tanah eksisting. Pemancangan hingga kedalaman ini berdasar pada hasil penyelidikan tanah dengan *standart penetretion test* yang menunjukkan lapisan tanah keras berada pada kedalaman 10 meter, sehingga pemancangan dilakukan hingga mencapai lapisan tersebut untuk perkuatan kestabilan lereng. Selain itu, penggunaan *steel sheet pile* menjadi solusi efektif pada area kerja yang terbatas, karena metode ini tidak membutuhkan ruang kerja yang luas. Penggunaan metode ini diharapkan dapat meminimalkan risiko

kelongsoran dan mendukung kelancaran proses pengecoran *pile cap*, sehingga pelaksanaan proyek dapat berjalan dengan aman dan efisien.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik tanah di lokasi proyek terutama pada lereng galian *pile cap main road* titik P46 STA 54+739 ?
2. Berapa angka *safety factor* untuk memastikan stabilitas lereng *pile cap* yang diperkuat dengan *steel sheet pile*, dengan mempertimbangkan beban eksternal pada area kerja proyek?
3. Berapa besar potensi terjadinya pergeseran *steel sheet pile* yang digunakan sebagai penahan sementara?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi dan menganalisis karakteristik kondisi tanah di lokasi proyek, khususnya pada area galian tanah *pile cap*.
2. Melakukan evaluasi hasil angka *safety factor* terhadap stabilitas lereng *pile cap* dengan perkuatan menggunakan *steel sheet pile*, mempertimbangkan pengaruh faktor beban yang bekerja di lokasi proyek.
3. Mengidentifikasi potensi pergeseran *steel sheet pile* yang digunakan sebagai penahan sementara

## 1.4 Batasan Masalah

1. Analisis Stabilitas lereng yang dilakukan merupakan hasil evaluasi menggunakan FEM 2D
2. *Steel sheet pile* sebagai solusi perkuatan sementara untuk penahan lereng *pile cap*, tanpa membahas alternatif material lain atau metode lain yang digunakan dalam pelaksanaan penanganan longsor.
3. Data yang digunakan untuk analisis hanya berdasarkan informasi yang disediakan oleh PT Adhi Karya.

4. Tidak mempertimbangkan beban dinamis lalu lintas di Jalan Ringroad, sehingga evaluasi dilakukan dalam kondisi statis
5. Menggunakan data yang berdasarkan kondisi lapangan aktual titik tinjauan P46 tanpa melakukan perbandingan dengan titik tinjau lain.
6. Penelitian ini tidak membandingkan alternatif kedalaman *sheet pile* dalam konteks desain atau kinerja.
7. Penelitian ini tidak membandingkan tipe *sheet pile* yang digunakan dalam konteks desain atau kinerja.
8. Penelitian tidak memperhitungkan potensi kerusakan pada struktur sekitar lokasi, seperti fondasi *bored pile*, *pile cap*, ataupun *pavement jalan*, yang disebabkan oleh perubahan tanah akibat pemancangan dan pencabutan *sheet pile*

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang diajukan sebagai proyek akhir dengan lokasi penelitian di Jalan Tol Yogyakarta-Solo NYIA Kulon Progo Seksi II Paket 2.2 (STA 54+600 s.d STA 57+839), sebagai berikut:

1. Mengembangkan pengetahuan mengenai metode perkuatan tanah pada tanah lereng metode perkuatan tanah yang efektif untuk diterapkan pada tanah lereng, dengan tujuan untuk meningkatkan kestabilan dan mengurangi potensi longsor pada tanah tersebut.
2. Menambah Pengetahuan tentang pengoperasian program FEM 2D dalam analisis perkuatan tanah pada lereng, memberikan wawasan baru dalam penggunaan metode elemen hingga untuk melakukan analisis perkuatan tanah pada lereng, sehingga memudahkan dalam proses perancangan dan evaluasi stabilitas tanah.
3. Mengetahui tahapan konstruksi fondasi di lapangan dan memetakan tahapan-tahapan yang terlibat dalam pelaksanaan konstruksi fondasi di lapangan,

4. Mampu memodelkan data dengan FEM 2D untuk mengetahui faktor keamanan dan penurunan tanah, serta memahami cara memodelkan data tanah guna mengetahui faktor keamanan dan memprediksi penurunan tanah yang mungkin terjadi.
5. Memberikan pemahaman lebih dalam tentang penerapan *steel sheet pile* sebagai metode perkuatan tanah pada kondisi area kerja terbatas dengan beban lalu lintas tinggi, yang menjadi tantangan tersendiri dalam pekerjaan konstruksi di lapangan.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Penulisan sistematika penulisan proyek akhir ini tersusun dari 6 bab dengan sistematika sebagai berikut:

a. Bab 1 Pendahuluan

Bab 1 Pendahuluan terdiri atas 6 sub-bab, yaitu berisi latar belakang yang berisikan deskripsi umum proyek dan latar belakang topik, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika dari penulisan proyek akhir

b. Bab 2 Tinjauan Pustaka Dan Landasan Teori

Bab 2 Tinjauan Pustaka Dan Landasan Teori menyajikan referensi beberapa teori dasar, pendapat, atau penemuan yang disajikan dengan sistematis yang berkaitan dengan topik proyek akhir. Bab ini juga memberikan uraian peraturan, penjelasan karakteristik, dan metode evaluasi

c. Bab 3 Metodologi

Bab 3 Metodologi menyajikan menjelaskan alur pembahasan yang akan diangkat dari topik proyek akhir, menyajikan data yang akan diolah, diagram alir penelitian, dan rancangan penelitian.

d. Bab 4 Hasil Dan Pembahasan

Bab 4 Hasil Dan Pembahasan menyajikan hasil dan pembahasan penelitian yang telah dilakukan, menyajikan hasil yang diperoleh berdasarkan data yang telah dikumpulkan.

e. Bab 5 Kesimpulan Dan Saran

Bab 5 Kesimpulan Dan Saran menyajikan kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian data dan saran dari hasil dan pembahasan dari penelitian

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Konstruksi Jalan**

Infrastruktur jalan merupakan program pemerintah untuk peningkatan infrastruktur menuju Indonesia Emas yang merupakan visi yang berdasar dari Pembangunan nasional. pembangunan infrastruktur ini memiliki tujuan untuk peningkatan kesejahteraan masyarakat. Pembangunan ini memperluas jaringan transportasi yang menghubungkan suatu wilayah dengan wilayah lainnya, dengan meningkatnya infrastruktur transportasi.

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel (Peraturan Pemerintah Indonesia Nomor 38 Thn 2004, 2004).

Konstruksi jalan tol memiliki tujuan untuk memberikan efisiensi kepada pengguna transportasi, dengan mempercepat perjalanan, mempersingkat waktu, mengurangi kemacetan, dan memberikan kenyamanan bagi pengendara. Jalan tol merupakan akses jalan yang dikelola oleh pihak swasta atau negara yang membebaskan biaya kepada pengendara jalan tol. .

#### **2.2 Tanah**

Tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Di antara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori (*void space*) yang berisi air dan atau udara. Ikatan yang lemah antara partikel-partikel tanah disebabkan oleh pengaruh karbonat atau oksida yang tersenyawa di antara partikel-partikel tersebut, atau dapat juga disebabkan oleh adanya material organik. (Craig & Susilo, 1989)

Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es,

manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. (Hardiyatmo, 2002).

### **2.2.1 Klasifikasi Tanah**

Klasifikasi tanah menentukan sifat yang dimiliki oleh tanah, sifat ini merupakan suatu hasil yang ditentukan berdasarkan hasil penyelidikan tanah yang dapat digunakan sebagai dasar evaluasi yang nantinya dapat digunakan dalam mengatasi suatu permasalahan tanah.

#### **1. Sistem Klasifikasi AASHTO**

Klasifikasi tanah yang dapat digunakan dalam penggunaannya mengikuti sistem klasifikasi dari AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*). Sistem ini digunakan dalam perencanaan yang ditujukan dalam kualitas tanah. AASHTO membagi klasifikasi menjadi kelompok, A-1 sampai A-8 yang dalam setiap kelompok tanah dievaluasi terhadap indeks dalam kelompoknya. Evaluasi tanah dengan menggunakan AASHTO mengevaluasi dengan memperhitungkan nilai GI (*group index*) yang merupakan indikator untuk mengetahui ketepatan dalam penggunaan tanah, dengan persamaan apabila nilai indeks kelompok (GI) memiliki nilai yang tinggi maka semakin berkurang ketepatan dalam penggunaan tanahnya. Klasifikasi tanah menurut Sistem klasifikasi AASHTO secara garis besar dibagi menjadi kelompok A-1 sampai dengan A-3 di klasifikasikan sebagai tanah granuler dan kelompok A-4 sampai dengan A-7 di klasifikasikan sebagai tanah lempung lanau seperti pada Tabel 2. 1.

Tabel 2. 1 Sistem Klasifikasi Metode AASHTO

| Klasifikasi Umum                         | Tanah berbutir<br>(35 % atau kurang dari seluruh contoh tanah<br>lolos ayakan No. 200) |      |                |                                                    |       |       |       | Tanah lanau - lempung<br>(lebih dari 35 % dari seluruh contoh<br>tanah lolos ayakan No. 200) |      |                  |                   |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------|----------------|----------------------------------------------------|-------|-------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------|-------------------|
|                                          | A-1                                                                                    |      | A-3            | A-2                                                |       |       |       | A-4                                                                                          | A-5  | A-6              | A-7               |
| Klasifikasi Kelompok                     | A-1a                                                                                   | A-1b |                | A-2-4                                              | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 |                                                                                              |      |                  | A-7-5*<br>A-7-6** |
| Analisis ayakan<br>(% lolos)             |                                                                                        |      |                |                                                    |       |       |       |                                                                                              |      |                  |                   |
| No. 10                                   | ≤ 50                                                                                   | ---  | ---            | ---                                                | ---   | ---   | ---   | ---                                                                                          | ---  | ---              | ---               |
| No. 40                                   | ≤ 30                                                                                   | ≤ 50 | ≥ 51           | ---                                                | ---   | ---   | ---   | ---                                                                                          | ---  | ---              | ---               |
| No. 200                                  | ≤ 15                                                                                   | ≤ 25 | ≤ 10           | ≤ 35                                               | ≤ 35  | ≤ 35  | ≤ 35  | ≥ 36                                                                                         | ≥ 36 | ≥ 36             | ≥ 36              |
| Sifat fraksi yang lolos<br>ayakan No. 40 |                                                                                        |      |                |                                                    |       |       |       |                                                                                              |      |                  |                   |
| Batas Cair (LL)                          | ---                                                                                    |      | ---            | ≤ 40                                               | ≥ 41  | ≤ 40  | ≥ 41  | ≤ 40                                                                                         | ≥ 40 | ≤ 40             | ≥ 41              |
| Indek Plastisitas (PI)                   | ≤ 6                                                                                    |      | NP             | ≤ 10                                               | ≤ 10  | ≥ 11  | ≥ 11  | ≤ 10                                                                                         | ≤ 10 | ≥ 11             | ≥ 11              |
| Tipe material yang<br>paling dominan     | Batu pecah,<br>kerikil dan pasir                                                       |      | Pasir<br>halus | Kerikil dan pasir yang berlanau<br>atau berlempung |       |       |       | Tanah berlanau                                                                               |      | Tanah berlempung |                   |
| Penilaian sebagai<br>bahan tanah dasar   | Baik sekali sampai baik                                                                |      |                |                                                    |       |       |       | Biasa sampai jelek                                                                           |      |                  |                   |

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

Klasifikasi dalam A-7 dibagi dalam kelompok, dengan kelompok A-7-5 terbagi atas A-7-6 bergantung dengan batas plastisnya.

Untuk

PL = Batas Plastis

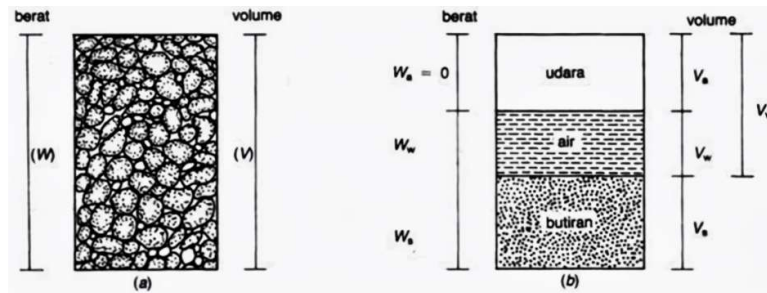
Np = Non Plastis

Klasifikasi A-7-5 dengan  $PL > 30$  dan klasifikasi A-7-6 dengan  $PL < 30$ . Perbedaan utama dalam klasifikasi ini ada pada batas plastisnya (PL) yang relatif terhadap dengan batas cair (LL).

## 2.2.2 Komponen tanah

Tanah adalah material yang terdiri dari agregat atau butiran mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dari bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai zat cair juga gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. (Das, 1995)

Tanah memiliki tiga fase elemen yang berlapis dengan udara, air, dan butiran padat pada Gambar 2. 1. Udara dalam fase elemen tanah mengisi ruang pori yang tidak tersisi oleh air. Sedangkan air mengisi sebagian ruang pori diantara butiran padat, jumlah air dalam komposisi tanah dapat mempengaruhi sifat tanah. Butiran padat merupakan partikel mineral yang membentuk struktur dasar tanah yang dapat mempengaruhi perilaku tanah.



Gambar 2. 1 Komponen Tanah

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

Dengan perbandingan tersebut didapatkan perbandingan persamaan seperti berikut:

1. Berat volume kering

$$\gamma_d = \frac{ws}{v} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$\gamma_d$  = Berat Volume Kering

$ws$  = Berat Butiran

$v$  = Volume Total Tanah

2. Berat volume kering sempurna

Berat volume kering sempurna merupakan volume berat volume tanah dalam keadaan kering sempurna

$$\gamma_{\text{unsat}} = \frac{\gamma_w \cdot G_s}{1 + e} \quad (2.2)$$

Keterangan:

$\gamma_{\text{unsat}}$  = Berat Volume Tanah Kering Sempurna

$\gamma_w$  = Berat Volume Air

$G_s$  = Berat Jenis Air

$e$  = Angka Pori

3. Berat Volume butiran padat

Berat volume butiran padat merupakan perbandingan antara berat butiran padat dengan volume butiran padat.

$$\gamma_s = \frac{ws}{V_s} \quad (2.3)$$

Keterangan:

$\gamma_s$  = Berat Volume Butiran Padat

$w_s$  = Berat Butiran Padat

$V_s$  = Volume Butiran Padat

#### 4. Berat Jenis Tanah

Berat jenis (*specific gravity*) tanah atau ( $G_s$ ) merupakan perbandingan antara berat volume butiran padat ( $\gamma_s$ ) dengan berat volume air ( $\gamma_w$ ) dengan klasifikasi jenis tanah dan berat jenis pada Tabel 2. 2

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2.4)$$

Keterangan:

$G_s$  = Berat Jenis

$\gamma_s$  = Berat Volume Padat

$\gamma_w$  = Berat Volume Air

Tabel 2. 2 Berat Jenis Tanah

| Jenis Tanah         | Berat Jenis |
|---------------------|-------------|
| Kerikil             | 0,4 – 0,5   |
| Pasir               | 0,1 – 0,3   |
| Lanau Tak Organik   | 0,2 – 0,3   |
| Lempung Organik     | 0,3 – 3,5   |
| Lempung Tak Organik | 0,2 – 0,4   |
| Humus               | 0,15        |
| Gambut              | 0,25        |

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

#### 5. Koefisien Permeabilitas

Permeabilitas tanah merupakan sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah. Tanah memiliki pori-pori yang saling berhubungan satu sama lain, hubungan ini memungkinkan air dapat mengalir dari titik tinggi ke rendah. Aliran yang terjadi didalam tanah seperti aliran *laminer* atau *turbulen*, sifat ini bergantung dengan jenis tanah, ukuran dan bentuk butiran tanah, kerapatan massa tanah, dan bentuk geometri rongga pori tanah. Selain itu, temperatur juga mempengaruhi

aliran ini berdasarkan faktor kekentalan dan tegangan pada permukaan tanah. Tabel 2. 3 menunjukkan nilai koefisien permeabilitas berdasarkan klasifikasi jenis tanah, setiap jenis tanah memiliki rentang permeabilitas berdasarkan tekstur, gradasi, dan plastisitasnya. Umumnya, kerikil dan pasir memiliki permeabilitas tinggi, sementara lanau, lempung, dan tanah organik memiliki permeabilitas yang lebih rendah.

Tabel 2. 3 Koefisien Permeabilitas berdasarkan Klasifikasi Tanah

| <b>Tipe Tanah</b> | <b>Deskripsi</b>                      | <b>Simbol</b> | <b>Permeabilitas</b> |
|-------------------|---------------------------------------|---------------|----------------------|
| Kerikil           | Gradasi baik                          | GW            | $10^{-3} - 10^{-1}$  |
|                   | Gradasi buruk                         | GP            | $10^{-1} - 10$       |
|                   | Lanau                                 | GM            | $10^{-7} - 10^{-5}$  |
|                   | Lempung                               | GC            | $10^{-8} - 10^{-6}$  |
| Pasir             | Gradasi baik                          | SW            | $10^{-5} - 10^{-3}$  |
|                   | Gradasi buruk                         | SP            | $10^{-4} - 10^{-2}$  |
|                   | Lanau                                 | SM            | $10^{-7} - 10^{-5}$  |
|                   | Lempung                               | SC            | $10^{-8} - 10^{-6}$  |
| Lanau             | Plastisitas rendah                    | ML            | $10^{-9} - 10^{-7}$  |
|                   | Plastisitas tinggi                    | MH            | $10^{-9} - 10^{-7}$  |
| Lempung           | Plastisitas rendah                    | CL            | $10^{-9} - 10^{-7}$  |
|                   | Plastisitas tinggi                    | CH            | $10^{-10} - 10^{-8}$ |
| Organik           | Lanau lempung Plastisitas rendah      | OL            | $10^{-8} - 10^{-6}$  |
|                   | Lanau lempung plastisitas tinggi      | OH            | $10^{-7} - 10^{-5}$  |
| Gambut            | Tanah dengan kandungan organik tinggi | Pt            | $10^{-6} - 10^{-4}$  |

(Handbook of Geotechnical Investigation and Design Table, Look 2007)

## 6. Kohesi

Kohesi ( $c$ ) merupakan ikatan interaksi antara partikel tanah yang ada, yang menyebabkan partikel saling berikatan satu sama lain (Craig & Susilo, 1989).

Kohesi berkaitan dengan nilai N-SPT untuk menentukan faktor mekanik dan kekuatan tanah, korelasi ini dapat dilihat pada Tabel 2. 4

Tabel 2. 4 Kohesi Lempung dari N-SPT

| Deskripsi    | N-SPT    | Cu (kPa)  |
|--------------|----------|-----------|
| Sangat Lunak | $\leq 2$ | 0 – 12    |
| Lunak        | 2 – 5    | 12 – 25   |
| Sedang       | 5 – 10   | 25 – 50   |
| Kaku         | 10 – 20  | 50 – 100  |
| Sangat kaku  | 20 – 40  | 100 – 200 |
| Keras        | > 40     | >200      |

(Sumber: Buku Mekanika Tanah I, 2018)

#### 7. Sudut Gesek dalam

Sudut Gesek dalam ( $\phi$ ) merupakan faktor yang berpengaruh dalam besar gesekan antara partikel tanah yang mempengaruhi kekuatan dari tanah. Sudut gesek dalam dapat menghitung kekuatan tanah terhadap gesekan seperti pada Tabel 2. 5

Tabel 2. 5 Sudut Gesek Dalam ( $\phi$ ) untuk tanah pasir

| Macam                               | Sudut gesek dalam efektif ( $\phi$ ) |           |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-----------|
|                                     | Tidak padat                          | Padat     |
| Pasir bulat, seragam                | 27°                                  | 35°       |
| Pasir gradasi baik, bentuk bersudur | 33°                                  | 45°       |
| Kerikil berpasir                    | 35°                                  | 50°       |
| Pasir berlumpur                     | 27° – 30°                            | 30° – 34° |

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

#### 8. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas ( $E_s$ ) merupakan parameter yang digunakan dalam menggambarkan kemampuan tanah dalam deformasi elastis akibat adanya gaya. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas, maka semakin kaku tanah dan semakin kecil deformasi yang terjadi. Berikut perkiraan nilai modulus tanah menurut (Bowles, 1977) disajikan pada Tabel 2. 6 berikut.

Tabel 2. 6 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

| Jenis Tanah  | $E_s$ (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------|-----------------------------|
| Lempung      |                             |
| Sangat Lunak | 3 – 30                      |
| Lunak        | 20 – 40                     |

| Jenis Tanah       | Es (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|--------------------------|
| Lempung           |                          |
| Sedang            | 45 – 90                  |
| Keras             | 70 – 200                 |
| Berpasir          | 300 – 425                |
| Pasir             |                          |
| Berlumpur         | 50 – 200                 |
| Tidak Padat       | 100 – 250                |
| Padat             | 500 – 1000               |
| Pasir dan Kerikil |                          |
| Padat             | 800 – 2000               |
| Tidak Padat       | 500 – 1400               |
| Lanau             | 20 – 200                 |
| Loses             | 150 – 600                |
| Cadas             | 1400 – 14000             |

(Sumber: Bowles, 1977)

#### 9. *Poisson's ratio*

*Poisson's ratio* ( $\nu$ ) merupakan perbandingan antara regangan lateral dan aksial tanah yang bekerja. Nilai *Poisson's ratio* dapat digunakan untuk menggambarkan penurunan dan getaran tanah untuk mengetahui resiko deformasi. Rentang variasi nilai *Poisson's ratio* untuk setiap jenis tanah disajikan dalam Tabel 2. 7 berikut.

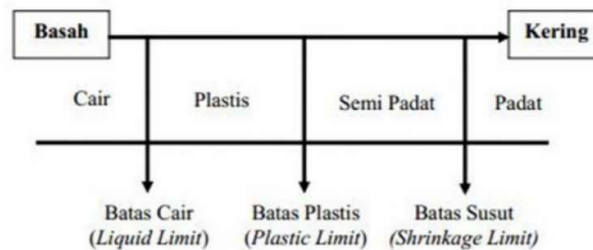
Tabel 2. 7 Rentang Nilai *Poisson's ratio* ( $\nu$ )

| Jenis Tanah       | <i>Poisson's ratio</i> ( $\nu$ ) |
|-------------------|----------------------------------|
| Pasir Lepas       | 0,20 – 0,40                      |
| Pasir Sedang      | 0,25 – 0,40                      |
| Pasir Padat       | 0,30 – 0,45                      |
| Pasir Kelatitanan | 0,20 – 0,40                      |
| Lempung Lunak     | 0,15 – 0,25                      |
| Lempung Sedang    | 0,20 – 0,50                      |

(Sumber: Buku Mekanika Tanah 1, 2018)

### 2.2.3 Batas Tanah

Tanah berbutir halus memiliki sifat plastisitas, sifat plastis tanah sendiri merupakan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume konstan tanpa retak atau remuk (Buku Mektan I, 2002). Pengembangan metode untuk mengetahui batas tanah dijelaskan dalam metode batas-batas *Atterberg*. Batas konsistensi menjelaskan perbandingan batas tanah dari basah sampai kering. Secara garis besar tanah yang memiliki kadar air yang tinggi merupakan tanah dengan konsistensi yang lembek dengan begitu tingginya batas cair mempengaruhi stabilitas dan kekuatan tanah menjadi rendah. Batas konsistensi tanah dibagi menjadi empat kelompok batas, yaitu padat, semi padat, plastis, dan cair, yang ditujukan Gambar 2. 2 *Atterberg*.



Gambar 2. 2 Batas Atterberg

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

Indeks plastis merupakan parameter yang diperlukan dalam geoteknik untuk mengukur rentang kadar air yang dimana tanah masih bersifat plastis. Nilai indeks plastisitas diperoleh dari selisih antara batas cair dan batas plastis seperti persamaan

$$PI = LL - PL \quad (2.5)$$

Keterangan:

$PI$  = Indeks plastis

$LL$  = Batas cair

$PL$  = Batas plastis

PI menyediakan data penting tentang sifat kepastian tanah. Jika nilai PI nya tinggi, tanah tersebut mengandung lebih banyak butiran lempung, yang menunjukkan bahwa tanah tersebut memiliki sifat plastis yang lebih kuat. Sebaliknya, pengurangan kecil kadar air dapat menyebabkan tanah kering dan kehilangan

plastisnya jika PI rendah, seperti pada tanah lanau. Salah satu bagian dari batas Atterberg, serangkaian uji laboratorium yang digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan perubahan sifat mekaniknya terhadap kadar air. Disajikan pada tabel Tabel 2. 8 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

Tabel 2. 8 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

| PI     | Sifat              | Jenis Tanah      | Kohesi           |
|--------|--------------------|------------------|------------------|
| 0      | Non plastis        | Pasir            | Non kohesif      |
| <7     | Plastisitas rendah | Lanau            | Kohesif sebagian |
| 7 – 17 | Plastisitas sedang | Lempung berlanau | Kohesif          |
| >17    | Plastisitas tinggi | Lempung          | Kohesif          |

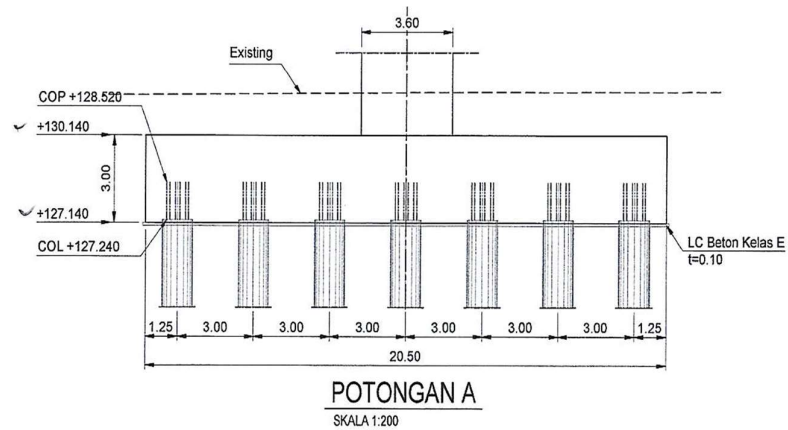
(Hardiyatmo, 2002)

## 2.3 Struktur Bawah

Struktur bawah jembatan adalah bagian struktur yang memiliki fungsi dalam menopang beban dari struktur atas dan menyalurkan ke tanah melalui fondasi. Struktur bawah memiliki bagian bangunan seperti:

### 2.3.1 *Bored Pile*

Fondasi *bored pile* adalah fondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah lebih dahulu (Hardiyatmo, 2010). Pelaksanaan fondasi *bored pile* dilakukan dengan mengebor tanah menggunakan alat berat *drilling rig* dan diberikan pemasangan *temporary casing* memiliki fungsi sebagai penahan dinding lubang bor untuk mencegah kelongsoran lubang bor, kemudian dilanjutkan dengan pemasangan tulangan dan dilakukan pengecoran beton.

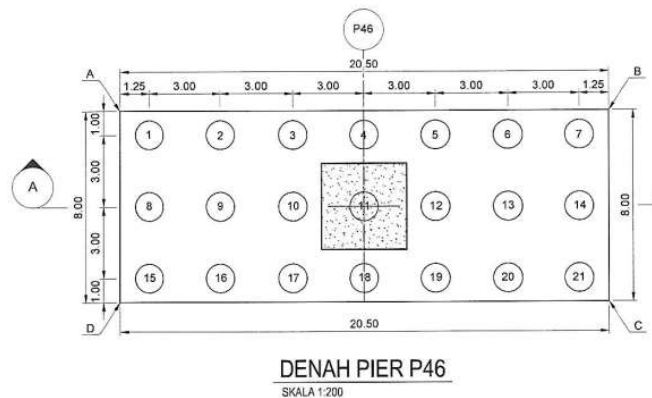


Gambar 2. 3 Potongan *Bored Pile*

(Sumber: Data Proyek Jalan Tol Jogja - Solo Paket 2.2, PT Adhi Karya, 2024)

### 2.3.2 *Pile cap*

Menurut Bowles (1997) *Pile cap* merupakan elemen struktur yang berperan dalam mendistribusikan beban ke semua tiang, meningkatkan stabilitas struktur, memaksimalkan kinerja fondasi. Dimensi *pile cap* memiliki ukuran yang dapat menutup semua titik tiang pancang yang terhubung, serta memberikan ruang yang cukup antara satu tiang dengan tiang lainnya untuk menghindari efek interaksi antar tiang, serta ketebalan *pile cap* ditentukan berdasarkan gaya geser dan momen yang bekerja pada struktur (Bowles, 1997)



Gambar 2. 4 *Pile Cap*

(Sumber: Data Proyek Jalan Tol Jogja - Solo Paket 2.2, PT Adhi Karya, 2024)

## 2.4 Lereng dan kelongsoran

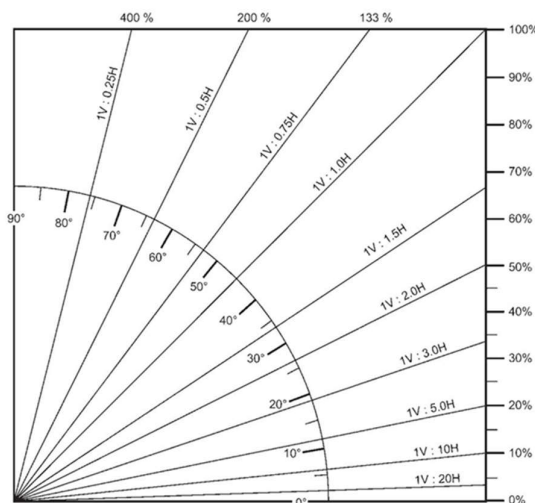
Lereng adalah suatu permukaan tanah miring yang dapat terbentuk secara alami atau buatan yang memiliki kecenderungan resiko untuk mengalami pergerakan tanah akibat gaya gravitasi, tekanan air, dan faktor geoteknik lainnya (Bowles, 1997). Lereng dapat diklasifikasikan berdasarkan *safety factor* dan intensitas longsor seperti pada Tabel 2. 9

Tabel 2. 9 Values of minimum *safety factor*

| <i>Category</i>                               | <i>Safety Factor (SF)</i> |
|-----------------------------------------------|---------------------------|
| <i>Earthworks</i>                             | 1,3 – 1,5                 |
| <i>Earth Retaining Structures, excavation</i> | 1,5 – 2,0                 |
| <i>Foundation</i>                             | 2,0 – 3,0                 |

(Sumber: Terzaghi & Peck, 1987)

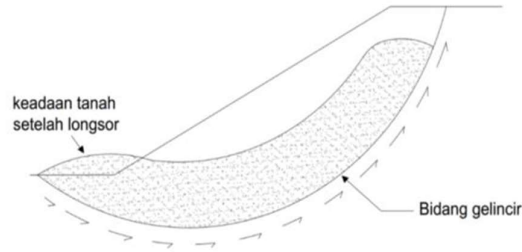
Lereng dengan kemiringan tertentu beresiko mengalami longsor yang terjadi akibat adanya beban yang diterima tanah yang berakibat mendorong tanah ke elevasi yang lebih rendah kebawah. Longsor ini terjadi ketika gaya yang bekerja melebihi gaya tahan di dalam tanah seperti pada Gambar 2. 5 Gambar Kemiringan Lereng



Gambar 2. 5 Gambar Kemiringan Lereng

(Sumber: *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Table*, 2007)

### 2.4.1 Longsor



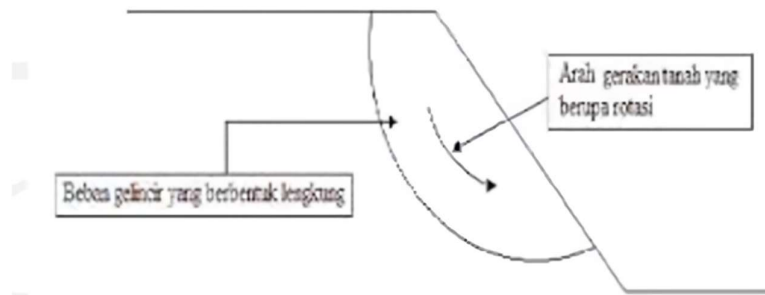
Gambar 2. 6 Keadaan Lereng saat Terjadi Longsor

(Sumber: Terzaghi & Peck, 1987)

Pergerakan tanah terjadi pada suatu bidang gelincir, bidang gelincir merupakan lintasan melengkung yang menjadi jalur peregeseran tanah dari posisi semula seperti pada Gambar 2. 6. Kelongsoran dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, Penyebab longsor dapat terjadi akibat pengaruh dari dalam dan luar. Pengaruh luar dapat mempengaruhi pertambahan gaya geser tetapi tidak diikuti dengan pengaruh kuat geser. Sedangkan pengaruh dalam longsor seperti perubahan kondisi yang terjadi di luar tanah seperti gempa bumi (Terzaghi, 1950). Kelongsoran adalah suatu akibat ketidakstabilan lereng yang menyebabkan terjadinya pergerakan tanah. Hardiyatmo (2012) membuat klasifikasi untuk membedakan jenis kelongsoran yaitu longsor rotasi dan translasi. Jenis kelongsoran dapat dibedakan dari bentuk pergerakan longsor dan akibat longsor. Jenis Kelongsoran menurut (Hardiyatmo, 2012) seperti berikut:

1. Kelongsoran Rotasi

Kelongsoran yang digambarkan dengan pergerakan tanah yang bergerak dalam satu kesatuan di bidang gelincir. Longsor ini membentuk gerakan melengkung ke dalam membentuk pola rotasi. Sering terjadi pada material tanah yang umumnya memiliki karakteri seragam atau sama dan terdapat penggalian di bawah lereng seperti pada Gambar 2. 7.

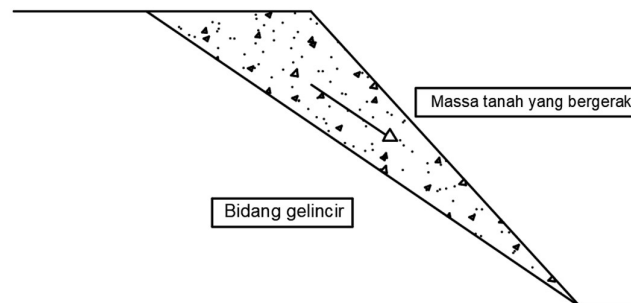


Gambar 2. 7 Kelongsoran Rotasi

(Sumber: Hardiyatmo, 2012)

## 2. Kelongsoran Translasi

Kelongsoran yang digambarkan dengan pergerakan tanah yang bergerak sejajar dengan bidang gelincir. Longsoran ini membentuk gerakan datar dan membentuk bidang yang lurus. Kelongsoran translasi sering terjadi pada tanah berlapis seperti lempung. Hal ini dapat terjadi karena tingginya tekanan air pori pada komponen tanah seperti pada Gambar 2. 8. Kelongsoran translasi terdapat pada lereng dengan kemiringan yang curam.



Gambar 2. 8 Kelongsoran Translasi

(Sumber: Hardiyatmo, 2012)

Kelongsoran pada contohnya tanah berpasir dengan kemiringan curam, dapat direkomendasikan metode untuk mengatasi longsor seperti:

### 1. Konstruksi Dinding Penahan Tanah (DPT)

Dinding penahan tanah memiliki fungsi untuk menahakan tekanan lateral dan mencegah keruntuhan tanah pada lereng yang kurang stabil. Penggunaan DPT

dapat dijadikan alternatif untuk penanganan kelongsora dengan menggunakan jenis dinding penahan tanah yang diperlukan

## 2. Perbaikan geometri lereng

Geometri yang curam dapat membuat tanah lebih stabil, perbaikan ini dapat menggunakan metode terasering, sehingga semakin kecil sudut kemiringan maka gaya tahan lereng akan semakin kuat.

## 3. Pemakuan tanah (*Soil Nailing*)

Metode perkuatan ini termasuk dalam perkuatan kaku yang dapat menahan beban gaya, metode pemakuan tanah biasanya digunakan di zona yang terjal dan memiliki lahan yang luas

## 2.5 Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan (Hardiyatmo, 2002). Faktor yang mempengaruhi kuat geser seperti kohesi dan gesekan antar butiran tanah, kohesi bergantung dengan kepadatan tanah dan gesekan berbanding lurus dengan tegangan normal bidang geser. Gambar 2. 9 membuktikan semakin besar tegangan normal, maka tegangan geser yang dapat ditahan juga meningkat, tergantung pada sifat kohesi dan gesekan dalam tanah. Konsep tersebut dapat dibuktikan dalam Persamaan 2.6.

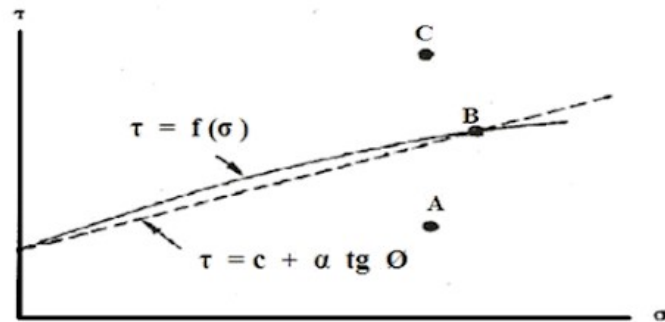
$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (2.6)$$

$\tau$  = Kuat Geser (kN/ m<sup>2</sup>)

$c$  = Kohesi tanah (kN/ m<sup>2</sup>)

$\sigma$  = Tegangan normal (kN/ m<sup>2</sup>)

$\varphi$  = Sudut gesek dalam (derajat)



Gambar 2. 9 Kriteria Kegagalan *Mohr Coulomb*

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

## 2.6 Tekanan Tanah

Menurut (Hardiyatmo, 2003) tekanan tanah lateral merupakan gaya yang dihasilkan akibat dorongan tanah yang berasal dari belakang struktur penahan tanah. Perancangan penahan tanah memerlukan perhitungan analisis tekanan tanah lateral sehingga mengetahui besarnya tekanan lateral pada tanah. Nilai koefisien tekanan tanah dapat dilihat pada Persamaan 2.7

$$K_p > K_0 > K_a \quad (2.7)$$

Keterangan:

$K_p$  = Tekanan Tanah Pasif

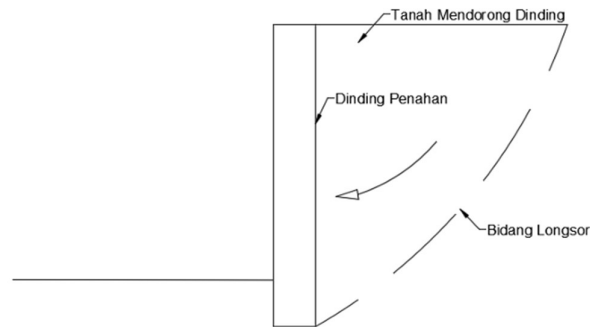
$K_0$  = Tekanan Tanah Diam

$K_a$  = Tekanan Tanah Aktif

### 2.6.1 Tekanan Tanah Lateral Aktif ( $K_a$ )

Tekanan tanah lateral aktif merupakan tekanan yang terjadi pada dinding penahan yang mengalami keluluan atau bergerak menjauhi tanah urugan dibelakangnya pada Gambar 2. 10. Hal ini merupakan penyebab tanah mengalami ekspansi dan daya sehingga tanah bergerak kebawah dan menekan dinding penahannya. Koefisien tekanan tanah lateral aktif merupakan rasio dari arah vertikal dan arah horizontal. Menggunakan Persamaan 2.6. Nilai tekanan tanah dalam kondisi diam lebih besar dibandingkan tekanan tanah aktif, sehingga dapat menyebabkan

ketidakseimbangan pada dinding penahan tanah. Tekanan tanah lateral aktif juga berperan dalam menentukan stabilitas lereng.

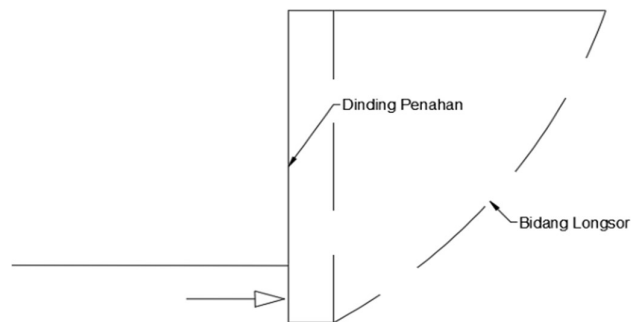


Gambar 2. 10 Tekanan Tanah Lateral Aktif

(Sumber: Hardiyatmo 2003)

## 2.7 Tekanan Tanah Pasif

Tekanan tanah lateral pasif merupakan tekanan yang terjadi pada dinding penahan yang terdorong atau bergerak mendekati tanah urugan di belakangnya pada gambar Gambar 2. 11. Hal ini menyebabkan tanah mengalami pemadatan dan meningkatkan daya dukung tanah, sehingga tanah memberikan gaya perlawanan yang besar terhadap dinding penahan. Koefisien tekanan tanah lateral pasif merupakan rasio antara tekanan dalam arah vertikal dan horizontal. Menggunakan Persamaan 2.6, nilai tekanan tanah dalam kondisi pasif lebih besar dibandingkan tekanan tanah saat diam, sehingga dapat meningkatkan stabilitas dinding penahan tanah. Tekanan tanah lateral pasif juga berperan dalam menentukan ketahanan struktur terhadap gaya eksternal.



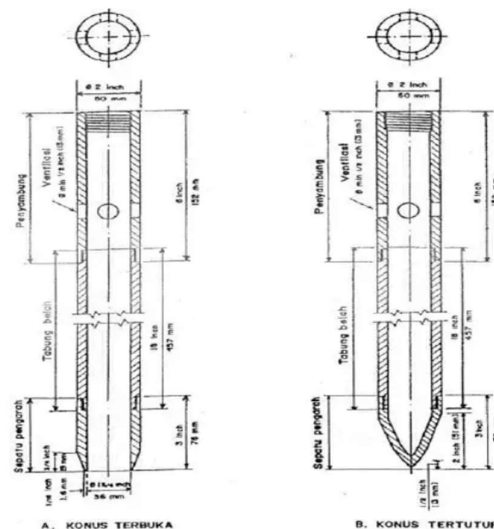
Gambar 2. 11 Tekanan Tanah Lateral Pasif

(Sumber: Hardiyatmo 2003)

## 2.8 Standart Penetration Test (SPT)

*Standart Penetration Test* (SPT) adalah salah satu pengujian untuk mengetahui daya dukung tanah pada setiap kedalaman tanah juga mengetahui sifat rekayasa geoteknik teknik yang ada di bawah permukaan tanah. Pengujian tanah ini dinilai ekonomis dan sering digunakan dalam menguji tanah di Indonesia. Pengujian SPT dilakukan di lapangan dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran yang fungsinya untuk mendapatkan nilai sifat perlawanan dinamik tanah sekaligus dengan pengambilan sampel tanah *undisturb*. Parameter pengujian didapatkan dari banyaknya pukulan yang diberikan dalam penetrasi konus, pukulan ini dapat digunakan dalam mengidentifikasi perlapisan tanah.

Pengujian SPT menggunakan alat *split bareel sampler* yang digunakan dalam pengambilan sampel seperti Gambar 2. 12. Tabung *split bareel sampler* akan dipukul ke dalam tanah, sambil mencatat jumlah pukulan yang diperlukan untuk menanamkan tabung hingga kedalaman 300 milimeter secara vertikal. Uji SPT menggunakan mekanisme beban jatuh dan menggunakan palu dengan berat 63,5 kg yang dijatuhkan berulang dengan konsistensi tanag seperti pada Tabel 2. 10 (SNI 4153, Cara Uji Pengujian Lapangan Dengan SPT, 2008)



Gambar 2. 12 Alat *Split Bareel Sampler*

(Sumber: SNI 4153-2008)

Tabel 2. 10 Tabel Konsistensi Tanah Non-Kohesif dengan N-SPT

| Item          | Simbol | Penilaian Lapangan                                  | SPT<br>N-value | Indeks<br>Kepadatan<br>(%) |
|---------------|--------|-----------------------------------------------------|----------------|----------------------------|
| Sangat Gembur | VL     | Pasak 50 mm mudah dipasang.                         | <4             | <15                        |
| Gembur        | L      | Besi tulangan 12 mm mudah didorong dengan tangan.   | 4-10           | 15-35                      |
| Sedang        | MD     | Besi 12 mm membutuhkan palu untuk didorong >200 mm. | 10-30          | 35-65                      |
| Padat         | D      | Pasak 50 mm sulit dipasang.                         | 30-50          | 65-85                      |
|               |        | Besi 12 mm membutuhkan palu untuk didorong <200 mm. |                |                            |
| Sangat Padat  | VD     | Besi 12 mm membutuhkan palu untuk didorong <60 mm.  | >50            | >85                        |
| Membatu       | C      | Besi 12 mm membutuhkan palu untuk didorong <20 mm.  | >50            | N/A                        |

(Sumber: Look,2007)

## 2.9 Penurunan (*Settlement*)

Penurunan tanah atau *settlement* merupakan pergerakan tanah secara vertikal tanah yang diakibatkan oleh beban gaya yang ada di atas tanah. Penurunan tanah disebabkan karena adanya pemampatan tanah, pemampatan terjadi karena adanya pengurangan volume pori, konsolidasi akibat tekanan pori yang berkurang, atau perpindahan partikel tanah. (Terzaghi & Peck, 1987) Penurunan tanah atau *settlement* merupakan pergerakan tanah secara vertikal tanah yang diakibatkan oleh beban gaya yang ada di atas tanah. Penurunan tanah disebabkan karena adanya pemampatan tanah, pemampatan terjadi karena adanya pengurangan volume pori, konsolidasi akibat tekanan pori yang berkurang, atau perpindahan partikel tanah. (Terzaghi & Peck, 1987). Klasifikasi penurunan menurut Terzhagi dibagi menjadi tiga jenis yaitu penurunan elastis, konsolidasi, dan sekunder.

Penurunan elastis (*immediate settlement*) merupakan deformasi pada tanah yang terjadi pada tanah setelah menerima beban. Jenis penurunan elastis (*immediate settlement*) biasa terjadi pada tanah granular seperti tanah berbutir kasar dan berbutir halus yang kering atau tidak jenuh. Penurunan ini terjadi secara langsung tanpa bergantung pada proses keluarnya air pori. Penurunan elastis juga terjadi karena tegangan dan regangan yang terjadi pada lapisan tanah.

Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*) merupakan penurunan yang terjadi pada tanah yang terletak di bawah muka air tanah pada tanah berbutir halus. Penurunan konsolidasi tidak terjadi pada tanah setelah menerima beban langsung, penurunan ini terjadi di waktu yang lama dan bergantung dengan permeabilitas dari tanah. Terdapat tiga fase yang berlangsung dalam penurunan, yaitu fase awal, fase konsolidasi primer, dan fase konsolidasi sekunder. Pada tahap awal, penurunan terjadi segera karena terdapat beban bekerja. Dimana udara dalam pori sudah bekerja dan keluar dari pori tanah. Fase ini tidak terlalu mempengaruhi tanah liat yang mengalami pemampatan yang dibandingkan dengan yang terakhir. Fase berikutnya adalah konsolidasi primer, selama periode itu air keluar dari rongga tanah dibandingkan tekanan tambahan. Faktor-faktor yang memengaruhinya adalah karakteristik tanah: tipe permeabilitas, angka pori, tebal dan orientasi lapisan yang mengalami pemampatan. Setelah tahap berakhir, fase selanjutnya, konsolidasi sekunder, berlangsung lebih lambat dan merupakan kelanjutan dari yang sebelumnya. Tahap ini lebih penting. Penurunan Konsolidasi sekunder dapat dilihat dari Persamaan 2.8 berikut.

$$St = Si + Sc + Ss \quad (2.8)$$

Keterangan:

- $St$  = Penurunan total
- $Si$  = Penurunan segera
- $Sc$  = Penurunan konsolidasi primer
- $Ss$  = Penurunan konsolidasi sekunder

## 2.10 Pergeseran atau *Displacement*

Pergeseran atau *displacement* merupakan respon dari deformasi tanah yang diakibatkan oleh beban yang diteruskan dari sekitarnya perpindahan ini meliputi pergeseran (*displacement*). Faktor yang mempengaruhi perpindahan antara lain seperti karakteristik tanah seperti kohesi dan sudut geser, kondisi air tanah terutama pada tekanan pori yang tinggi, jenis pembebanan termasuk beban seismik, dan geometri lereng dan kedalaman galian. Interaksi terjadi antara tekanan tanah lateral aktif dan pasif. Dampak dari pergeseran horizontal dapat menyebabkan kerusakan bangunan dan infrastruktur, penurunan stabilitas lereng dan menyebabkan potensi longsor. Menurut (Bowles, 1997) Pergeseran memiliki *control limit* yang dapat dirumuskan dengan Rumus:

$$\Delta x = 0,01 \times \text{Tinggi Struktur} \quad (2.9)$$

## 2.11 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas merupakan tekanan yang ditimbulkan oleh kendaraan yang bergerak atau diam di suatu jalan. Beban lalu lintas diklasifikasikan berdasarkan beban muatan dapat di hitung berdasarkan dengan kelas jalan seperti ketentuan pada Tabel 2. 11 Tabel Ketentuan Klasifikasi Kelas Beban berikut.

Tabel 2. 11 Tabel Ketentuan Klasifikasi Kelas Beban

| Fungsi Jalan                 | Arteri |         |       | Kolektor |         |      | Lokal |                  |      |  |
|------------------------------|--------|---------|-------|----------|---------|------|-------|------------------|------|--|
| Kelas Jalan                  | I      | II      | III A |          | III B   |      | III C |                  |      |  |
| Muatan Sumbu Terberat. (Ton) | > 10   | 10      |       |          |         |      |       | Tidak ditentukan |      |  |
| Tipe Medan                   | D      | B       | G     | D        | B       | G    | D     | B                | G    |  |
| Kemiringan Medan (%)         | <3     | 3 – 2.5 | >2.5  | <3       | 3 – 2.5 | >2.5 | <3    | 3 – 2.5          | >2.5 |  |

(Sumber: Perencanaan Teknik Jalan, 2002)

Dengan beban terbagi merata (BTR) dan beban garis (BGT) didapatkan beban lalu lintas 20 kN/m untuk jalan Kelas 1 muatan sumbu >10 ton dan lebar 7 meter.

## 2.12 Beban Gempa

Gempa bumi merupakan bencana yang sering terjadi di Indonesia. Hal ini dipengaruhi karena letak Indonesia yang berada di cincin api yang menyebabkan Indonesia rentan terhadap resiko gempa. Proyek Tol Yogyakarta-Solo berada di area Sleman, Yogyakarta. Berdasarkan Tabel 2. 12 SNI Perencanaan Geoteknik tahun 2017 didapatkan klasifikasi gempa berdasarkan dengan korelasi nilai NSPT dan dengan faktor amplifikasi.

Tabel 2. 12 Faktor Amplifikasi untuk PGA

| Klasifikasi       | PGA ≤ 0,1<br>Ss ≤ 0,25 | PGA = 0,2<br>Ss = 0,5 | PGA = 0,3<br>Ss = 0,75 | PGA = 0,4<br>Ss = 1,0 | PGA ≥ 0,5<br>Ss ≥ 1,25 |
|-------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| Batuan Keras (SA) | 0,8                    | 0,8                   | 0,8                    | 0,8                   | 0,8                    |
| Bauan (SB)        | 1,0                    | 1,0                   | 1,0                    | 1,0                   | 1,0                    |
| Tanah Keras       | 1,2                    | 1,2                   | 1,1                    | 1,0                   | 1,0                    |
| Tanah Sedang      | 1,6                    | 1,4                   | 1,2                    | 1,1                   | 1,0                    |
| Tanah Lunak       | 2,5                    | 1,7                   | 1,2                    | 0,9                   | 0,9                    |
| Tanah Khusus      | SS                     | SS                    | SS                     | SS                    | SS                     |

Nilai Percepatan Puncak (PGA) sangat penting digunakan dalam perancangan struktur yang akan dilanjutkan dengan Faktor Implikasi (FPGA), Percepatan puncak dengan faktor implikasi (PGAM), dan koefisien gempa horizontal (Kh).

Dengan rumus:

$$PGAM = PGA \times FPGA \quad (2.10)$$

$$Kh = 0,5 \times PGAM \quad (2.11)$$

Keterangan:

PGAM = Berat Jenis

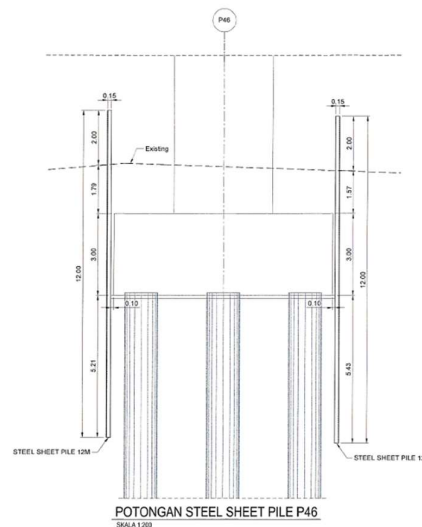
PGA = Berat Volume Padat

FPGA = Berat Volume Air

Kh = Koefisien Gempa Horizontal

### 2.13 Dinding Penahan Tanah

Menurut (Bowles, 1997) dinding penahan tanah merupakan bangunan struktur yang berfungsi untuk menahan tekanan tanah lateral supaya tanah dalam keadaan stabil, terutama pada area yang memiliki perbedaan elevasi. Klasifikasi dinding penahan tanah dibagi berdasarkan mekanisme dari penahannya yaitu dinding penahan tanah kantilever yang memiliki bagian struktur bawah yang tertanam ke dalam tanah dan bekerja seperti balok kantilever, dinding gravitasi dengan mengandalkan berat sendiri untuk menahan tekanan tanahnya, dinding strut (*braced wall*) merupakan penahan yang didukung dengan adanya penyangga horizontal atau strut, dan dinding bertulang (*reinforced wall*) merupakan penahan dengan menggunakan elemen tambahan seperti baja untuk meningkatkan daya dukung tanah. Sistem yang digunakan pada dinding penahan tanah menggunakan *steel sheet pile* pada titik P46, struktur ini menjaga stabilitas lereng dan memperkuat area kerja pengecoran *pile cap* ditujukan pada Gambar 2. 13.



Gambar 2. 13 Dinding Penahan Tanah *Steel Sheet Pile*

(Sumber: Gambar Kerja Proyek Jalan Tol Jogja – Solo Paket 2.2, PT Adhi Karya)

## 2.14 Sheet Pile

*Sheet pile* merupakan material konstruksi yang biasa dipasang vertikal ke dalam tanah. *Sheet pile* sering digunakan sebagai dinding penahan tanah atau *retaining wall* pada proyek konstruksi. *Sheet pile* ini memiliki peran untuk menahan gaya tekan lateral tanah dan mencegah longsor atau pergerakan tanah. Salah satu fungsi dari *sheet pile* dapat digunakan sebagai elemen pendukung struktur selama masa konstruksi atau sebagai elemen penahan pementara pada proyek konstruksi.

Sheet pile dipasang dengan cara ditancapkan menggunakan alat seperti palu getar (*vibratory hammer*). Sheet pile memiliki beberapa jenis material *antara lain* seperti baja, beton bertulang, kayu, dan plastik atau komposit

### 2.14.1 Stabilitas Sheet Pile

Menurut (Hardiyatmo, 2003) tekanan yang terjadi pada *sheet pile* dibagi menjadi tekanan aktif dan tekanan pasif. Kelompok ini dibagi sebagai berikut:

#### 1. Tekanan Aktif (Pa)

Tekanan tanah aktif merupakan tekanan yang mendorong sheet pile dari tanah yang ada dibelakangnya. Konsep ini dapat dilihat di Persamaan 2.9 dan 2.10 berikut.

$$Ka = \tan^2\left(45 \frac{\varphi}{2}\right) \quad (2.12)$$

$$Pa = \gamma \cdot H^2 \cdot Ka \quad (2.13)$$

Keterangan:

$Ka$  = Koefisien tanah aktif

$\varphi$  = Sudut geser dalam

$\gamma$  = Berat Volume tanah

$H$  = Kedalaman titik yang ditinjau dari permukaan tanah

#### 2. Tekanan Pasif

Tekanan tanah lateral pasif merupakan tekanan yang terjadi pada dinding penahan yang terdorong atau bergerak mendekati tanah urugan di belakangnya. Hal ini menyebabkan tanah mengalami pemadatan dan meningkatkan daya dukung. Koefisien tanag pasif dapat dilihat pada Persamaan 2.11 dan 2.12

$$Ka = \tan^2\left(45 \frac{\varphi}{2}\right) \quad (2.14)$$

$$Pa = \gamma \cdot H^2 \cdot Ka \quad (2.15)$$

Keterangan:

$Kp$  = Koefisien tanah aktif

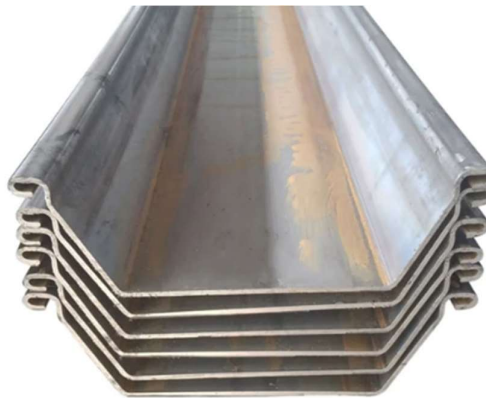
$\varphi$  = Sudut geser dalam

$\gamma$  = Berat Volume tanah

$H$  = Kedalaman titik yang ditinjau dari permukaan tanah

### 2.14.2 Profil *Sheet Pile*

*Sheet pile* baja terbuat dari baja karbon dengan bentuk lembaran. Ada berbagai jenis profil *sheet pile*, termasuk profil U, Z, H, dan Box. Profil U-*sheet pile* sering digunakan dalam proyek konstruksi karena daya ikatnya yang kuat, yang mengurangi efisiensi bagian dan mengurangi sifat bagian karena perpindahan geser. Berikut gambar dari profil U- *sheet pile* pada Gambar 2.14 dan spesifikasi tipe profil U- *sheet pile* pada Tabel 2. 13 Brosur Spesifikasi *Steel Sheet Pile* berikut.



Gambar 2. 14 Profil U-*Sheet Pile*

(Sumber: *Hawysteel.En*, n.d.)

Tabel 2. 13 Brosur Spesifikasi *Steel Sheet Pile*

| Type                   | Dimension                  |                             |                      | Per pile                          |                                      |                                    |                   | Per 1 m of pile wall width           |                                         |                                       |                                |
|------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
|                        | Effective width<br>W<br>mm | Effective height<br>h<br>mm | Thickness<br>t<br>mm | Sectional area<br>cm <sup>2</sup> | Moment of inertia<br>cm <sup>4</sup> | Section modulus<br>cm <sup>3</sup> | Unit mass<br>kg/m | Sectional area<br>cm <sup>2</sup> /m | Moment of inertia<br>cm <sup>4</sup> /m | Section modulus<br>cm <sup>3</sup> /m | Unit mass<br>kg/m <sup>2</sup> |
| NS-SP-II               | 400                        | 100                         | 10.5                 | 61.18                             | 1,240                                | 152                                | 48.0              | 153.0                                | 8,740                                   | 874                                   | 120                            |
| NS-SP-III              | 400                        | 125                         | 13.0                 | 76.42                             | 2,220                                | 223                                | 60.0              | 191.0                                | 16,800                                  | 1,340                                 | 150                            |
| NS-SP-III <sub>A</sub> | 400                        | 150                         | 13.1                 | 74.40                             | 2,790                                | 250                                | 58.4              | 186.0                                | 22,800                                  | 1,520                                 | 146                            |
| NS-SP-IV               | 400                        | 170                         | 15.5                 | 96.99                             | 4,670                                | 362                                | 76.1              | 242.5                                | 38,600                                  | 2,270                                 | 190                            |
| NS-SP-V <sub>L</sub>   | 500                        | 200                         | 24.3                 | 133.8                             | 7,960                                | 520                                | 105               | 267.6                                | 63,000                                  | 3,150                                 | 210                            |
| NS-SP-V <sub>L</sub>   | 500                        | 225                         | 27.6                 | 153.0                             | 11,400                               | 680                                | 120               | 306.0                                | 86,000                                  | 3,820                                 | 240                            |
| NS-SP-II <sub>w</sub>  | 600                        | 130                         | 10.3                 | 78.70                             | 2,110                                | 203                                | 61.8              | 131.2                                | 13,000                                  | 1,000                                 | 103                            |
| NS-SP-III <sub>w</sub> | 600                        | 180                         | 13.4                 | 103.9                             | 5,220                                | 376                                | 81.6              | 173.2                                | 32,400                                  | 1,800                                 | 136                            |
| NS-SP-IV <sub>w</sub>  | 600                        | 210                         | 18.0                 | 135.3                             | 8,630                                | 539                                | 106               | 225.5                                | 56,700                                  | 2,700                                 | 177                            |

(Sumber: PT Gunung Baja Permata)

## 2.15 *Finite Element Methods 2D*

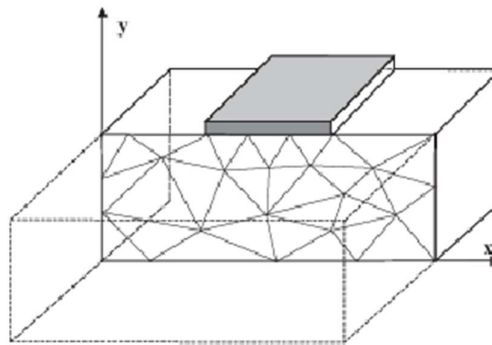
Metode Elemen Hingga atau *Finite Element Methods* (FEM) adalah teknik numerik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah kompleks dalam bidang teknik dan ilmu terapan. Metode ini juga sangat berguna untuk menganalisis berbagai fenomena fisik, seperti deformasi struktur, aliran panas, dinamika fluida, dan elektromagnetika. Sehingga masalah yang kompleks dapat diselesaikan secara bertahap, FEM membagi suatu domain besar menjadi bagian-bagian kecil yang disebut elemen hingga (*finite elements*).

### 2.15.1 Plaxis 2D

PLAXIS 2D adalah perangkat lunak berbasis metode elemen hingga (Finite Element Method, FEM) yang digunakan untuk analisis geoteknik dalam kondisi dua dimensi (2D). Perangkat lunak ini dikembangkan khusus untuk memodelkan deformasi dan stabilitas tanah serta interaksinya dengan struktur geoteknik seperti dinding penahan tanah, terowongan, bendungan, dan fondasi. PLAXIS 2D mampu memberikan berbagai hasil analisis geoteknik yang berguna untuk desain dan evaluasi struktur tanah Analisis Plaxis dikembangkan pada akhir 1980-an oleh Delft University of Technology, Belanda. dalam proyek penelitian dengan tujuan untuk memodelkan deformasi tanah menggunakan metode elemen hingga FEM (*Finite Element Method*). Perangkat lunak ini dapat menghasilkan data rencana desain dan evaluasi geoteknik

### 2.15.2 *Element Plane-Strain*

*Element plane-strain* atau yang biasa disebut dengan regangan bidang merupakan kondisi bidang yang digunakan dalam analisis metode elemen hingga. Regangan bidang adalah kondisi di mana deformasi atau regangan dalam struktur terjadi dalam dua dimensi, yaitu bidang  $x$  dan  $y$ , sementara regangan tegak lurus bidang atau sumbu  $z$  dianggap memiliki nilai nol seperti pada Gambar 2. 15.



Gambar 2. 15 Model *Plane-Strain*

(Sumber: *Plaxis Reference Manual*, 2018)

### 2.15.3 Model Tanah

#### 1. Mohr-Coulomb

Model Mohr-Coulomb (MC) adalah model tanah yang digunakan dalam evaluasi geoteknik untuk mengetahui perilaku tanah. Model Mohr-Coulomb (MC) merupakan model yang sederhana dan cepat dalam perhitungan, parameter utama dalam model ini adalah sudut geser dalam ( $\phi$ ), kohesi ( $c$ ), sudut dilatasi ( $\psi$ ), *poisson's ratio* ( $\nu$ ), dan modulus elastisitas ( $E$ ). Jenis drainase yang diberikan pada model ini seperti *Drained*, *Undrained A*, *Undrained B*, dan *Undrained C* yang berpengaruh pada perilaku tanah terhadap pori. Namun model ini memiliki keterbatasan karena tidak memperhitungkan pegerasan tanah sehingga tidak cocok untuk analisis deformasi jangka panjang.

## 2. *Hardening Soil*

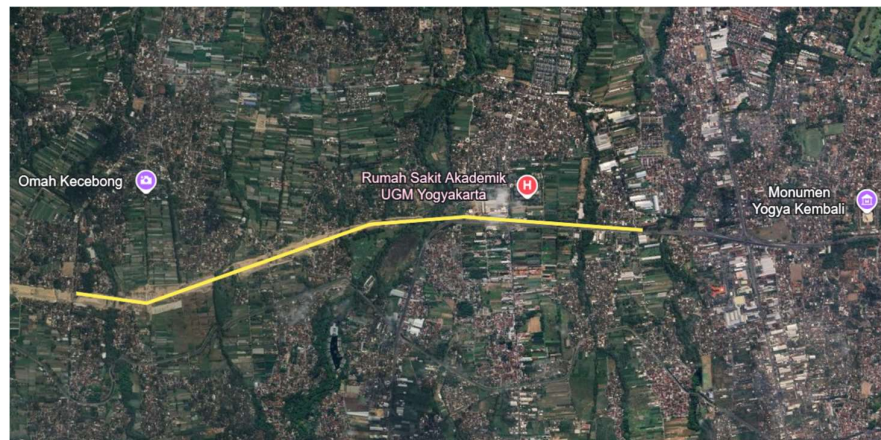
Model ini *Hardening Soil* merupakan model lebih detail dari Model MC. Model *Hardening Soil* dikembangkan jauh lebih akurat dengan menggunakan tiga modulus kekakuan yaitu kekuatan pembebanan triaksial ( $E_{50}$ ), kekuatan pembebanan triaksial elastis ( $E_{ur}$ ), dan kekuatan pembebanan oedometer ( $E_{oed}$ ). Berbeda dengan model *Mohr-Coulomb* yang menggunakan modulus tetap, *Hardening Soil* memperhitungkan perubahan kekakuan akibat perubahan tekanan sehingga memperhitungkan ketergantungan tegangan pada modulus kekakuan. Oleh sebab itu, ketiga kekakuan berhubungan dengan tegangan acuan, maka tekanan referensi 100 kPa dipilih sebagai standart praktis.

## BAB 3

### METODOLOGI

#### 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi studi proyek akhir di Pembangunan Jalan Tol Solo Yogyakarta Nyia Kulonprogo Seksi 2 Paket 2.2 yang berlokasi di Kota Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 1. Lokasi studi memiliki tanah dengan relatif berpasir dengan kepadatan lalu lintas yang tinggi yaitu berada di median Jalan Ringroad utara .



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

(Sumber: *Google Earth* 2024)



Gambar 3. 2 Situasi Lokasi Galian dengan Dinding Penahan *Steel Sheet Pile*

(Sumber: Observasi Studi)

### **3.2 Rencana Evaluasi dan Pembahasan**

Dalam pelaksanaan penelitian “**Evaluasi Stabilitas *Steel Sheet Pile* pada Galian Fondasi *Pile Cap* akibat Beban Lalu Lintas Jalan Ringroad dengan Pemodelan *Finite Element Method***”, dilakukan tahapan dan pengumpulan data untuk dapat memenuhi proyek akhir seperti berikut ini:

#### **3.2.1 Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan informasi terkait untuk mencapai tujuan penelitian proyek akhir. Pengumpulan data meliputi pengumpulan data primer dan data sekunder.

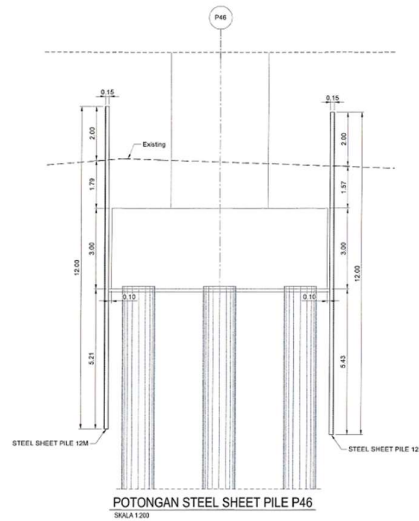
##### **a. Data Primer**

Data primer dalam penelitian merupakan data yang diperoleh langsung oleh penulis. Data ini merupakan hasil perolehan yang didapatkan dari lokasi studi proyek akhir di Proyek Pembangunan Jalan Tol Jogja – Solo melalui metode observasi lapangan, wawancara, pengukuran teknis, serta dokumentasi proyek. Hasil observasi penulis mendapatkan data primer berupa foto pelaksanaan dan kevalidan informasi data dari *supervisor* dan mentor lapangan.

##### **b. Data Sekunder**

Data sekunder dalam penelitian merupakan data yang diperoleh dari pihak perusahaan lokasi studi penulis dari PT Adhi Karya sebagai kontraktor pelaksana proyek. Data yang dibutuhkan merupakan data yang akan digunakan untuk mendukung evaluasi stabilitas perkuatan tanah menggunakan *steel sheet pile*

- a. Spesifikasi teknis *steel sheet pile* titik P46 STA 54+739
- b. Data spesifikasi tanah
- c. *Shop drawing* rencana *steel sheet pile* titik P46 STA 54+739

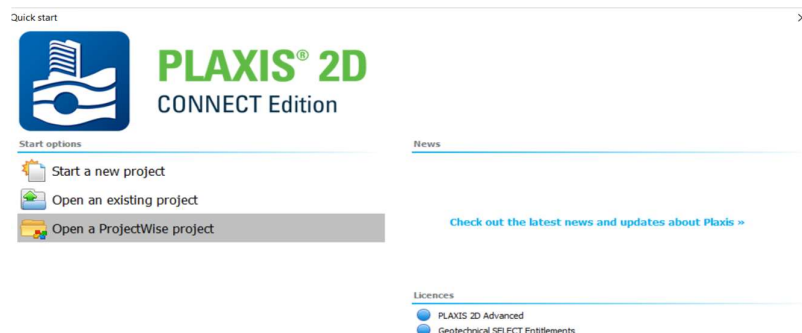


Gambar 3. 3 *Shop Drawing Rencana Steel Sheet Pile*

(Sumber: Data Proyek Tol Yogyakarta-Solo)

### 3.2.2 Evaluasi Numeris dengan FEM

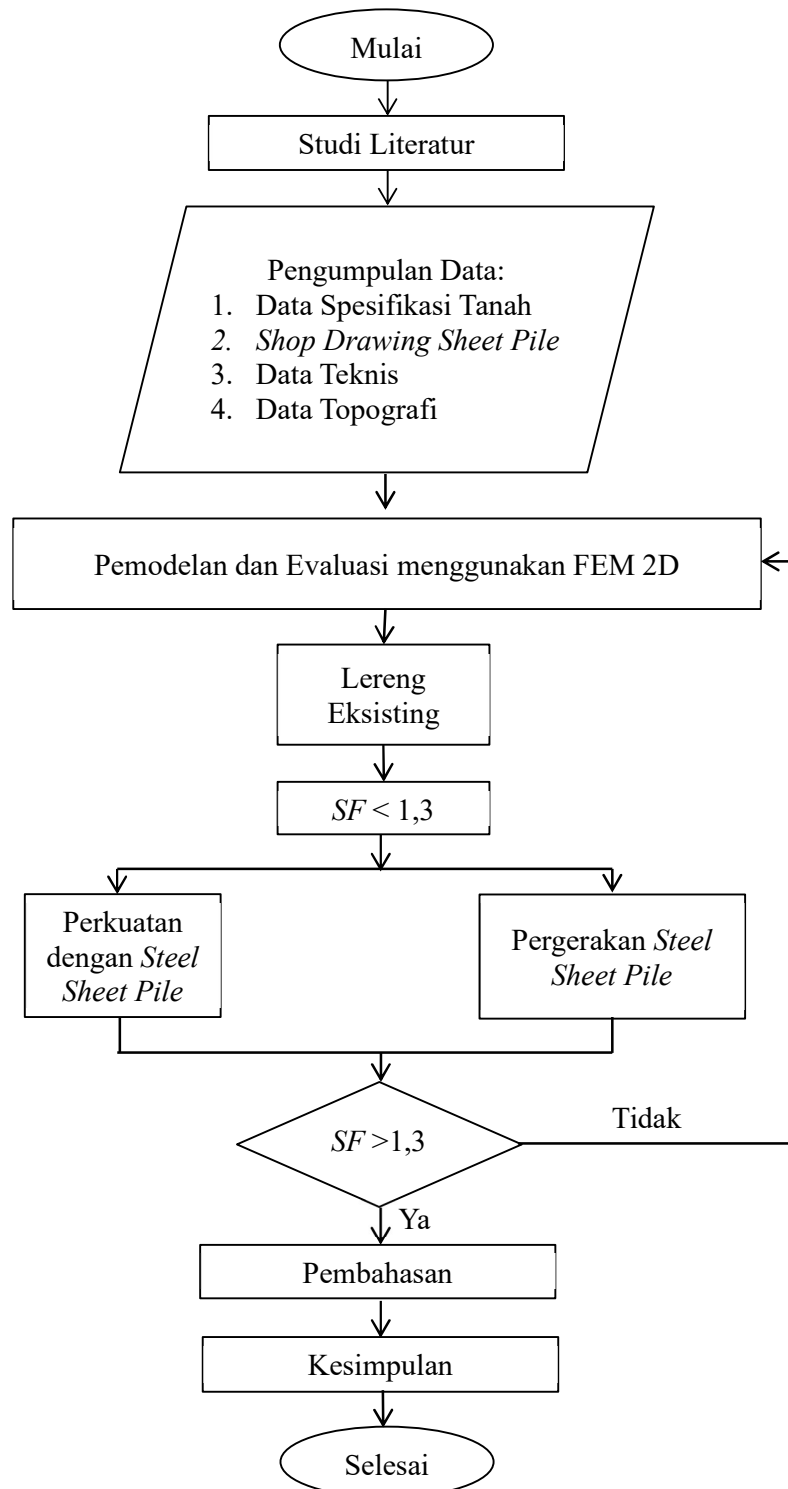
Pemodelan evaluasi numeris dengan FEM dengan *software* Plaxis 2D dilakukan untuk mendapatkan stabilitas dinding penahan tanah *steel sheet pile* pada galian *pile cap*. Evaluasi dilakukan untuk memperoleh faktor keamanan, penurunan tanah setelah *sheet pile* dicabut. Plaxis 2D merupakan perangkat dengan basis FEM (*finite element method*) yang dirancang dalam pemodelan geoteknik yang sistematis. Perangkat lunak pada Gambar 3. 4 memungkinkan dalam perancangan geometri 2D untuk berbagai kondisi tanah.



Gambar 3. 4 Tampilan Awal Plaxis 2D

(Sumber: Olah Data Peneliti)

### 3.3 Diagram Alur



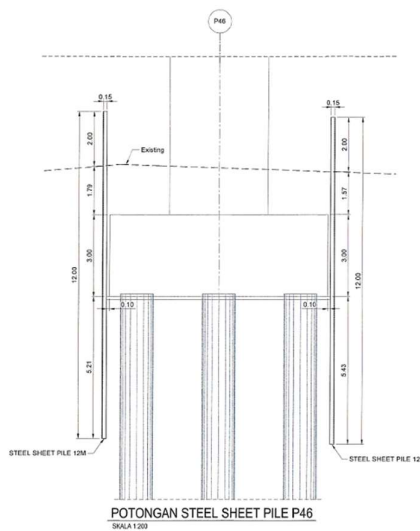
Gambar 3. 5 Diagram Alur Penelitian

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Deskripsi Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada konstruksi metode pelaksanaan pekerjaan pile cap pada proyek pembangunan Jalan Tol Jogja-Solo Paket 2.2. Lokasi penelitian meneliti titik jalan utama atau *main road* titik P46 STA 54+739. Penelitian ini dilakukan pada proyek pelaksanaan pekerjaan *pile cap* dengan penggunaan struktur penahan sementara berupa *steel sheet pile* pada Gambar 4. 1. Lokasi pekerjaan terletak di Jalan Ringroad, Desa Trihanggo, Yogyakarta. Area ini merupakan kawasan dengan aktivitas lalu lintas padat dengan klasifikasi jalan Nasional , sehingga dibutuhkan sistem penahan tanah sementara untuk pelaksanaan konstruksi struktur bawah.



Gambar 4. 1 Gambar Shop Drawing Pekerjaan *Steel Sheet Pile*  
(Sumber: Overview Proyek Tol Yogyakarta-Solo)

Struktur dinding di design dengan ketinggian total mencapai 12 meter , dimana *steel sheet pile* dipancang hingga kedalaman 10 meter dari permukaan tanah eksisting seperti pada Gambar 4. 1. Penelitian ini memiliki fokus utama pada perilaku *steel*

*sheet pile* terhadap pengaruh kombinasi beban di lokasi tersebut, evaluasi menganalisis perpindahan dan *safety factor* dari *steel sheet pile*

#### 4.2 Metode Konstruksi

Metode pelaksanaan pekerjaan konstruksi galian *pile cap* dengan menggunakan *Steel Sheet Pile* sebagai struktur sementara dinding penahan tanah.

##### 1. Pekerjaan Fondasi *Bored Pile*

Pekerjaan fondasi bored pile dilakukan dengan menggunakan alat *drilling rig* kedalam desain sedalam 27 m di bawah tanah eksisting dengan dimensi *bored pile* 1,2 m seperti pada Gambar 4. Tahapan pelaksanaan dimulai dari persiapan lokasi dan peninjauan titik lokasi pengeboran, pada tahapan ini untuk menjaga stabilitas lubang menggunakan *cassing* atau *slurry* dan penambahan tanah merah. Setelah pengeboran dilakukan pemasangan tulangan baja dipasang ke dalam lubang bor. Pengecoran beton dilaksanakan langsung ke dalam lubang bor dengan menggunakan pipa *tremie* untuk memastikan beton mengisi lubang bor tanpa segregasi. Setelah *bored pile* mencapai umur yang direncanakan, pekerjaan dilanjutkan dengan pekerjaan pembobokan mencapai elevasi COL (*Cut Off Level*). Namun, dikarenakan area kerja yang terbatas penggunaan penahan tanah diperlukan supaya pekerjaan dapat dilanjutkan



Gambar 4. 2 Pengeboran fondasi *Bored Pile*

##### 2. Pekerjaan *marking area* pancang

Pekerjaan *marking area* pada Gambar 4. 3 merupakan tahap awal pelaksanaan pemancangan *steel sheet pile* dengan kontrol poin berdasarkan dengan

koordinat di rencana kerja. Setiap titik pancang diberikan garis dengan patokan penanda lokasi pemasangan *sheet pile*. Hasil penandaan dicatat ke dalam form kontrol lapangan dan verifikasi oleh *quality control* sebelum proses pemancangan dimulai dan tidak mengganggu pekerjaan lainnya.



Gambar 4. 3 Pekerjaan *marking area* pancang

### 3. Proses Pancang *Steel Sheet Pile*

Pekerjaan Pemancangan pada Gambar 4. 4 dimulai dengan penempatan pucuk pertama *steel sheet pile* pada posisi yang sudah ditandai saat *marking area*. Ujung *steel sheet pile* diangkat dengan menggunakan *driving head vibrator hammer* EMV300 yang bekerja dengan menghasilkan getaran untuk memungkinkan *steel sheet pile* menembus ke dalam lapisan tanah. Setelah itu *vibro hammer* digunakan dalam proses pemancangan *steel sheet pile* ke dalam tanah, pemancangan dilakukan bertahap berguna untuk mengontrol setiap *sheet pile* agar tetap lurus dan sesuai dengan perencanaan vertikal. Pengecekan dilakukan setiap kali penambahan pancangan untuk mengetahui pancangan sesuai dengan kedalaman antar *steel sheet pile* dan pengedekan pada sambungan *interlocking* antar *steel sheet pile* untuk memastikan ketidaksesuaian pada pemasangan. Pada titik P46 menggunakan *steel sheet pile* tipe N-SSPIIIA dengan panjang 12 meter dan dipancang sedalam 10 meter ke dalam tanah. Dari panjang tersebut, 10 meter dipancang ke dalam tanah, sementara sisa panjang 2 meter akan berada diatas permukaan tanah eksisting. Pemancangan hingga kedalaman ini didasarkan pada hasil penyelidikan tanah

dengan *standart penetretion test* yang menunjukkan lapisan tanah keras berada pada kedalaman tersebut, sehingga pemancangan dilakukan hingga mencapai lapisan tersebut untuk perkuatan kestabilan lereng. Pemilihan tipe ini dipertimbangkan berdasar kekuatan dan daya tahan untuk stabilitas tanah di area titik P46 yang berada di tengah Jalan Ringroad.



Gambar 4. 4 Proses Pancang Steel Sheet Pile

4. Pekerjaan Galian dan Pekerjaan Pembobokan *Bored Pile COP (Cut Off Pile)*

Pada tahapan penggalian pada Gambar 4. 4 lereng dilakukan dengan menggunakan alat berat PC200, alat ini dipilih karena fleksibilitasnya dalam melakukan pekerjaan di area yang terbatas, galian dimulai dengan pengukuran penandaan area galian sesuai dimensi *pile cap*. Gambar 4. 5 galian tanah dilakukan tiap 50 cm ke dalam tanah sedalam 5 meter dan dilanjutkan dengan pecekan ulang untuk kedalaman galian *pile cap* pada titik COL (*Cut Off Level*) sampai *bottom lean concrete*. Setelah dilakukan galian akan dilakukan pekerjaan pembobokan di area COP (*Cut Off Pile*) dan hanya menyisakan tulangan *bored pile* area COP (*Cut Off Pile*).



Gambar 4. 5. Pekerjaan Galian

#### 5. Pekerjaan Tulangan dan Pengecoran *Pile Cap*

Pekerjaan tulangan dan pengecoran dilakukan setelah pembobokan selesai dan elevasi tanah diberi lapisan *lean concrete* setebal 10 cm. Pekerjaan tulangan dilakukan penataan tulangan utama sesuai dengan gambar kerja dan dilanjutkan dengan pemasangan bekisting. Srut bekisting menempel pada *steel sheet pile* untuk menahan beban beton saat dilakukan pengecoran. Pengecoran *pile cap* menggunakan mutu beton 30 Mpa dilakukan secara berkala dan merata dengan bantuan vibrator untuk memastikan beton mengalir dengan baik ke seluruh bagian bekisting dan tidak ada rongga udara yang terperangkap. Beton *pile cap* akan di *curing* sampai dengan masa tunggu 7 hari seperti pada Gambar 4. 6



Gambar 4. 6 Pekerjaan Tulangan dan Pengecoran *Pile Cap*

#### 6. Pekerjaan tulangan dan pengecoran kolom

Pekerjaan dimulai dengan penulangan kolom sesuai dengan gambar kerja dan dilanjutkan dengan pekerjaan bekisting kolom, pengecoran kolom dilakukan menggunakan pompa beton dengan metode pengecoran bertahap dan vibrator untuk menghindari adanya rongga. Pekerjaan pengecoran kolom terbagi menjadi 3 tahap, setelah menyelesaikan tahap 1 pengecoran akan dilanjutkan dengan penimbunan kembali tanah dan pencabutan *steel sheet pile* pada Gambar 4. 7



Gambar 4. 7 Pekerjaan tulangan dan pengecoran kolom

#### 7. Pekerjaan Timbunan Galian *Pile Cap*

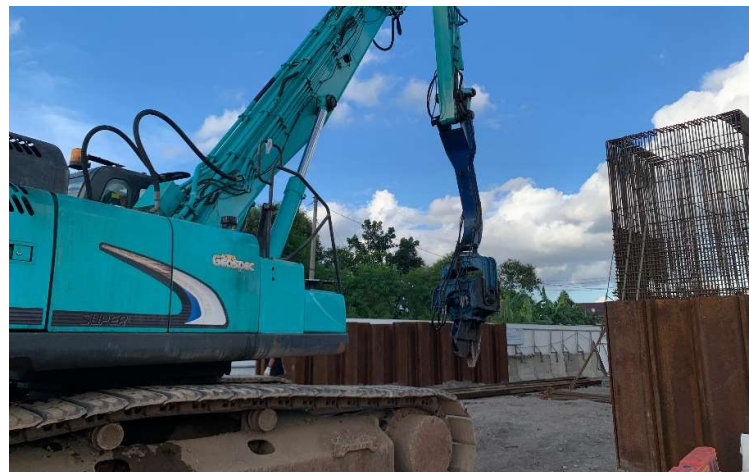
Setelah pekerjaan struktur bawah selesai dan beton mencapai umur serta kekuatan yang cukup, seperti pada Gambar 4. 8 dilakukan pekerjaan timbunan kembali pada area galian, material timbunan yang digunakan merupakan timbunan tanah eksisting. pekerjaan timbunan dilaksanakan secara bertahap dengan tiap lapisan setebal 50 cm. Pekerjaan ini bertujuan untuk mengembalikan kestabilan tanah di sekitar pile cap serta mencegah terjadinya settlement dan menyiapkan area untuk lanjutan struktur atas sampai mencapai tanah mencapai CBR 20%.



Gambar 4. 8 Pekerjaan Timbunan Galian *Pile Cap*

#### 8. Pekerjaan Pencabutan *Steel Sheet Pile*

Setelah pekerjaan struktur seperti *pile cap* atau kolom tahap 1 selesai dan tanah disekitarnya telah mencapai CBR 20%, dilakukan pencabutan *steel sheet pile*, pencabutan ini bertujuan untuk melepaskan *sheet pile* dari tanah agar dapat digunakan kembali untuk titik lainnya dan persiapan area untuk pekerjaan struktur atas. Proses pencabutan menggunakan alat bantu *vibratory hammer*. *Sheet pile* akan dicabut dan melepaskan ikatan tanah terhadap *sheet pile* seperti pada Gambar 4. 9.



Gambar 4. 9 Pekerjaan Pencabutan *Steel Sheet Pile*

### 4.3 Penyelidikan Parameter Tanah

Data penyelidikan parameter tanah yang didapatkan merupakan hasil dari penyelidikan tanah dilapangan dengan menggunakan *Standart Penetration Test* (SPT). Index properties dan engineering proterties didapatkan secara langsung pada pelaksanaan magang, titik *borehole* yang diambil merupakan titik DB 65 pada Gambar 4. 10



Gambar 4. 10 Lokasi Penyelidikan Tanah

#### 4.3.1 Hasil Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT)

Pengujian *Standart Penetretion Test* (SPT) bertujuan untuk menntukan tahanan tanah pada dasar lubang bor terhadap penetrasi yang diberikan dan untuk memperoleh sampel tanah *undistrub*. Dari sampel tanah hasil pengeboran didapatkan hasil nilai uji *Standart Penetretion Test* (SPT) dengan dominan stratifikasi tanah merupakan tanah pasir dan hasil uji SPT pada tiap lapisan tanah berupa pasir dan lempung dengan konsistensi lempung lunak ada pada kedalaman 0-5 meter serta lapisan pasir 5-10 merupakan pasir halus dengan kepadatan sedang dan 11-30 merupakan tanah pasir kasar dengan kepadatan sangat keras yang ditunjukkan pada nilai N-SPT lebih dari 40, seperti yang tertera pada Tabel 4. 1. Berdasarkan hasil dari data *Standart Penetretion Test* (SPT) dapat diambil kesimpulan umum yang dapat digunakan dalam analisis lanjutan sebagai estimasi atau prediksi baik dari parameter tanah sampai dengan hasil analisis. Konsistensi tanah pada titik tinjauan P46 STA 54+739 diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Lapisan tanah dasar memiliki konsistensi *very dense*, sehingga dapat disimpulkan bahwa lapisan tanah dalam kondisi yang baik namun perlu dilakukan analisis lanjutan
2. Perhitungan korelasi parameter tanah dilakukan dengan korelasi dengan nilai N-SPT

Tabel 4. 1 Analisis Data *Borehole* titik P46 STA 54+739

| <i>Depht</i><br>(m) | N-SPT | Jenis Tanah                                                                                           | Konsistensi     | Warna |
|---------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------|
| 1                   | 5     | <b>Tanah lempung lanauan</b> , sedikit kandungan pasir dengan warna abu kecoklatan berkekuatan sedang | Medium Clay     |       |
| 5                   | 21    | <b>Tanah Pasir Halus</b> dengan warna abu kecoklatan dengan kepadatan sedang hingga padat             | Dense Sand      |       |
| 11                  | 50    | <b>Tanah pasir kasar</b> dengan warna abu tua dengan kepadatan sangat padat                           | Very Dense Sand |       |
| 20                  | 50    | <b>Tanah pasir kasar</b> dengan warna abu tua dengan kepadatan sangat padat                           | Very Dense Sand |       |

(Sumber: Data Proyek Jalan Tol Jogja - Solo Paket 2.2, PT Adhi Karya, 2025)

#### 4.3.2 Hasil *Index Properties* Parameter Laboratorium

Hasil pengujian index properties tanah didapatkan dari pengujian laboratorium. Didapatkan tipe tanah pada kedalaman pada kedalaman 1 m sampai 5 m merupakan tanah lempung dan pasir lanau. Properties tanah yang digunakan menggunakan hasil pengujian laboratorium yang ditujukan pada tabel di bawah ini dan parameter korelasi hubungan antara N-SPT dengan parameter tanah menggunakan tabel regresi linier, pemodelan menghasilkan pola hubungan antara N-SPT dan parameter tanah.

Tabel 4. 2 Analisis *Index Properties* Sampel Tanah

| <i>Depht (m)</i> | $\gamma$<br>( $\text{kg/m}^3$ ) | Gs                          | Wn<br>(%)                | LL<br>(%)               | PL<br>(%)                | PI<br>(%)                |
|------------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                  | <i>Moisture<br/>Desnsity</i>    | <i>Specific<br/>Gravity</i> | <i>Water<br/>Content</i> | <i>Liquid<br/>Limit</i> | <i>Plastic<br/>Limit</i> | <i>Plastic<br/>Index</i> |
| 1,00 – 1,45      | 16                              | N/A                         | 31                       | 49                      | 20                       | 29                       |
| 2,50 – 3,00      | 16                              | 2,65                        | 28                       | 56                      | 23                       | 33                       |
| 4,50 – 5,00      | 16                              | 2.60                        | 57                       | 62                      | 42                       | 50                       |

(Sumber: Data Proyek Jalan Tol Jogja - Solo Paket 2.2, PT Adhi Karya, 2025)

Tabel 4. 3 Analisis *Grain Size*

| <i>Depht (m)</i> | G<br>(%)      | S<br>(%)    | S & Cl<br>(%)            | USCS |
|------------------|---------------|-------------|--------------------------|------|
|                  | <i>Gravel</i> | <i>Sand</i> | <i>Silt and<br/>Clay</i> |      |
| 1,00 – 1,45      | 0,31          | 78,43       | 21,26                    | CL   |
| 2,50 – 3,00      | 0,29          | 27,86       | 71,85                    | CH   |
| 4,50 – 5,00      | 0,37          | 26,02       | 73,61                    | MH   |

(Sumber: Data Proyek Jalan Tol Jogja - Solo Paket 2.2, PT Adhi Karya, 2025)

#### 4.3.3 Hasil Pengujian Laboratorium *Engineering Properties*

Hasil pengujian didapatkan data *engineering properties* dari data *direct shear* dengan hasil pengujian sebagai berikut

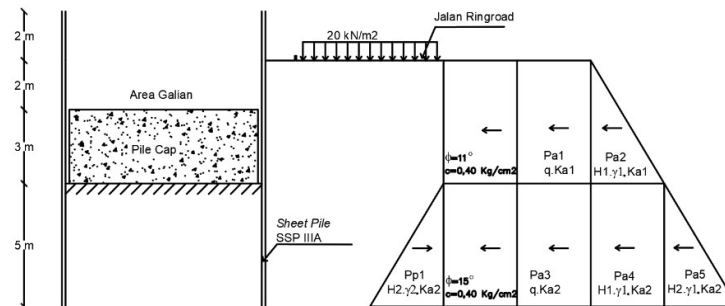
Tabel 4. 4 Analisis *Engineering Properties*

| <i>Depht (m)</i> | <i>Type of<br/>strenght</i> | c ( $\text{kg/cm}^2$ ) | $\phi$ (°)            |
|------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|
|                  |                             | <i>Cohesion</i>        | <i>Friction Angle</i> |
| 2,50 – 3,00      | UU                          | 0,40                   | 11                    |
| 28,50 – 29,00    | UU                          | 0,40                   | 15                    |

(Sumber: Data Proyek Jalan Tol Jogja - Solo Paket 2.2, PT Adhi Karya, 2025)

#### 4.4 Analisis Pembebanan

*Steel sheet pile* yang digunakan untuk menahan beban tekanan tanah pada titik P46 dipengaruhi oleh faktor beban vertikal dari *pile cap* yang memberikan gaya tekan ke bawah, beban lalu lintas jalan raya yang meningkatkan tekanan tanah aktif di belakang *sheet pile*, dan terdapat beban alat berat yang berada disekitar lokasi yang menambah tekanan lateral seperti pada Gambar 4. 11. Beban ini menghasilkan distribusi tekanan tanah, gaya geser, dan momen lentur pada struktur sementara agar tidak terjadi guling, geser, dan kelongsoran



Gambar 4. 11 Tekanan Tanah

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

Dengan analisis pembenan:

##### 1. *Pile Cap*

*Pile cap* mendistribusikan dengan menambah tekanan pada penahan tanah, *pile cap* P46 dimodelkan sebagai load (beban) beton pada pemodelan FEM 2D dengan parameter seperti Tabel 4. 5 berikut.

Tabel 4. 5 Beban *Pile Cap*

|             |                    |                   |
|-------------|--------------------|-------------------|
| Fc'         | 30 Mpa             |                   |
| Material    | Beton Bertulang    |                   |
| Dimensi     | B = 8 m , L = 20 m |                   |
| Tebal       | 3                  | m                 |
| Tipe        | Load (beban)       |                   |
| γ           | 24                 | kN/m <sup>3</sup> |
| Total Beban | 72                 | kN/m <sup>2</sup> |

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

Dengan:

$$q = \gamma \cdot \text{tebal} \quad (4.1)$$

$$q = 24 \cdot 3$$

$$q = 72 \text{ kN/m}^2$$

Dengan perhitungan beban sendiri *pile cap* dari Persamaan 4.2 dari (Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017) didapatkan beban *pile cap* 72 kN/m<sup>2</sup>

## 2. Bored Pile

Pada pemodelan *bored pile* dimodelkan sebagai *embedded beam* dengan menggunakan beban maksimum *bored pile* sesuai hasil data rencana Tabel 4. 6.

Tabel 4. 6 Beban *Bored Pile*

|              |                      |                   |
|--------------|----------------------|-------------------|
| Fc'          | 30 Mpa               |                   |
| Material     | Beton Bertulang      |                   |
| Dimensi      | D = 1,2 m, L = 27 m  |                   |
| COL          | 4,1 m                |                   |
| GWL          | 6,7 m                |                   |
| Tipe         | <i>Embedded beam</i> |                   |
| γ            | 24                   | kN/m <sup>3</sup> |
| Qallowable   | 5310                 | kN                |
| Qpull out/SF | 2450                 | kN                |

(Sumber: Data Proyek Jalan Tol Jogja - Solo Paket 2.2, PT Adhi Karya, 2025)

## 3. Beban Kerja (*Work Load*)

Pehitungan beban kerja disesuaikan dengan spesifikasi alat yang digunakan dalam pelaksanaan dengan alat yang digunakan merupakan PC-400 untuk pemancangan dan pencabutan *steel sheet pile* sedangkan menggunakan PC-200 dalam tahap excavasi. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan pada Tabel 4. 7 beban:

Tabel 4. 7 Beban Kerja

| Beban  | Total Beban kN/m <sup>2</sup> |                   |
|--------|-------------------------------|-------------------|
| PC-400 | 25,76                         | kN/m <sup>2</sup> |
| PC-200 | 17,5                          | kN/m <sup>2</sup> |

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

Dengan perhitungan sebagai berikut:

a. *Jacking PC-400*

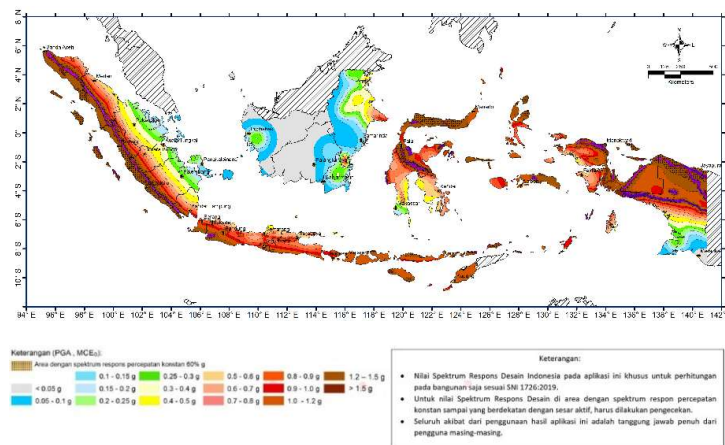
$$\begin{aligned}
 \text{Panjang alat} &= 5 \text{ m} \\
 \text{Lebar} &= 3,5 \text{ m} \\
 \text{Luas Alat} &= 3,5 \text{ m} \times 5 \text{ m} \\
 &= 17,5 \text{ m}^2 \\
 \text{Berat } \textit{Vibratory Hammer} &= 963 \text{ Kg} \\
 \text{EMV300} &= 9,45 \text{ kN} \\
 \text{Berat } \textit{Excavator} &= 45.000 \text{ Kg} \\
 &= 441,3 \text{ kN} \\
 \text{Beban } \textit{Surface} &= \frac{\text{Berat } \textit{Excavator} + \text{Berat } \textit{Hammer}}{\text{Luas } \textit{Excavator}} \\
 &= \frac{9,45 \text{ kN} + 441,3 \text{ kN}}{17,5 \text{ m}^2} \\
 &= 25,76 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

b. *Excavator PC-200*

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang alat} &= 4 \text{ m} \\
 \text{Lebar} &= 2,8 \text{ m} \\
 \text{Luas Alat} &= 5 \text{ m} \times 2,8 \text{ m} \\
 &= 11,2 \text{ m}^2 \\
 \text{Berat } \textit{Excavator} &= 20.000 \text{ Kg} \\
 &= 196,13 \text{ kN} \\
 \text{Beban } \textit{Surface} &= \frac{\text{Berat } \textit{Excavator}}{\text{Luas } \textit{Excavator}} \\
 &= \frac{196,13 \text{ kN}}{11,2 \text{ m}^2} \\
 &= 17,5 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

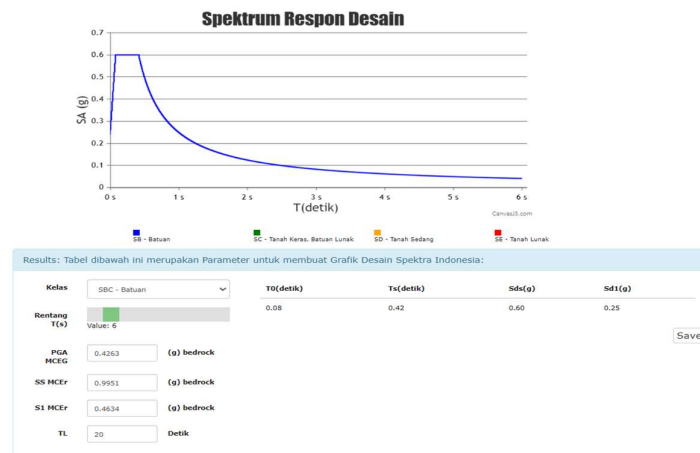
#### 4. Beban Gempa

Data beban gempa menggunakan desain spektra Indonesia dari *website* Kementerian PUPR. Acuan menggunakan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia yang terdapat pada ([rsa.ciptakarya.pu.go.id](http://rsa.ciptakarya.pu.go.id), 2021). Tol Jogja-Solo berada di wilayah Sleman, Yogyakarta yang memiliki percepatan puncak gempa atau PGA sebesar 0,4263 g. Peta zonasi gempa dan nilai spektra percepatan dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 sebagai berikut.



Gambar 4. 12 Peta Zonasi Gempa Indonesia

(Sumber: [rsa.ciptakarya.pu.go.id](http://rsa.ciptakarya.pu.go.id), 2021)



Gambar 4. 13 Nilai Spektral Percepatan Gempa Sleman

(Sumber: [rsa.ciptakarya.pu.go.id](http://rsa.ciptakarya.pu.go.id), 2021)

Dengan perhitungan beban gempa berdasarkan Tabel 2. 12 Amplifikasi untuk PGA didapatkan nilai faktor implifikasi (FPGA) = 1,1 untuk PGA 0,4. Nilai PGA dirumuskan seperti dengan Persamaan 2.9 didapatkan angka 0,46893 g

$$PGAM = PGA \times FPGA$$

$$PGAM = 0,4263 \times 1,1$$

$$PGAM = 0,46893 \text{ g}$$

Dengan nilai perhitungan rumus Kh pada Persamaan 2.10

$$Kh = 0,5 \times PGAM$$

$$Kh = 0,5 \times 0,46893 \text{ g}$$

$$Kh = 0,234465 \text{ g}$$

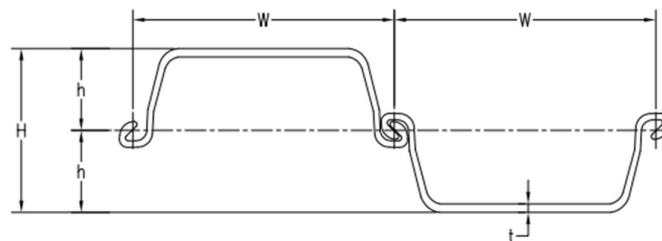
Maka didapatkan nilai input parameter beban gempa senilai  $Kh = 0,234465 \text{ g}$  pada area Sleman Yogyakarta

## 5. Beban Jalan

Konstruksi Jalan Tol Jogja – Solo Paket 2.2 berada di jalan Ringroad dengan spesifikasi lebar jalan 7 m yang merupakan jalan Nasional dirancang mampu menerima beban lalu lintas dengan beban kelas jalan 1. Beban Kelas Jalan, diidentifikasi bahwa kelas jalan nasional sebesar 20 kN/m<sup>2</sup> seperti pada Tabel 2. 10.

### 4.5 Spesifikasi *Steel Sheet Pile*

Evaluasi dengan membandingkan penggunaan spesifikasi steel sheet pile rencana dan *replacement*. Spesifikasi rencana menggunakan spesifikasi tipe N-SSPIIIA Dengan kedalaman pancang 10 meter di bawah eksisting sesuai dengan perhitungan momen rencana.



Gambar 4. 14 Spesifikasi *Steel Sheet Pile*

((Hawysteel.En, n.d.)

### 1. Perhitungan *Steel Sheet Pile*

$$\begin{aligned}
 \text{Rencana Kedalaman Total (H)} &= 10 \text{ m} \\
 \text{Tegangan diijinkan } \sigma_{all} \text{ (ASTM A-328)} &= 170 \text{ MN} \\
 &= 170000 \text{ kN} \\
 \text{Momen Maksimal} &= 967 \text{ kNm} \\
 W &= \frac{\text{Momen Maksimal}}{\sigma_t} \\
 &= \frac{967 \text{ kNm}}{170000} \\
 &= 0,0056895 \text{ m}^3 \\
 &= 5689 \text{ cm}^3 \\
 W_{total} &= \frac{W}{H} \\
 &= \frac{5689}{10} \\
 &= 593 \text{ cm}^3/\text{m} \\
 \text{Rencana Tipe N-SSP} &= \text{N-SSPIIIA} \\
 \text{Sectional Modulus} &= 1,520 \text{ cm}^3/\text{m} \\
 \text{Dengan syarat penggunaan izin } W < W_{ijin} \\
 W &< W_{ijin} \\
 593 &< 1.520
 \end{aligned}$$

Maka *Reinforcement* menggunakan tipe N-SSPIIIA dapat digunakan

Dengan spesifikasi seperti Tabel 4. 8 berikut:

Tabel 4. 8 Spesifikasi *Steel Sheet Pile N-SSPIIIA*

| Model                    | <i>Plate</i>               |                    |
|--------------------------|----------------------------|--------------------|
| Dimensi                  | W = 400 mm , h= 150 m      |                    |
| Tipe                     | <i>Elastic - Isotropic</i> |                    |
| E                        | 200000000                  | kN/m <sup>2</sup>  |
| <i>Sectional Area</i>    | 186                        | cm <sup>2</sup> /m |
| <i>Moment Inertia</i>    | 22.800                     | cm <sup>4</sup> /m |
| <i>Sectional Modulus</i> | 1.520                      | cm <sup>3</sup> /m |

|    |         |                      |
|----|---------|----------------------|
| EA | 372.000 | kN/m                 |
| EI | 4,56    | kN/m <sup>2</sup> /m |

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

#### 4.6 Penentuan Pemodelan dan Parameter Modeling FEM 2D

Pemodelan yang digunakan dalam pemodelan merupakan model *Mohr Coulumb*. Pemodelan ini membutuhkan input parameter yang akan digunakan berupa nilai kohesi ( $c$ ), sudut gesek internal ( $\phi$ ), berat volume tanah ( $\gamma_b$ ), berat volume jenuh ( $\gamma_{sat}$ ), koefisien permeabilitas ( $k$ ), modulus elastisitas ( $E$ ), dan *poisson ratio* ( $\nu$ ) yang ditunjukkan pada Tabel 4. 9. Selain itu memasukkan parameter untuk data beban yang akan diinput yaitu beban gempa, beban lalu lintas, dan beban kerja.

Tabel 4. 9 Rekapitulasi Parameter Tanah

| <i>Parameter</i>                   | <i>Medium Clay</i> | <i>Medium Clay</i> | <i>Very Stiff Clay</i> | <i>Dense Sand</i> | <i>Dense Sand</i> | <i>Very Dense Sand</i> | <i>Very Dense Sand</i> | <i>Unit</i>          |
|------------------------------------|--------------------|--------------------|------------------------|-------------------|-------------------|------------------------|------------------------|----------------------|
| <b>Kedalaman</b>                   | <b>1–2</b>         | <b>2–4</b>         | <b>4–5</b>             | <b>5–8</b>        | <b>8–1</b>        | <b>1–26</b>            | <b>26–30</b>           | <b>(m)</b>           |
| <b>N-SPT</b>                       | 5                  | 7                  | 21                     | 41                | 31                | 50                     | 15                     | -                    |
| <b><math>\gamma_{sat}</math></b>   | 16                 | 16                 | 18                     | 18                | 18                | 19                     | 19                     | (kN/m <sup>3</sup> ) |
| <b><math>\gamma_{unsat}</math></b> | 16,5               | 16,5               | 18,5                   | 18,5              | 18,5              | 19,5                   | 19,5                   | (kN/m <sup>3</sup> ) |
| <b>c</b>                           | Korelasi           | 25,48              | 35,44                  | 105,18            | 19,74             | 17,43                  | 21,72                  | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|                                    | Lab                | 39,24              | 39,24                  | 39,24             | 39,24             | 39,24                  | 39,24                  | (kN/m <sup>2</sup> ) |
|                                    | Use                | 24,50              | 30                     | 55                | 29                | 18                     | 22                     | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| <b><math>\phi</math></b>           | Korelasi           | 11,81              | 12,25                  | 15,34             | 45,15             | 40,89                  | 48,98                  | (°)                  |
|                                    | Lab                | 11                 | 11                     | 11                | 12                | 12                     | 15                     | (°)                  |
|                                    | Use                | 1                  | 1                      | 1                 | 41                | 36                     | 41                     | (°)                  |
| <b>E</b>                           | 45599,79           | 6537,07            | 20098,03               | 49581,48          | 37677,48          | 60295,08               | 60295,08               | (kN/m <sup>2</sup> ) |
| <b>v</b>                           | 0,35               | 0,35               | 0,30                   | 0,25              | 0,30              | 0,25                   | 0,25                   | -                    |
| <b>Kx, Ky</b>                      | 0,000864           | 0,000864           | 0,000864               | 0,00000864        | 0,0000864         | 0,00000864             | 0,00000864             | (m/day)              |

#### 4.7 Evaluasi Numeris Lereng Tanpa Perkuatan

Galian yang ada pada *pile cap* memiliki kemiringan 1:1 yang berada pada tengah jalan nasional Jalan Ringroad memiliki resiko kelongsoran pada galian yang digunakan dalam pelaksanaan pekerjaan *pile cap*, dengan tahapan pekerjaan pada Tabel 4. 10. Evaluasi akan menghasilkan data apakah angka kemanan atau *safety factor* pada galian cukup apabila tidak diberikan perkuatan sementara. Aspek yang dihasilkan dalam evaluasi lereng eksisting ini adalah deformasi tanah dan *safety factor* tanah. Apabila lereng memiliki *safety factor*  $\geq 1,3$  maka dapat disimpulkan bahwa lereng aman dan apabila kurang dari angka tersebut dapat dikatakan lereng galian beresiko longor. Dalam evaluasi *steel sheet pile* adalah *safety factor* dan deformasi pergeseran dari *steel sheet pile*. Sehingga untuk mencegah kegagalan dan adanya deformasi. Hasil parameter didapatkan dari hasil korelasi yang didapatkan dengan nilai N-SPT dan di validasi dengan adanya pergeseran yang terjadi di area galian *pile cap*.

Tabel 4. 10 Tahapan Fase Konstruksi Galian *Pile Cap* tanpa Perkuatan

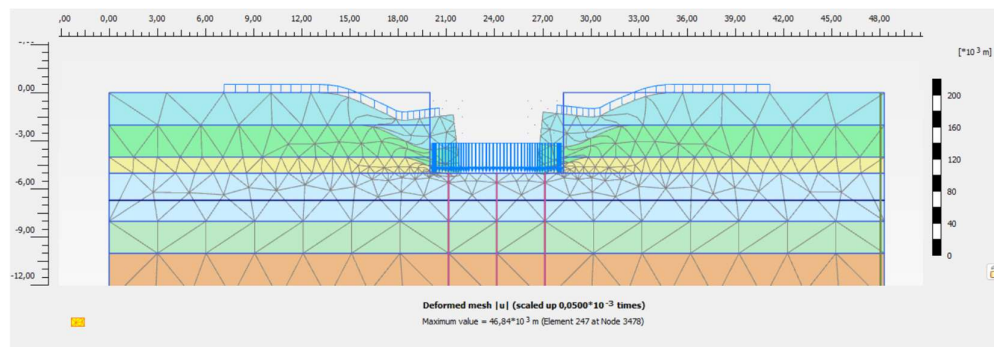
| Fase | Tahapan Konstruksi        | Keterangan                                                                                      |
|------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | <i>Intial Phase</i>       | Kondisi awal sebelum konstruksi dimulai                                                         |
| 2    | Beban Jalan               | Beban Jalan Nasional sebesar 20 kN/m <sup>2</sup>                                               |
| 3    | Beban Kerja               | Beban <i>Excavator</i> sebesar 17,5 kN/m <sup>2</sup>                                           |
| 4    | Galian per 0,5 m, + 0,5m  | Penggalian dan pembobokan dengan dan tambahan beban <i>Excavator</i> seb 17,5 kN/m <sup>2</sup> |
| 5    | Galian per 0,5 m, + 1 m   | Penggalian dan pembobokan dengan dan tambahan beban <i>Excavator</i> seb 17,5 kN/m <sup>2</sup> |
| 6    | Galian per 0,5 m, + 1,5 m | Penggalian dan pembobokan dengan dan tambahan beban <i>Excavator</i> seb 17,5 kN/m <sup>2</sup> |
| 7    | Galian per 0,5 m, + 2 m   | Penggalian dan pembobokan dengan dan tambahan beban <i>Excavator</i> seb 17,5 kN/m <sup>2</sup> |
| 8    | Galian per 0,5 m, + 2,5 m | Penggalian dan pembobokan dengan dan tambahan beban <i>Excavator</i> seb 17,5 kN/m <sup>2</sup> |

| Fase | Tahapan Konstruksi        | Keterangan                                                                                      |
|------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9    | Galian per 0,5 m, + 3 m   | Penggalian dan pembobokan dengan dan tambahan beban <i>Excavator</i> seb 17,5 kN/m <sup>2</sup> |
| 10   | Galian per 0,5 m, + 3,5 m | Penggalian dan pembobokan dengan dan tambahan beban <i>Excavator</i> seb 17,5 kN/m <sup>2</sup> |
| 11   | Galian per 0,5 m, + 4 m   | Penggalian dan pembobokan dengan dan tambahan beban <i>Excavator</i> seb 17,5 kN/m <sup>2</sup> |
| 12   | Galian per 0,5 m, + 4,5 m | Penggalian dan pembobokan dengan dan tambahan beban <i>Excavator</i> seb 17,5 kN/m <sup>2</sup> |
| 14   | Galian per 0,5 m, + 5 m   | Penggalian final dengan tambahan beban <i>Excavator</i> sebesar 17,5 KN/m                       |
| 15   | Pekerjaan <i>Pile Cap</i> | Penambahan beban <i>pile cap</i> seberat 72 KN/m/m                                              |

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

#### 4.7.1 Output Lereng Eksisting

Output analisis numeris berupa parameter desain *steel sheet pile* seperti faktor kemanan dan pergerakan *steel sheet pile*. Dari hasil evaluasi FEM 2D didapat pada fase galian di level COL pada kedalaman 5 meter terjadi longsor seperti pada Gambar 4. 15 yang mengakibatkan pekerjaan *pile cap* terganggu dengan nilai ***safety factor 1,16***



Gambar 4. 15 Kondisi Lereng Eksisting tanpa Perkuatan

Sehingga diperlukan perkuatan tambahan untuk dapat menjadi penahan tanah di area galian. Perkuatan ini dilakukan untuk mencapai stabilitas lereng dengan

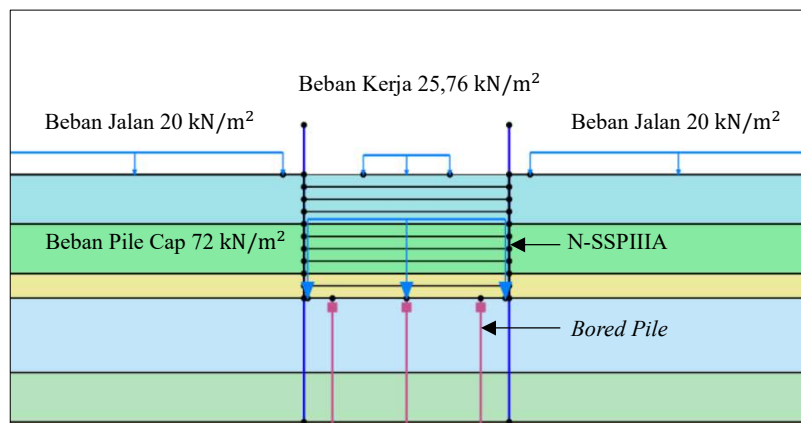
menggunakan *steel sheet pile*. perkuatan ini akan mengurangi potensi longsor saat tanah terkena tekanan beban lalu lintas dan *work load*. berdasarkan Tabel 4. 1 mengenai jenis tanah, tanah memiliki konsistensi *medium clay* sehingga tergolong cukup rawan longsor sehingga mempengaruhi pekerjaan pile cap pada masa pembobokan, pembesian, sampai dengan *curing* beton *pile cap*. dengan itu diberikan alternatif menggunakan struktur sementara *steel sheet pile*, pemilihan *steel sheet pile* ini dinilai lebih efisien dan sesuai secara teknis serta ekonomis, data proyek memberikan alternatif penggunaan *steel sheet pile* dengan tipe N-SSPIIIA dengan perhitungan pada Tabel 4. 8 dan sesuai dengan ketentuan yang telah disetujui dalam Spesifikasi teknik konstruksi Jalan Tol Yogyakarta-Solo Paket 2.2.

#### 4.8 Evaluasi Numeris Lereng dengan *Reinforcement*

Analisis numeris dengan menggunakan tambahan perkuatan *steel sheet pile* dengan tipe N-SSPIIIA dengan spesifikasi seperti Tabel 4. 8 Spesifikasi *Steel Sheet Pile* dengan menggunakan parameter korelasi yang digunakan.

##### 4.8.1 Geometri Lereng dengan perkuatan

Geometri lereng perkuatan diambil dari pembebanan jalan, beban kerja, beban gempa, dan beban *pile cap*. Diberikan tambahan struktur sementara *steel sheet pile* sebagai penahan struktur sementara seperti pada Gambar 4. 16.



Gambar 4. 16 Geometri Galian

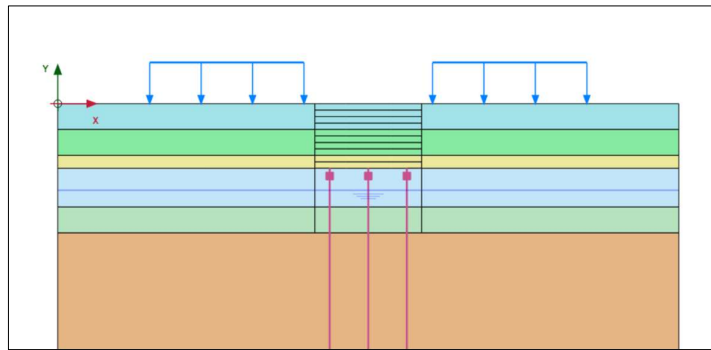
(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

#### 4.8.2 Tahapan pemodelan dengan FEM 2D

*Stage construction* digunakan untuk merepresentasikan tahapan konstruksi secara bertahap. Setiap tahap mencerminkan urutan pekerjaan di lapangan, seperti penggalian, penimbunan, atau pembebanan.

##### 1. Fase 1 : Tahapan Kondisi Awal

Pada tahapan awal berupa kondisi sebelum dimulai konstruksi (*Initial phase*) dengan kondisi dengan kondisi tekanan tanah air phreatic. Tahapan awal konstruksi ini dengan kondisi *steel sheet pile* belum terpancang. Beban yang bekerja seperti beban jalan raya  $20 \text{ kN/m}^2$ , struktur *bored pile* sudah pada batas *cut off level*, dan muka air tanah pada kedalaman - 6,7 meter seperti pada Gambar 4. 17.

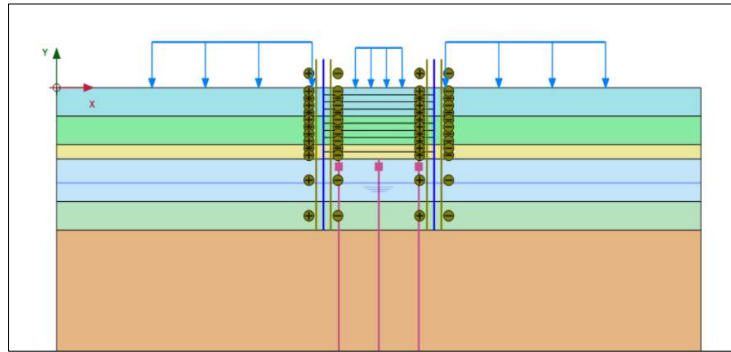


Gambar 4. 17 Hasil *Modeling* Tahapan Kondisi Awal

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

##### 2. Fase 2 : Pemasangan *Steel Sheet Pile*

Pada tahapan pemasangan *steel sheet pile* berupa kondisi “plate” dengan panjang 12 meter dipancang 10 meter di bawah tanah. Dengan tekanan air tanah yaitu *Use pressures from the previous phase* atau sesuai fase sebelumnya. Dengan penambahan beban kerja PC-400 sebesar  $25,76 \text{ kN/m}^2$  seperti pada Gambar 4. 18.

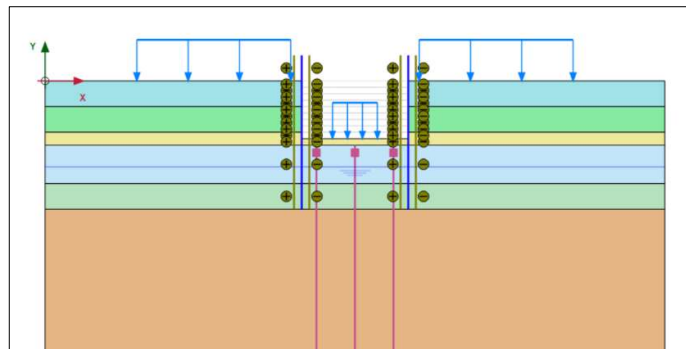


Gambar 4. 18 Hasil *Modeling* Tahapan *Steel Sheet Pile*

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

### 3. Fase 3: Galian 1, -0,5 m

Pada tahapan galian tanah dilakukan kondisi galian setelah perkuatan *steel sheet pile* dengan penggalian pertama sedalam 0,5 m dengan kondisi sampai -0,5 m Dengan tekanan air tanah yaitu *Use pressures from the previous phase* atau tekanan air tanah yang akan dilanjut sesuai dengan kondisi fase sebelumnya. Ditambahkan dengan beban kerja berupa alat berat *excavator* yang berfungsi dalam penggalian tanah dengan beban sebesar  $17,5 \text{ kN/m}^2$  seperti Gambar 4. 19.



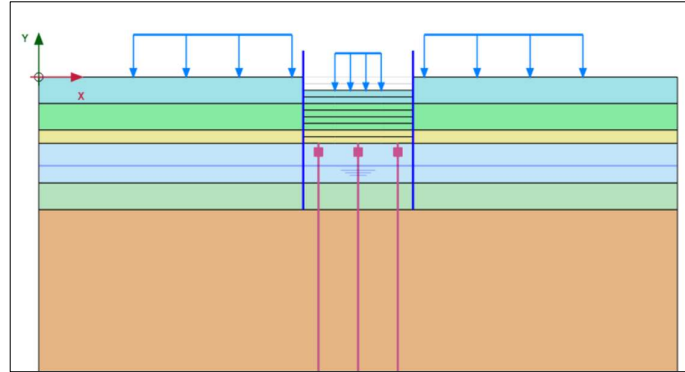
Gambar 4. 19 Hasil *Modeling* Tahapan Galian 1

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

### 4. Fase 4: Galian 2, -1,00 m

Pada tahapan penggalian kedua sedalam -1,00 m. Dengan tekanan air tanah yaitu *Use pressures from the previous phase* atau tekanan air tanah yang akan

dilanjut sesuai dengan kondisi fase sebelumnya. Ditambahkan dengan beban kerja berupa alat berat *excavator* yang berfungsi dalam penggalian tanah dengan beban sebesar  $17,5 \text{ kN/m}^2$  Gambar 4. 20.

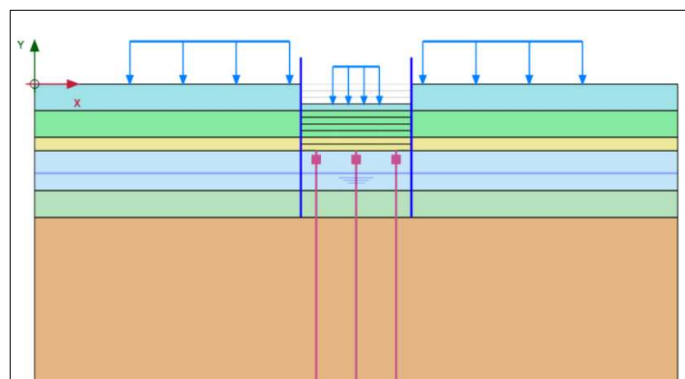


Gambar 4. 20 Hasil *Modeling* Tahapan Galian 2

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

#### 5. Fase 5: Galian 3, -1,50 m

Pada tahapan penggalian ketiga sedalam -1,50 m. Dengan tekanan air tanah yaitu *Use pressures from the previous phase* atau tekanan air tanah yang akan dilanjut sesuai dengan kondisi fase sebelumnya. Ditambahkan dengan beban kerja berupa alat berat *excavator* yang berfungsi dalam penggalian tanah dengan beban sebesar  $17,5 \text{ kN/m}^2$  seperti pada Gambar 4. 21.

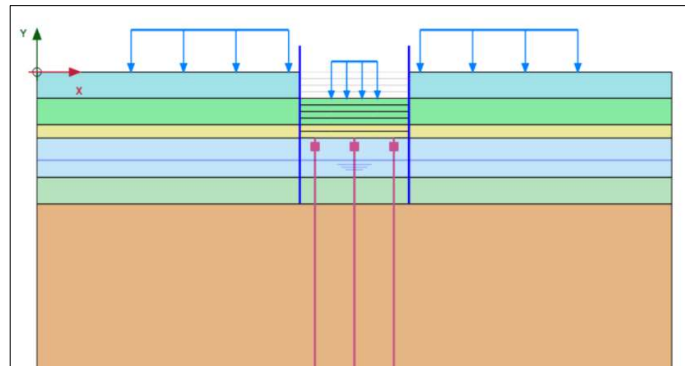


Gambar 4. 21 Hasil *Modeling* Tahapan Galian 3

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

## 6. Fase 6: Galian 4, -2,00 m

Pada tahapan penggalian ke empat sedalam -2,00 m. Dengan tekanan air tanah yaitu *Use pressures from the previous phase* atau tekanan air tanah yang akan dilanjut sesuai dengan kondisi fase sebelumnya. Ditambahkan dengan beban kerja berupa alat berat *excavator* yang berfungsi dalam penggalian tanah dengan beban sebesar  $17,5 \text{ kN/m}^2$  seperti pada Gambar 4. 22.

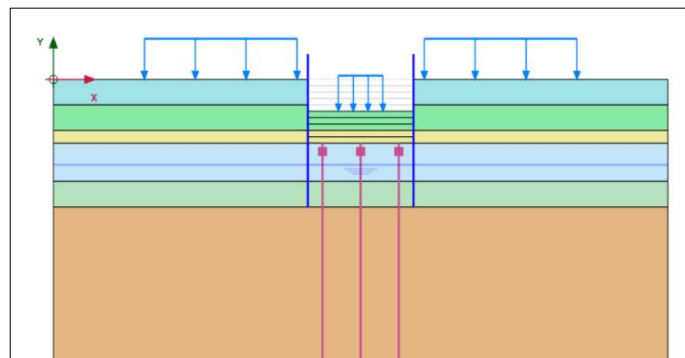


Gambar 4. 22 Hasil *Modeling* Tahapan Galian 4

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

## 7. Fase 7: Galian 5, -2,50 m

Pada tahapan penggalian kelima sedalam -2,50 m. Dengan tekanan air tanah yaitu *Use pressures from the previous phase* atau tekanan air tanah yang akan dilanjut sesuai dengan kondisi fase sebelumnya. Ditambahkan dengan beban kerja berupa alat berat *excavator* yang berfungsi dalam penggalian tanah dengan beban sebesar  $17,5 \text{ kN/m}^2$  seperti pada Gambar 4. 23.

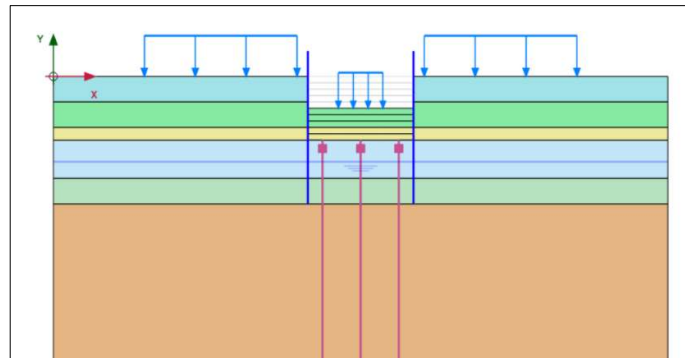


Gambar 4. 23 Hasil *Modeling* Tahapan Galian 5

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

### 8. Fase 8: Galian 6, -3,00 m

Pada tahapan penggalian ke enam sedalam -3,00 m. Dengan tekanan air tanah yaitu, *Use pressures from the previous phase* atau tekanan air tanah yang akan dilanjut sesuai dengan kondisi fase sebelumnya. Ditambahkan dengan beban kerja berupa alat berat *excavator* yang berfungsi dalam penggalian tanah dengan beban sebesar  $17,5 \text{ kN/m}^2$  seperti pada Gambar 4. 24.

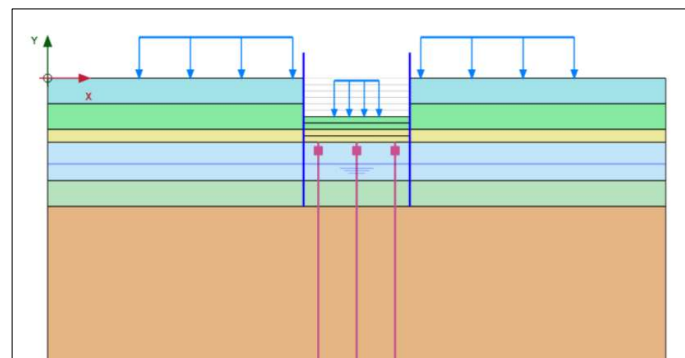


Gambar 4. 24 Hasil *Modeling* Tahapan Galian 6

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

### 9. Fase 9: Galian 7, -3,50 m

Pada tahapan penggalian ketujuh sedalam -3,50 m. Dengan tekanan air tanah yaitu, *Use pressures from the previous phase* atau tekanan air tanah yang akan dilanjut sesuai dengan kondisi fase sebelumnya. Ditambahkan dengan beban kerja berupa alat berat *excavator* yang berfungsi dalam penggalian tanah dengan beban sebesar  $17,5 \text{ kN/m}^2$  seperti pada Gambar 4. 25.

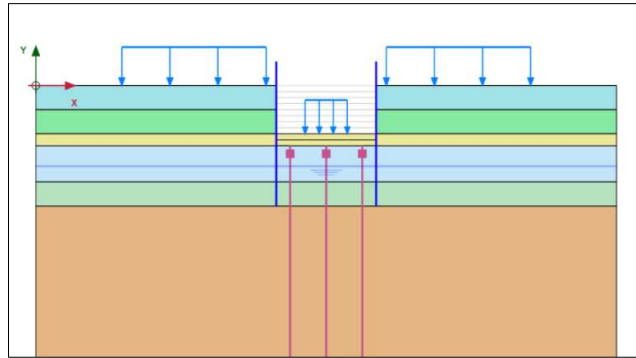


Gambar 4. 25 Hasil *Modeling* Tahapan Galian 7

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

#### 10. Fase 10: Galian 8, -4,00 m

Pada tahapan penggalian ke sepuluh sedalam -4,00 m. Dengan tekanan air tanah yaitu, *Use pressures from the previous phase* atau tekanan air tanah yang akan dilanjut sesuai dengan kondisi fase sebelumnya. Ditambahkan dengan beban kerja berupa alat berat *excavator* yang berfungsi dalam penggalian tanah dengan beban sebesar  $17,5 \text{ kN/m}^2$  seperti pada Gambar 4. 26.

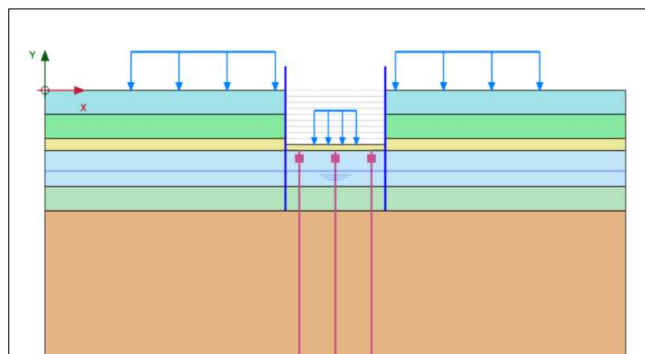


Gambar 4. 26 Hasil *Modeling* Tahapan Galian 8

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

#### 11. Fase 11: Galian 9, -4,50 m

Pada tahapan penggalian ke sepuluh sedalam -4,00 m. Dengan tekanan air tanah yaitu, *Use pressures from the previous phase* atau tekanan air tanah yang akan dilanjut sesuai dengan kondisi fase sebelumnya. Ditambahkan dengan beban kerja berupa alat berat *excavator* yang berfungsi dalam penggalian tanah dengan beban sebesar  $17,5 \text{ kN/m}^2$  seperti pada Gambar 4. 27.

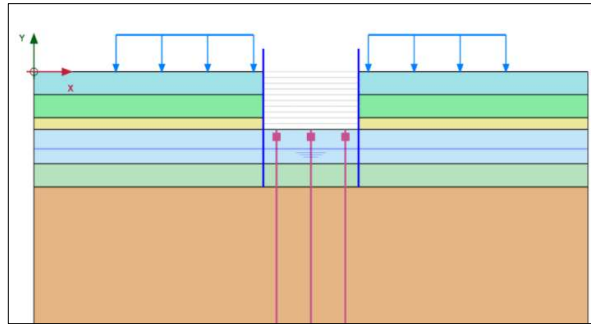


Gambar 4. 27 Hasil *Modeling* Tahapan Galian 8

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

## 12. Fase 12: Galian 10 *Final Excavasi*, -5,00 m

Pada tahapan penggalian ke sepuluh sedalam -4,00 m. Dengan tekanan air tanah yaitu, *Use pressures from the previous phase* atau tekanan air tanah yang akan dilanjut sesuai dengan kondisi fase sebelumnya. Ditambahkan dengan beban kerja berupa alat berat *excavator* yang berfungsi dalam penggalian tanah dengan beban sebesar  $17,5 \text{ kN/m}^2$  seperti pada Gambar 4. 28.

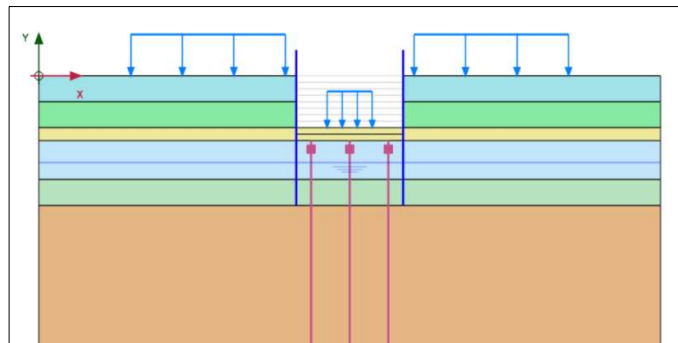


Gambar 4. 28 Hasil *Modeling* Tahapan Galian 10

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

## 13. Fase 13: Pembebanan *Ultimate Load*

Pada tahapan pembebanan *pile cap* dimana kondisi memodelkan *pile cap* pada titik galian P46 dengan lebar 8 meter dengan selisih jarak 0,15 m dari *sheet pile* seperti kondisi aktual pada lapangan. Pembebanan *pile cap* dengan beban seberat  $72 \text{ kN/m}^2$  sesuai dengan perhitungan data beban Tabel 4. 5. Ditunjukkan pada Gambar 4. 29.

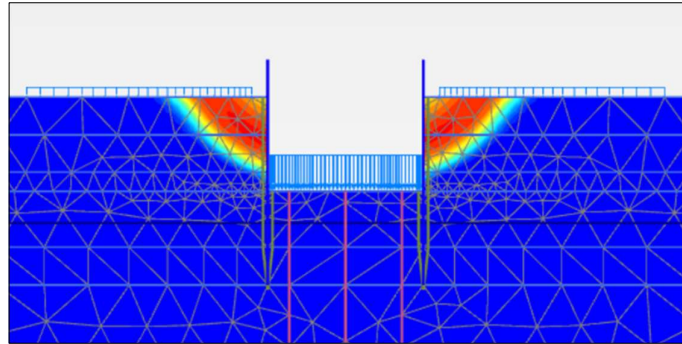


Gambar 4. 29 Hasil *Modeling* Tahapan Pembebanan *Pile Cap*

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

#### 4.8.3 Output Evaluasi Numeris Kondisi dengan *Reinforcement*

##### 1. *Safety Factor*



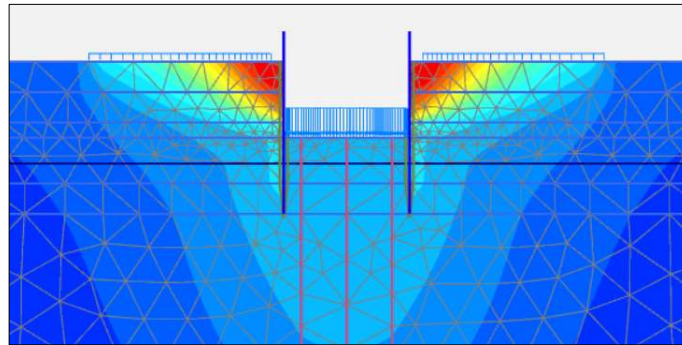
Gambar 4. 30 *Safety Analysis Msf Fase Ultimate Load*

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

Evaluasi ditinjau pada saat *stage ultimate load* pada saat pembebanan *pile cap* dengan dimensi 8 x 3 meter dengan total beban 72 kN/m<sup>2</sup>. Fase ini merupakan kondisi dimana beberapa faktor bekerja bersamaan, yakni beban vertikal dari *pile cap*, beban lalu lintas, serta beban kerja konstruksi. Selain itu fase ini kondisi galian telah mencapai 5 meter sehingga berpengaruh signifikan terhadap kestabilan struktur *steel sheet pile*. Dari hasil analisis FEM 2D didapatkan nilai *safety factor* senilai 1,728 untuk kondisi *final excavasi* dan dengan beban *pile cap* senilai 1,560. Mengacu pada Tabel 2. 9 mengenai batas minimum faktor keamanan lereng, kedua nilai tersebut berada diatas nilai minimum yang disyaratkan. Gambar 4. 30 menunjukkan hasil analisis *safety factor* pada model FEM 2D. Warna pada gambar merepresentasikan tingkat keamanan tanah, dimana warna merah menandakan area dengan mobilisasi tegangan maksimum, yaitu zona yang paling mendekati kondisi keruntuhan. Sedangkan bagian bawah dan sisi luar dinding menunjukkan warna biru, yang menandakan zona dengan tegangan rendah atau stabil. Evaluasi pada tahapan akhir di pada fase *ultimate load*, dilakukan aktivasi beban gempa dengan pendekatan *pseudostatik*. Fase ini menggambarkan kondisi kritis dari *steel sheet pile* pada saat fase gempa, nilai gempa didapatkan dari perhitungan dari Persamaan 2.10 dengan nilai akhir 0,23446 g. Pengaruh gempa diuji dalam dua arah yaitu Gempa Positif (+) dan Gempa Negatif (-) untuk menggambarkan respon struktur

terhadap gaya gempa secara realistis. Hasil evaluasi gempa mendapatkan nilai *safety factor* **1,332**.

## 2. Displacement Steel Sheet Pile



Gambar 4. 31 *Total Displacement Fase Ultimate Load*

Dikarenakan aspek penting yang ditinjau dari evaluasi adalah besar pergeseran atau *displacement* dari *steel sheet pile* untuk mencegah terjadinya pengaruh kemiringan *sheet pile* yang beresiko mengalami pergerakan dan akan menyentuh *pile cap*. Hasil evaluasi numeris berupa kurva pergeseran *steel sheet pile* yang akan di wakili titik *steel sheet pile* dengan kontrol pergeseran kurang dari *displacement control limit* berdasarkan Persamaan (2.9) yaitu,

$$\Delta x = 0,01 \times \text{Tinggi Struktur}$$

$$\Delta x = 0,01 \times 10 \text{ m}$$

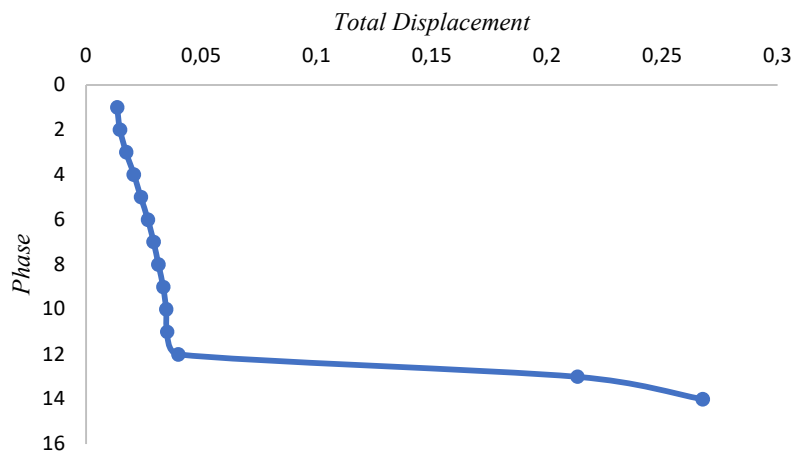
$$\Delta x = 0,1 \text{ m}$$

Dengan *control limit* sebesar 0,1 meter, dari hasil evaluasi didapatkan pergeseran tiap fase sebagai berikut:

- 1) **Fase Initial Phase** yaitu tahapan pekerjaan awal dengan beban jalan sebesar 20 kN/m<sup>2</sup> dan muka air pada kedalaman -6,7 meter
- 2) **Fase 1** yaitu tahapan pekerjaan pemancangan *Sheet Pile* dengan tipe N-SSPIIIA dengan kedalaman pancang 10 meter di bawah tanah eksisting yang dipancang menggunakan alat *Excavator Hammer* dengan beban 25,76 kN/m<sup>2</sup>. Dari grafik *Total Displacement steel sheet pile* yang terjadi pada fase adalah 0,017 m.
- 3) **Fase 2 - 11** yaitu tahapan pekerjaan galian dengan *excavator* PC-200 dengan beban 17,5 kN/m<sup>2</sup>, pada kondisi ini didapatkan nilai faktor aman dan total

*displacement* pada *steel sheet pile* pada galian + 0,5 m, kedalaman 5 meter yang ada pada fase 11 . *Total Displacement steel sheet pile* 0,035 m

- 4) **Fase 12** yaitu tahapan merepresentasikan *ultimate loading stage* pada saat pembebanan *pile cap* dengan dimensi 8 x 3 meter dengan total beban 72 Kn/m/m. Fase ini merupakan kondisi paling kritis dimana beberapa faktor bekerja bersamaan, yakni beban vertikal dari *pile cap*, beban lalu lintas, serta beban kerja konstruksi. Selain itu fase ini kondisi galian telah mencapai 5 meter sehingga berpengaruh signifikan terhadap kestabilan struktur *steel sheet pile*. Dari grafik *Total Displacement steel sheet pile* 0,04 m
- 5) **Fase 13** yaitu pada tahapan akhir di pada fase 12 atau pada saat *ultimate loading stage*, dilakukan aktivasi beban gempa dengan pendekatan *pseudostatik*. Fase ini menggambarkan kondisi kritis dari *steel sheet pile* pada saat fase gempa, nilai gempa didapatkan dari perhitungan dari Persamaan 2. 10 dengan nilai akhir 0,23 g. Pengaruh gempa diuji dalam dua arah yaitu gempa positif (+) dan gempa negatif (-) untuk menggambarkan respon struktur terhadap gaya gempa secara realistis. Hasil evaluasi gempa (+) memperoleh *Total Displacement steel sheet pile* 0,21 m. Dan hasil evaluasi gempa (-) *steel sheet pile* memperoleh *Total Displacement steel sheet pile* 0,26 m



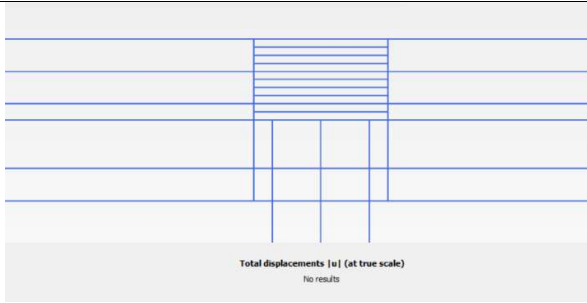
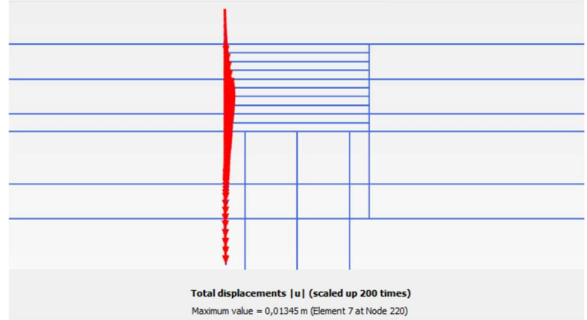
Gambar 4. 32 Grafik *Displacement Steel Sheet Pile*

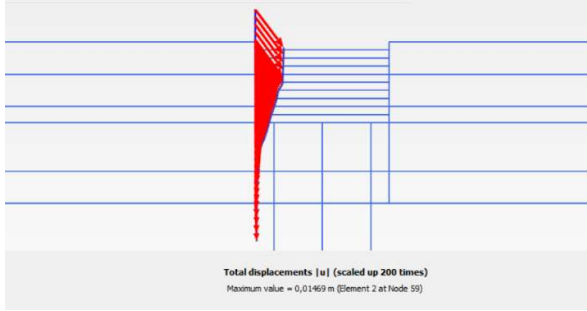
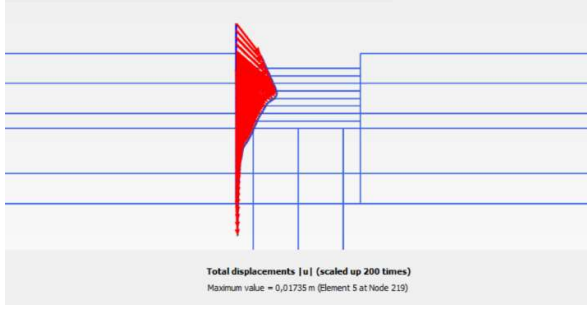
(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

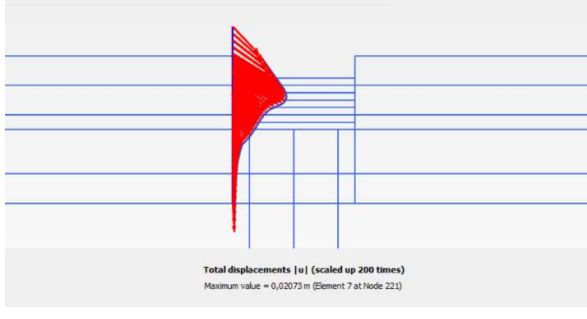
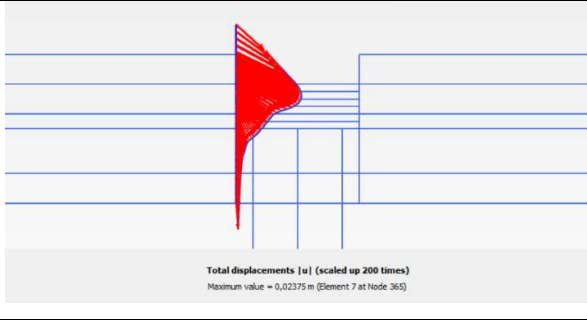
Total *displacement* ditunjukkan dalam grafik pada Gambar 4. 32 dan Tabel 4. 11 terdapat output dalam menggunakan pemodelan FEM 2D dalam setiap fase *displacement steel sheet pile*.

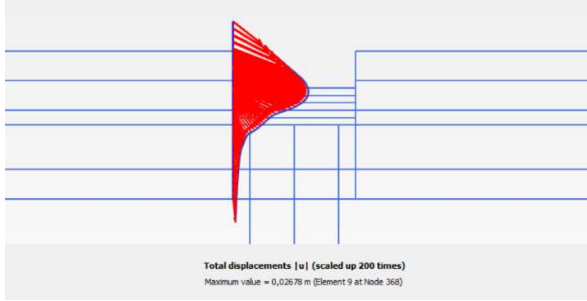
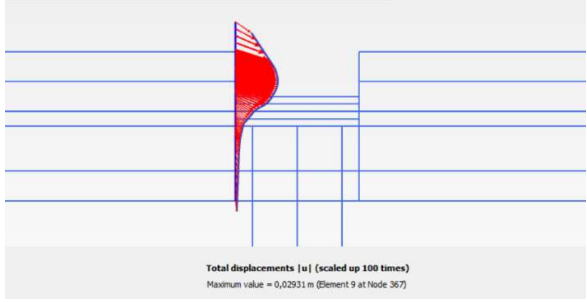
Pada Tabel 4. 11 analisis ini dimulai dari fase awal pemancangan *steel sheet pile*, dilanjutkan dengan fase penggalian bertahap, hingga fase akhir yaitu kondisi pembebanan maksimum saat masa *curing* pada struktur *pile cap*. Nilai perpindahan total (*total displacement*) yang dianalisis diambil dari area yang paling dekat dengan zona kerja *pile cap*, karena fokus utama penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah *sheet pile* memberikan dampak terhadap stabilitas dan integritas struktur *pile cap* yang berada di sekitarnya. Dalam hal ini, digunakan nilai *control limit* sebesar 0,1 meter sebagai batas maksimum toleransi perpindahan lateral. Berdasarkan hasil pemodelan, seluruh kondisi simulasi menunjukkan nilai perpindahan jauh di bawah batas kontrol tersebut. Pada fase paling kritis, yaitu saat beban maksimum (*ultimate load*) atau fase *curing pile cap*, perpindahan maksimum tercatat sebesar 0,04003 meter. Nilai ini menunjukkan bahwa penggunaan *steel sheet pile* tidak mengganggu kestabilan *pile cap* dan secara keseluruhan masih dalam batas aman, serta memenuhi persyaratan kontrol deformasi pada pekerjaan konstruksi di area kerja terbatas.

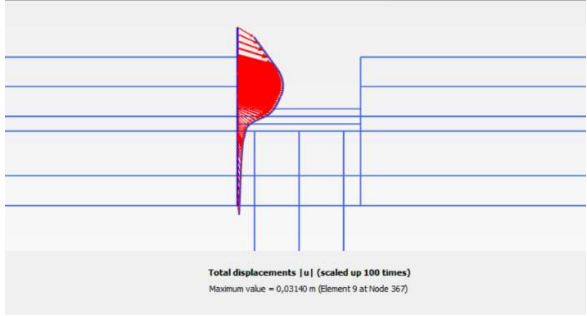
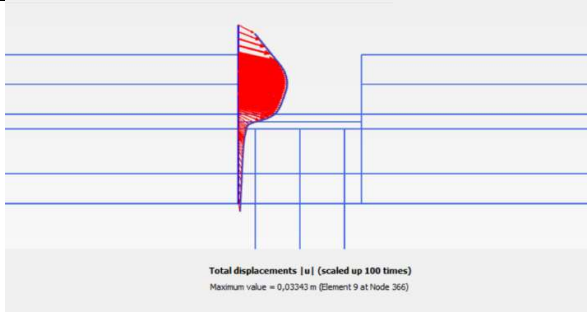
Tabel 4. 11 Output *Displacement Steel Sheet Pile*

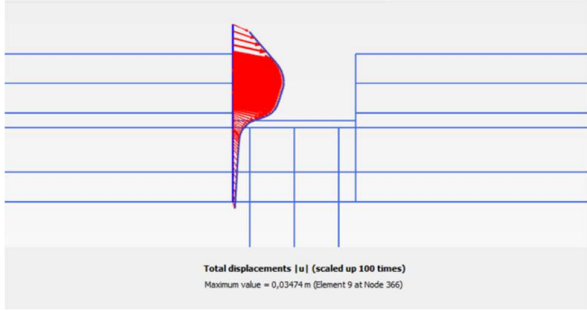
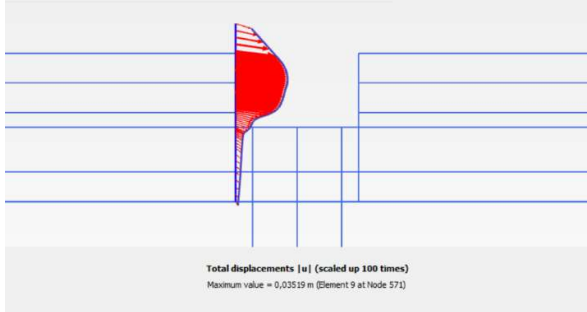
| No | Gambar                                                                             | Kondisi                                                                                          | Total Displacement Steel Sheet Pile (m) | Control Limit $\Delta x < 0,1\text{m}$ |
|----|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| 1  |   | <i>Initial Phase</i>                                                                             | -                                       | -                                      |
| 2  |  | Pemancangan <i>steel sheet pile</i> dan Beban Kerja <i>Hammer</i> sebesar $25,76 \text{ kN/m}^2$ | 0,01345                                 | Memenuhi                               |

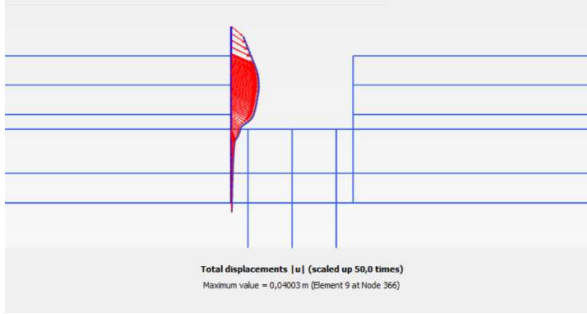
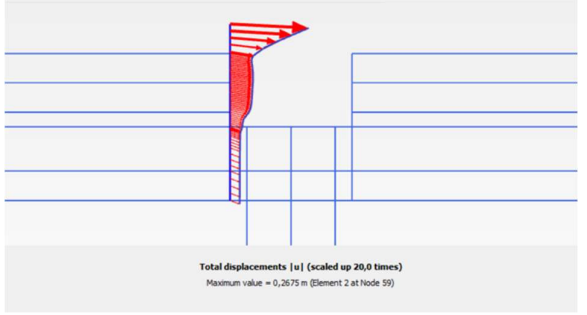
| No | Gambar                                                                                                                                                                                        | Kondisi                                                                                   | Total Displacement<br>Steel Sheet Pile<br>(m) | Control Limit<br>$\Delta x < 0,1\text{m}$ |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 3  |  <p>Total displacements [u] (scaled up 200 times)<br/>Maximum value = 0,01469 m (Element 2 at Node 59)</p>   | Penggalian tanah -0,5 m dengan beban kerja <i>Excavator</i> sebesar $17,5 \text{ kN/m}^2$ | 0,01469                                       | Memenuhi                                  |
| 4  |  <p>Total displacements [u] (scaled up 200 times)<br/>Maximum value = 0,01735 m (Element 5 at Node 219)</p> | Penggalian tanah -1,0 m dengan beban kerja <i>Excavator</i> sebesar $17,5 \text{ kN/m}^2$ | 0,01735                                       | Memenuhi                                  |

| No | Gambar                                                                                                                                                                                        | Kondisi                                                                                    | Total Displacement<br>Steel Sheet Pile<br>(m) | Control Limit<br>$\Delta x < 0,1\text{m}$ |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 5  |  <p>Total displacements  u  (scaled up 200 times)<br/>Maximum value = 0,02073 m (Element 7 at Node 221)</p>  | Penggalian tanah -1,5 m dengan beban kerja <i>Excavator</i> sebesar 17,5 kN/m <sup>2</sup> | 0,02073                                       | Memenuhi                                  |
| 6  |  <p>Total displacements  u  (scaled up 200 times)<br/>Maximum value = 0,02375 m (Element 7 at Node 365)</p> | Penggalian tanah -2,0 m dengan beban kerja <i>Excavator</i> sebesar 17,5 kN/m <sup>2</sup> | 0,02375                                       | Memenuhi                                  |

| No | Gambar                                                                                                                                                                                        | Kondisi                                                                                   | Total Displacement Steel Sheet Pile (m) | Control Limit $\Delta x < 0,1\text{m}$ |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| 7  |  <p>Total displacements [u] (scaled up 200 times)<br/>Maximum value = 0,02678 m (Element 9 at Node 368)</p>  | Penggalian tanah -2,5 m dengan beban kerja <i>Excavator</i> sebesar $17,5 \text{ kN/m}^2$ | 0,02678                                 | Memenuhi                               |
| 8  |  <p>Total displacements [u] (scaled up 100 times)<br/>Maximum value = 0,02931 m (Element 9 at Node 367)</p> | Penggalian tanah -3,0 m dengan beban kerja <i>Excavator</i> sebesar $17,5 \text{ kN/m}^2$ | 0,02931                                 | Memenuhi                               |

| No | Gambar                                                                             | Kondisi                                                                                    | Total Displacement<br>Steel Sheet Pile<br>(m) | Control Limit<br>$\Delta x < 0,1\text{m}$ |
|----|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 9  |   | Penggalian tanah -3,5 m dengan beban kerja <i>Excavator</i> sebesar 17,5 kN/m <sup>2</sup> | 0,0314                                        | Memenuhi                                  |
| 10 |  | Penggalian tanah -4,0 m dengan beban kerja <i>Excavator</i> sebesar 17,5 kN/m <sup>2</sup> | 0,03343                                       | Memenuhi                                  |

| No | Gambar                                                                                                                                                                                        | Kondisi                                                                                    | Total Displacement<br>Steel Sheet Pile<br>(m) | Control Limit<br>$\Delta x < 0,1\text{m}$ |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 11 |  <p>Total displacements [u] (scaled up 100 times)<br/>Maximum value = 0,03474 m (Element 9 at Node 360)</p>  | Penggalian tanah -4,5 m dengan beban kerja <i>Excavator</i> sebesar 17,5 kN/m <sup>2</sup> | 0,03474                                       | Memenuhi                                  |
| 12 |  <p>Total displacements [u] (scaled up 100 times)<br/>Maximum value = 0,03519 m (Element 9 at Node 571)</p> | Penggalian tanah -5,0 m dengan beban kerja <i>Excavator</i> sebesar 17,5 kN/m <sup>2</sup> | 0,03519                                       | Memenuhi                                  |

| No | Gambar                                                                             | Kondisi                                                           | Total Displacement<br>Steel Sheet Pile<br>(m) | Control Limit<br>$\Delta x < 0,1\text{m}$ |
|----|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 13 |   | Fase <i>ultimate load</i> beban <i>pile cap</i> seberat 72 kN/m/m | 0,04003                                       | Memenuhi                                  |
| 14 |  | Beban <i>Pseudostatik</i> Gempa                                   | 0,2132                                        | Memenuhi                                  |

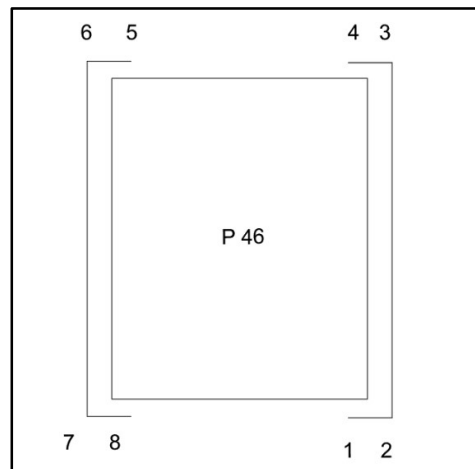
(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

## 4.9 Validasi Data Parameter Pemodelan Terhadap *Displacement*

Evaluasi ini dilakukan untuk mengetahui parameter tanah yang paling sesuai dengan kondisi aktual di lapangan, terutama dilihat dari pengaruh parameter kohesi ( $c$ ) terhadap respon perpindahan (*displacement*) *steel sheet pile*. Dalam evaluasi ini digunakan tiga model parameter pemodelan, yaitu menggunakan data parameter dari pengujian N-SPT, hasil uji laboratorium, dan penyesuaian korelasi yang dimodifikasi. Pemodelan ini akan menilai stabilitas berdasarkan nilai  $c$  untuk melakukan validasi hasil pemodelan.

### 4.9.1 Data Koordinat Aktual Perpindahan *Steel Sheet Pile*

Data aktual lapangan diperoleh dari hasil pengukuran koordinat titik sheet pile yang dilakukan oleh surveyor proyek menggunakan alat *theodolite*, pengukuran dilakukan saat awal pemasangan dan pada saat beton *pile cap* sudah tercor dengan beban maksimum. Hasil pengukuran ini menunjukkan besarnya pergeseran aktual yang terjadi pada struktur di lapangan seperti pada Gambar 4. 33 dan Tabel 4. 12.



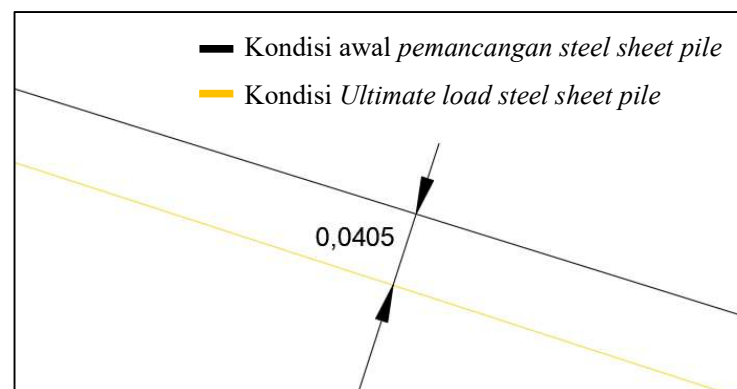
Gambar 4. 33 Koordinat Titik *Steel Sheet Pile*

Tabel 4. 12 Tabel Titik Koordinat *Steel Sheet Pile*

| No | Kondisi Awal<br>Pemancangan |             | Kondisi Final <i>Load</i><br>Pemancangan |             |
|----|-----------------------------|-------------|------------------------------------------|-------------|
|    | X                           | Y           | X                                        | Y           |
| 1  | 428093,141                  | 9143893,096 | 428115,758                               | 9143886,180 |
| 2  | 428092,74                   | 9143891,870 | 428115,318                               | 9143884,840 |
| 3  | 428115,319                  | 9143884,826 | 428092,785                               | 9143891,943 |
| 4  | 428115,697                  | 9143886,106 | 428093,168                               | 9143893,184 |
| 5  | 428117,515                  | 9143893,053 | 428095,469                               | 9143899,576 |
| 6  | 428117,726                  | 9143893,629 | 428095,556                               | 9143900,375 |
| 7  | 428095,621                  | 9143900,794 | 428117,827                               | 9143893,759 |
| 8  | 428095,408                  | 9143899,499 | 428117,572                               | 9143893,104 |

(Sumber: Data Proyek Jalan Tol Jogja - Solo Paket 2.2, PT Adhi Karya, 2025)

Perhitungan jarak pergeseran menggunakan perbandingan jarak titik koordinat menggunakan *AutoCAD*. Perhitungan rata-rata perpindahan *Steel Sheet Pile* aktual pada lapangan sebesar 0,0405 m seperti pada Gambar 4. 34. Selisih didapatkan dari rata-rata tengah delapan titik koordinat.



Gambar 4. 34 Perpindahahan *Steel Sheet Pile* Aktual

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

#### 4.9.2 Hasil Evaluasi Numeris

Hasil evaluasi numeris serta validasi data didapatkan hasil kohesi yang relatif tinggi menghasilkan nilai pergeseran *displacement* yang lebih kecil. Dari perbandingan skenario didapatkan sebagai berikut

##### 1. Pemodelan Parameter: Laboratorium

Pemodelan dengan parameter korelasi dengan nilai kohesi ( $c$ ) 39,24 kN/m<sup>2</sup>. Dari grafik *Displacement*, menghasilkan data pergerakan *displacement steel sheet pile* sebesar 0,035 m. Berdasarkan perhitungan aktual di lapangan menunjukkan nilai deviasi sebesar 12,05% dari hasil pengukuran aktual di lapangan. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa penggunaan parameter laboratorium kurang cukup dalam merepresentasikan kondisi tanah yang sebenarnya, sehingga pemodelan dengan parameter dengan laboratorium kurang tepat, hal ini disebabkan karena perbedaan kondisi lapangan *in-situ* dapat terjadi karena adanya heterogenitas tanah di lapangan memiliki variasi komposisi, kepadatan, dan kadar air yang mungkin tidak terwakili akurasi dengan sampel laboratorium selain itu faktor lingkungan seperti kadar air di lapangan yang berfluktuasi, sedangkan laboratorium menguji kondisi terkontrol.

##### 2. Pemodelan Parameter: Korelasi

Pemodelan dengan parameter korelasi dengan nilai kohesi ( $c$ ) 25,48 kN/m<sup>2</sup>. Dari grafik *Displacement*, menghasilkan data pergerakan *displacement steel sheet pile* sebesar 0,03494 m. Berdasarkan perhitungan aktual di lapangan menunjukkan nilai deviasi sebesar 13,73% cm dari hasil pengukuran aktual di lapangan. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa penggunaan parameter korelasi langsung dari N-SPT tanpa kalibrasi tidak cukup merepresentasikan kondisi tanah yang sebenarnya, sehingga pemodelan dengan parameter korelasi langsung kurang tepat, hal ini dapat terjadi karena sifat empiris dan variabilitas N-SPT sehingga perlu korelasi khusus sesuai kondisi lapangan dan diperlukan *back calculation* untuk mengetahui parameter sesuai dengan kondisi lapangan. Kalkulasi ini akan membandingkan hasil parameter korelasi dan laboratorium dan dilakukan penyesuaian secara iteratif hingga hasil simulasi mendekati data pengukuran lapangan

### 3. Pemodelan Parameter: *Trial Korelasi*

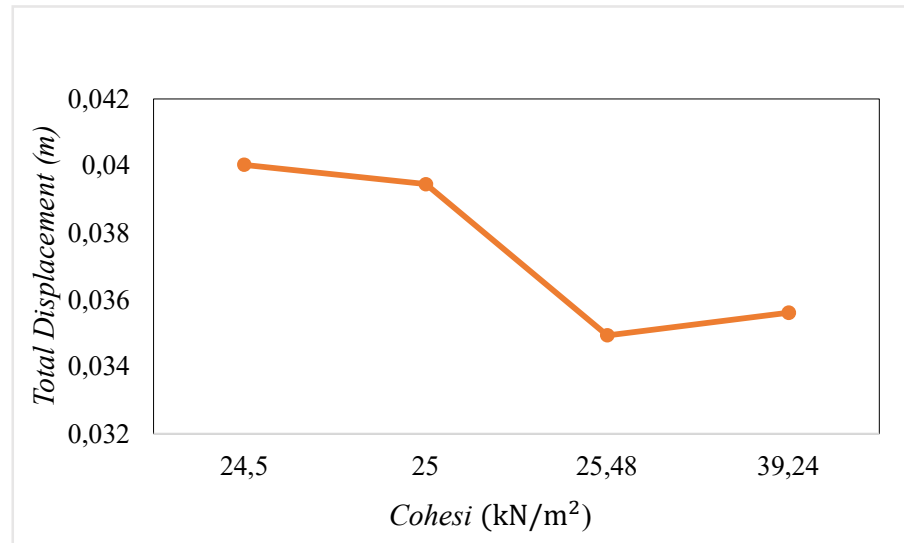
Pemodelan dengan parameter hasil perhitungan *back calculation* dengan nilai kohesi ( $c$ ) 24,5 kN/m<sup>2</sup>, Dari grafik *Displacement*, menghasilkan data pergerakan atau *displacement steel sheet pile* sebesar 0,04003 m. Berdasarkan perhitungan aktual di lapangan menunjukkan nilai deviasi sebesar 1,16 % dari hasil pengukuran aktual di lapangan. Dengan *back calculation* perbedaan deviasi hasil pemodelan mengindikasikan bahwa penggunaan parameter korelasi yang di reduksi merepresentasikan kondisi tanah yang aktual, sehingga pemodelan dengan parameter ini dapat meingkatkan validitas desain dengan kondisi lapangan.

Dari hasil evaluasi dan validasi tiga parameter untuk pemodelan FEM 2D, didapatkan pemodelan **parameter *trial korelasi* dari *back calculation*** akurat dalam memodelkan data sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Didapatkan nilai kohesi ( $c$ ) 24,5 kN/m<sup>2</sup> sesuai dengan kondisi lapangan. Nilai rekapitulasi *Displacement* dan grafik hubungan kohesi ( $c$ ) dengan displacement ditunjukkan pada Tabel 4. 13 dan Gambar 4. 35 berikut.

Tabel 4. 13 Hasil Evaluasi Parameter Pemodelan

| Pemodelan                         | $c$                  | <i>Displacement</i> | Deviasi |
|-----------------------------------|----------------------|---------------------|---------|
|                                   | (kN/m <sup>2</sup> ) | (m)                 | (%)     |
| Parameter Laboratorium            | 39,24                | 0,03562             | 13,37   |
| Parameter Korelasi                | 25,48                | 0,03494             | 12,05   |
| Parameter <i>Back Calculation</i> | 24,5                 | 0,04003             | 1,16    |

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)



Gambar 4. 35 Grafik Perbandingan Parameter Pemodelan

Berdasarkan grafik perbandingan parameter pemodelan, validasi data yang paling mendekati kondisi aktual lapangan ditunjukkan oleh parameter *Trial Koreksi* dengan *back calculation*. Hal ini dibuktikan dengan deviasi terkecil yaitu 1,16 %. Menunjukkan bahwa parameter ini akurat dalam merepresentasikan kondisi aktual dibandingkan parameter lainnya. Semakin tinggi nilai kohesi maka *displacement* yang terjadi semakin kecil, namun hasil pemodelan menunjukkan bahwa parameter laboratorium dengan kohesi tertinggi 39,24 kN/m<sup>2</sup> justru menghasilkan *displacement* yang lebih besar dibandingkan parameter korelasi dengan kohesi lebih rendah 25,48 kN/m<sup>2</sup> namun *displacement* lebih kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa faktor lain seperti nilai sudut gesek, kondisi *boundary*, serta asumsi pemodelan. Dengan demikian, Parameter Trial Korelasi dianggap paling sesuai karena menghasilkan nilai deviasi terkecil. Oleh karena itu, digunakan dalam pemodelan tahap lereng eksisting maupun lereng dengan perkuatan

#### 4.10 Executive Summary Hasil FEM 2D

Hasil evaluasi numeris pemodelan menggunakan FEM 2D menunjukkan bahwa untuk stabilitas *steel sheet pile* pada masa kondisi beban maksimal apabila tidak menggunakan tambahan perkuatan menghasilkan nilai *safety factor* 1,164 mengacu

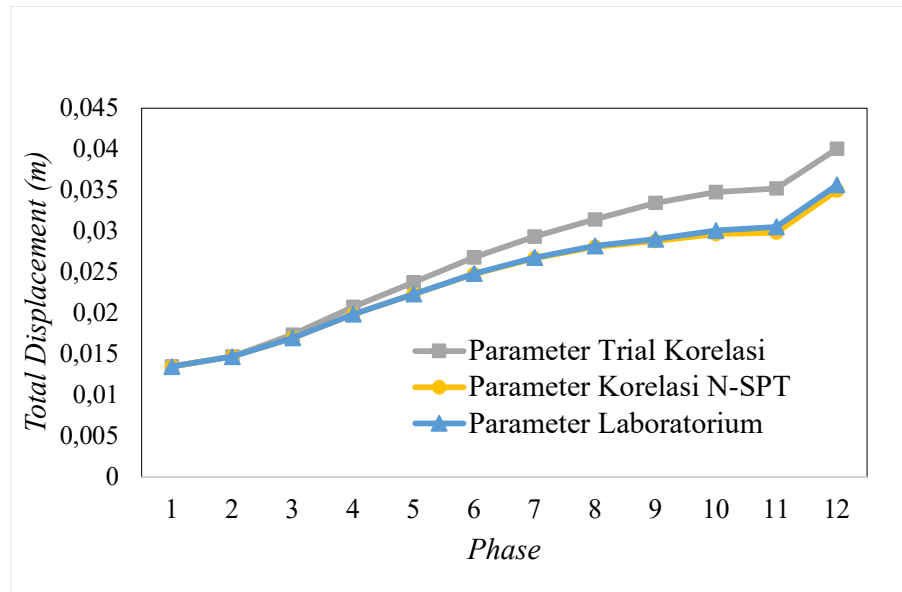
pada Tabel 2.9 angka kemandan tidak memenuhi dan memiliki kemungkinan longsor. Maka, lereng harus diberikan perkuatan dengan menggunakan steel sheet pile untuk menjadi penahan sementara. Sedangkan dari hasil evaluasi *safety factor* menggunakan pemodelan FEM 2D didapatkan nilai faktor keamanan pada kondisi *ultimate loading stage* dan gempa seperti pada tabel berikut.

Tabel 4. 14 *Summary* Hasil Evaluasi Stabilitas *Steel Sheet Pile*

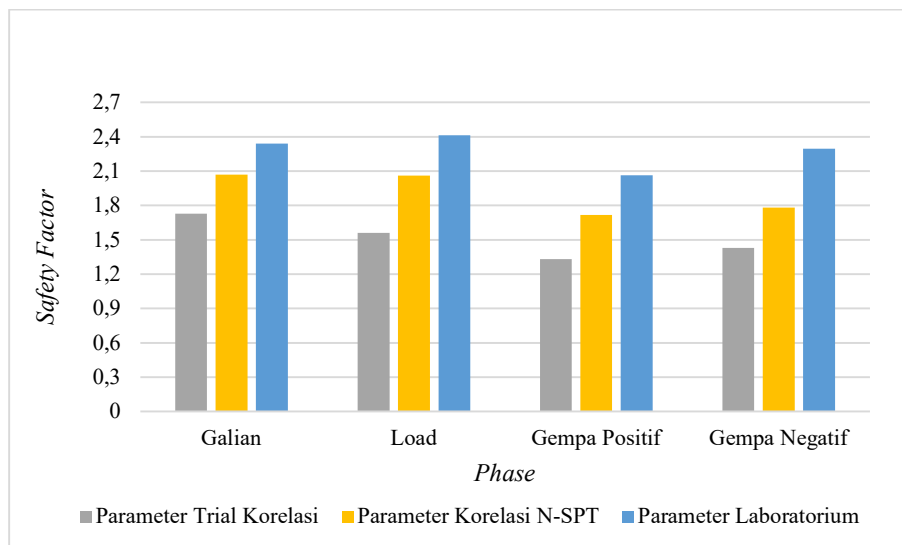
| No | Kondisi                                                                                | <i>Safety Factor</i> | Syarat <i>SF</i> | <i>Displacement</i><br>$\Delta x$ (m) | <i>Control Limit</i><br>(m) | Kesimpulan           |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------|
| 1  | Lereng Tanpa Perkuatan                                                                 | 1,164                | $\geq 1,3$       | -                                     | 0,1                         | Tidak Memenuhi       |
| 2  | Lereng dengan <i>Steel Sheet Pile</i> dan Beban <i>Pile Cap</i>                        | 1,560                | $\geq 1,3$       | 0,043                                 | 0,1                         | Memenuhi Persyaratan |
| 3  | Lereng dengan <i>Steel Sheet Pile</i> dan Beban <i>Pile Cap</i> dengan Beban Gempa (+) | 1,332                | $\geq 1,3$       | 0,21                                  | 0,1                         | Memenuhi Persyaratan |
| 4  | Lereng dengan <i>Steel Sheet Pile</i> dan Beban <i>Pile Cap</i> dengan Beban Gempa (-) | 1,428                | $\geq 1,3$       | 0,26                                  | 0,1                         | Memenuhi Persyaratan |

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

Dari Tabel 4. 13 didapatkan hasil numeris menggunakan FEM 2D diperoleh bahwa faktor keamanan dari struktur *steel sheet pile* dengan tipe N-SSPIIIA terjadi pada fase maksimum pembebanan dan pada fase gempa. Nilai faktor keamanan yang dihasilkan dari pemodelan berada dalam rentang aman dan tidak melampaui batas minimum yang ditetapkan. Nilai ini berada dalam angka aman, karena tidak melewati kontrol batas syarat untuk struktur penahan tanah menurut acuan pada Tabel 2.9 dengan *safety factor*. FEM 2D diperoleh bahwa perpindahan maksimum dari struktur *steel sheet pile* dengan tipe N-SSPIIIA terjadi pada fase maksimum pembebanan. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa nilai *Displacement* yang terjadi pada *steel sheet pile* adalah 0,04003 m dan. Nilai ini berada dalam angka aman, karena tidak melewati ambang batas kontrol perpindahan atau *displacement control limit*, sesuai toleransi perpindahan yang digunakan dalam desain dinding penahan tanah sementara pada Persamaan 2.9. Dengan perpindahan  $0,04 \text{ m} < 0,1 \text{ m}$ , artinya struktur *steel sheet pile* dengan tipe N-SSPIIIA efektif dan aman terhadap pergeseran. sebagai perkuatan sementara cukup memadai dan mampu menahan gaya lateral akibat kombinasi beban, termasuk beban gempa. Perbandingan parameter dengan *displacement* pada Gambar 4. 36 menunjukkan parameter trial korelasi memiliki perpindahan lebih besar dan mendekati nilai kondisi lapangan dan *safety factor* yang dihasilkan pada Gambar 4. 37 menunjukkan nilai SF sangat dipengaruhi dengan parameter yang digunakan, parameter laboratorium memberikan hasil paling konservatif, sedangkan parameter trial korelasi cenderung menunjukkan kondisi yang lebih realistik dan mendekati batas stabil, sehingga lebih aktual dengan lapangan.



Gambar 4. 36 Grafik Perbandingan *Displacement Steel Sheet Pile* berdasarkan Parameter Tanah



Gambar 4. 37 Grafik Perbandingan *Safety Factor* berdasarkan Parameter Tanah

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pengamatan langsung di lapangan yang telah dilakukan, didapatkan hasil dan kesimpulan dari penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut:

1. Lapisan tanah dasar memiliki konsistensi *very dense*, dari sampel tanah hasil didapatkan karakter tanah dominan merupakan tanah pasir dan dari hasil uji *standart penetretion test* pada tiap lapisan tanah berupa pasir dan lempung dengan konsistensi lempung lunak ada pada kedalaman 0-5 meter serta lapisan pasir 5-10 merupakan pasir halus dengan kepadatan sedang dan 11-30 merupakan tanah pasir kasar dengan kepadatan sangat keras.
2. Berdasarkan syarat minimum nilai *safety factor* untuk kategori *earthworks* yaitu memiliki nilai  $SF \geq 1,3$ . Dari hasil evaluasi kondisi eksisting dan perkuatan sementara menggunakan metode numerik FEM 2D didapatkan hasil seperti berikut:
  - a. Nilai *safety factor* eksisting lereng tanpa perkuatan menggunakan FEM 2D didapatkan nilai *safety factor* 1,164 yang menunjukkan bahwa lereng berada dalam kondisi kurang stabil dan memiliki resiko keruntuhan jika terjadi gangguan eksternal seperti beban lalu lintas dan beban kerja
  - b. Nilai *safety factor* lereng dengan perkuatan N-SSPIIIA saat masa *ultimate stage load* didapatkan nilai sebesar 1,56 dan yang berarti kondisi lereng termasuk aman dan memenuhi standart minimum lereng  $\geq 1,3$ .
3. Nilai *displacement* dari hasil numeris menggunakan FEM 2D diperoleh perpindahan maksimum dari struktur *steel sheet pile* dengan tipe N-SSPIIIA pada fase maksimum pembebanan sebesar 0,04003 m. Nilai ini berada dalam angka aman, karena tidak melewati *displacement control limit* pada Persamaan 2.9. Dengan perpindahan  $0,04 \text{ m} < 0,1 \text{ m}$ , artinya struktur *steel sheet pile* dengan tipe N-SSPIIIA aman terhadap pergeseran serta tidak mengganggu pekerjaan *pile cap*.

## 5.2 Saran

1. Penelitian ini hanya mencakup evaluasi terhadap data perencanaan proyek, khususnya dalam pemilihan kedalaman *steel sheet pile*. Oleh karena itu, disarankan pada penelitian selanjutnya dilakukan analisis lanjutan yang mencakup evaluasi momen selama proses konstruksi
2. Penelitian ini membatasi kajian hingga kondisi *ultimate load* saat pembebanan pengecoran *pile cap* sebelum *steel sheet pile* dicabut. Disarankan penelitian berikutnya melakukan studi fase pencabutan dengan fokus terhadap efek penurunan tanah dan deformasi disekitar pencabutan
3. Dalam penelitian ini, pemilihan tipe dan dimensi *sheet pile* belum mempertimbangkan efisiensi biaya konstruksi. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan analisis perbandingan biaya, sehingga dapat menghasilkan rekomendasi yang lebih optimal dari segi teknis dan ekonomis

## DAFTAR PUSTAKA

- Bowles. (1997). Foundation Analysis and Design. In *Civil Engineering Materials*.
- Craig, R. F., & Susilo, B. (1989). *Mekanika Tanah, edisi IV*. 16, 19, 109, 110, 171, 174, 176. <https://labmekanikatanah>
- Desain Spektra Indonesia*. (n.d.). Retrieved May 11, 2025, from <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>
- Hardiyatmo. (2012). *Tanah Longsor & Erosi Kejadian dan Penanganan*.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). Mekanika Tanah I Jilid III. In *Gadjah Mada University Press*.
- hawysteel.en*. (n.d.). Retrieved February 22, 2025, from <https://hawysteel>
- Look, B. G. (2007). (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Table*.
- Peraturan Pemerintah Indonesia Nomor 38 Thn 2004. (2004). *UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 38 TAHUN 2004 TENTANG JALAN*. 30(8), 2221.
- Persyaratan Perancangan Geoteknik, S. (2017). Persyaratan Perancangan Geoteknik. *Standar Nasional Indonesia*, 8460, 1–323.
- Plaxis Reference Manual. (2018). *Plaxis Reference Manual 2018*.
- Sni 4153 2008 Cara Uji Pengujian Lapangan Dengan SPT*. (n.d.). Retrieved February 18, 2025, from <https://www.scribd.com/document/484495860/sni-4153-2008>
- Terzaghi. (1950). *Strength Of Materials Stress (Mechanics)*.
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1987). *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa Jilid-1 Edisi Kedua*. 1–373.

## BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Fattiya Nur Fitriantari. Lahir di Ponorogo, 15 Desember 2002 dan merupakan anak kedua dari 2 (dua) bersaudara.

Penulis telah menempuh pendidikan formal di SMA Negeri 1 Ponorogo sebelum melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi Program Studi Teknik Pengelolaan dan Pemeliharaan Infrastruktur Sipil Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada melalui jalur UTUL atau Ujian Tulis Mandiri UGM pada tahun 2021.

Selama menempuh studi di Program Sarjana Terapan Teknik Pengelolaan dan Pemeliharaan Infrastruktur Sipil, penulis mengambil Proyek Akhir di bidang Mekanika Tanah dan Geoteknik. Penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan organisasi dan proyek kolaboratif. Di antaranya, menjadi Fasilitator PPSMB UGM serta Staf Administrasi dalam dua program Matching Fund Kedaireka, yaitu bersama PT Perumahan Pembangunan (PP) Tbk (2023) dan PT Diva Mahakarya (2022). Penulis juga telah menjalani magang di divisi *Strategy, Research, and Technology* di PT PP (Persero) Tbk (2023), serta sebagai divisi *Engineer* dalam proyek Tol Jogja–Solo Seksi 2.2 bersama PT Adhi Karya (Persero) Tbk (2025). Apabila ingin berkorespondensi dengan penulis, dapat berkomunikasi via *email* [fattiya1502@gmail.com](mailto:fattiya1502@gmail.com)





# Evaluasi Stabilitas Steel Sheet Pile Pada Galian Fondasi Pile Cap Akibat Beban Lalu Lintas Jalan Ringroad Dengan Pemodelan Finite Element Method

Fatiya Nur Fitriantari, Dr. Ir. Devi Oktaviana Latif, S.T., M.Eng., IPM.

Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

## DRILLING LOG

HOLE NO : BH-65

PROJECT : Tol Yogya - Solo

COORDINATE : x =

DEPTH : 30.00 m

LOCATION : Yogyakarta

y =

GWL : -6.60 m

STATION :

z =

Drill Master : Kh

| DEPTH (m) | DATE               | SOIL/ROCK |             | SAMPLE DEPTH (m) | SPT |   |    |    | STRENGTH TEST |      |                         |              | ATTERBERG LIMITS |   |    |    |    |    |     |  | $\gamma_t$<br>t/m <sup>3</sup> | Gs | e <sub>o</sub> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------|--------------------|-----------|-------------|------------------|-----|---|----|----|---------------|------|-------------------------|--------------|------------------|---|----|----|----|----|-----|--|--------------------------------|----|----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|           |                    | SYMBOL    | DESCRIPTION |                  | N   | 0 | 20 | 40 | 60            | TYPE | C<br>kg/cm <sup>2</sup> | $\phi^\circ$ | q <sub>u</sub>   | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |  |                                |    |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|           | 28 - 30 March 2023 |           |             |                  |     |   |    |    |               |      |                         |              |                  |   |    |    |    |    |     |  |                                |    |                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

REMARKS 0 TO 10% : TRACE  
10 TO 20% : LITTLE  
20 TO 35% : SOME  
35 TO 50% : AND

Open Drive Sample

Casing Depth

WATER CONTENT, %

PLASTIC LIMIT, %

LIQUID LIMIT, %

Mazier Sample

SPT

TESTANA  
INDOTEKNIKA  
Soil Investigation and Foundation Engineering



# Evaluasi Stabilitas Steel Sheet Pile Pada Galian Fondasi Pile Cap Akibat Beban Lalu Lintas Jalan Ringroad Dengan Pemodelan Finite Element Method

Fatiya Nur Fitriantari, Dr. Ir. Devi Oktayiana Latif, S.T., M.Eng., IPM.

Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

## DRILLING LOG

HOLE NO : BH-65

PROJECT : Tol Yogya - Solo

COORDINATE : x =

DEPTH : 30.00 m

LOCATION : Yogyakarta

y =

GWL : -6.60 m

STATION :

z =

Drill Master : Kh

| DEPTH (m) | DATE               | SOIL/ROCK |                                                   | SAMPLE DEPTH (m) | SPT      |          |    |    | STRENGTH TEST |      |                             |                | ATTERBERG LIMITS |    |    |    |    |     |  |  |  |  | $\gamma_t$<br>t/m <sup>3</sup> | Gs | e <sub>o</sub> |
|-----------|--------------------|-----------|---------------------------------------------------|------------------|----------|----------|----|----|---------------|------|-----------------------------|----------------|------------------|----|----|----|----|-----|--|--|--|--|--------------------------------|----|----------------|
|           |                    | SYMBOL    | DESCRIPTION                                       |                  | N        | 0        | 20 | 40 | 60            | TYPE | C<br>kg/<br>cm <sup>2</sup> | q <sub>u</sub> | 0                | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |  |  |  |  |                                |    |                |
| 21        | 30 - 31 March 2023 |           | Sand,<br>dark grey, coarse grained,<br>very dense | 21.00<br>21.36   | 25<br>15 | 25<br>6  |    |    |               |      |                             |                |                  |    |    |    |    |     |  |  |  |  |                                |    |                |
| 22        |                    |           |                                                   |                  |          |          |    |    |               |      |                             |                |                  |    |    |    |    |     |  |  |  |  |                                |    |                |
| 23        |                    |           |                                                   | 23.00<br>23.22   | 50<br>7  |          |    |    |               |      |                             |                |                  |    |    |    |    |     |  |  |  |  |                                |    |                |
| 24        |                    |           |                                                   |                  |          |          |    |    |               |      |                             |                |                  |    |    |    |    |     |  |  |  |  |                                |    |                |
| 25        |                    |           |                                                   | 25.00<br>25.36   | 30<br>15 | 20<br>6  |    |    |               |      |                             |                |                  |    |    |    |    |     |  |  |  |  |                                |    |                |
| 26        |                    |           |                                                   |                  |          |          |    |    |               |      |                             |                |                  |    |    |    |    |     |  |  |  |  |                                |    |                |
| 27        |                    |           |                                                   | 27.00<br>27.45   | 10<br>15 | 15<br>15 |    |    |               |      |                             |                |                  |    |    |    |    |     |  |  |  |  |                                |    |                |
| 28        |                    |           |                                                   |                  |          |          |    |    |               |      |                             |                |                  |    |    |    |    |     |  |  |  |  |                                |    |                |
| 29        |                    |           |                                                   | 29.00<br>29.45   | 16<br>15 | 24<br>15 |    |    |               |      |                             |                |                  |    |    |    |    |     |  |  |  |  |                                |    |                |
| 30        |                    |           |                                                   | 30.00<br>30.37   | 28<br>15 | 22<br>7  |    |    |               |      |                             |                |                  |    |    |    |    |     |  |  |  |  |                                |    |                |
| 31        |                    |           | End of Drilling                                   |                  |          |          |    |    |               |      |                             |                |                  |    |    |    |    |     |  |  |  |  |                                |    |                |
| 32        |                    |           |                                                   |                  |          |          |    |    |               |      |                             |                |                  |    |    |    |    |     |  |  |  |  |                                |    |                |
| 33        |                    |           |                                                   |                  |          |          |    |    |               |      |                             |                |                  |    |    |    |    |     |  |  |  |  |                                |    |                |
| 34        |                    |           |                                                   |                  |          |          |    |    |               |      |                             |                |                  |    |    |    |    |     |  |  |  |  |                                |    |                |
| 35        |                    |           |                                                   |                  |          |          |    |    |               |      |                             |                |                  |    |    |    |    |     |  |  |  |  |                                |    |                |
| 36        |                    |           |                                                   |                  |          |          |    |    |               |      |                             |                |                  |    |    |    |    |     |  |  |  |  |                                |    |                |
| 37        |                    |           |                                                   |                  |          |          |    |    |               |      |                             |                |                  |    |    |    |    |     |  |  |  |  |                                |    |                |
| 38        |                    |           |                                                   |                  |          |          |    |    |               |      |                             |                |                  |    |    |    |    |     |  |  |  |  |                                |    |                |
| 39        |                    |           |                                                   |                  |          |          |    |    |               |      |                             |                |                  |    |    |    |    |     |  |  |  |  |                                |    |                |
| 40        |                    |           |                                                   |                  |          |          |    |    |               |      |                             |                |                  |    |    |    |    |     |  |  |  |  |                                |    |                |

REMARKS  
 0 TO 10% : TRACE  
 10 TO 20% : LITTLE  
 20 TO 35% : SOME  
 35 TO 50% : AND

Open Drive Sample

Casing Depth

WATER CONTENT, %  
 PLASTIC LIMIT, %  
 LIQUID LIMIT, %

Mazier Sample

SPT

TESTANA  
INDOTEKNIKA  
Soil Investigation and Foundation Engineering

# SHOP DRAWING

CATATAN :

Mutu Beton :  
 -LC :fc=10 Mpa  
 -Bore Pile :fc=30 Mpa  
 -Pier :fc=30 Mpa  
 -Pier Head :fc=41.5 Mpa (Mergunakan Tabel Prategang)  
 -Deck Slab :fc=30 Mpa  
 -Parapet :fc=30 Mpa  
 Saluran gambar dalam (m). Kecuali dinyatakan lain.



## Evaluasi Stabilitas Steel Sheet Pile Pada Galian Fondasi Pile Cap Akibat Beban Lalu Lintas Jalan Ringroad Dengan Pemodelan Finite Element Method

Fatmahan Nur Fitriantari, Dr. Ir. Dewi Oktayana Latif, S.T., M.Eng., IPM.

Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>



PT. JASAMARGA JOGJA SOLO

MUHAMMAD AHMAD MASRUHI  
 Pemimpin Proyek



KONSULTAN PENGAWAS :

PT. MITRAPACIFIC CONSULTING INTERNATIONAL  
 PT. TRI TUNGGA PRATAYASARI  
 Diperiksa & Disetujui :

Ir. BAMBANG SULLISTYO  
 Team Leader

STRUCTURE ENG.

SUHARDYANTO



KONTRAKTOR DESIGN & BUILD :

PT. ADHI KARYA (Persero) Tbk

Dijjukan :

HASTOMO ADI  
 General Superintendent

PEM.

IKHWAN RAMADHANTO

Drafter

ANDRIANT KURNADI

Judul Gambar :

ELEVATED  
 MAIN ROAD  
 STA 54+646  
 DENAH & POTONGAN (1 DARI

NO REF. GAMBAR

Tgl Plot

13/11/2024

Tgl Revisi

Rev

Revisi

Revisi

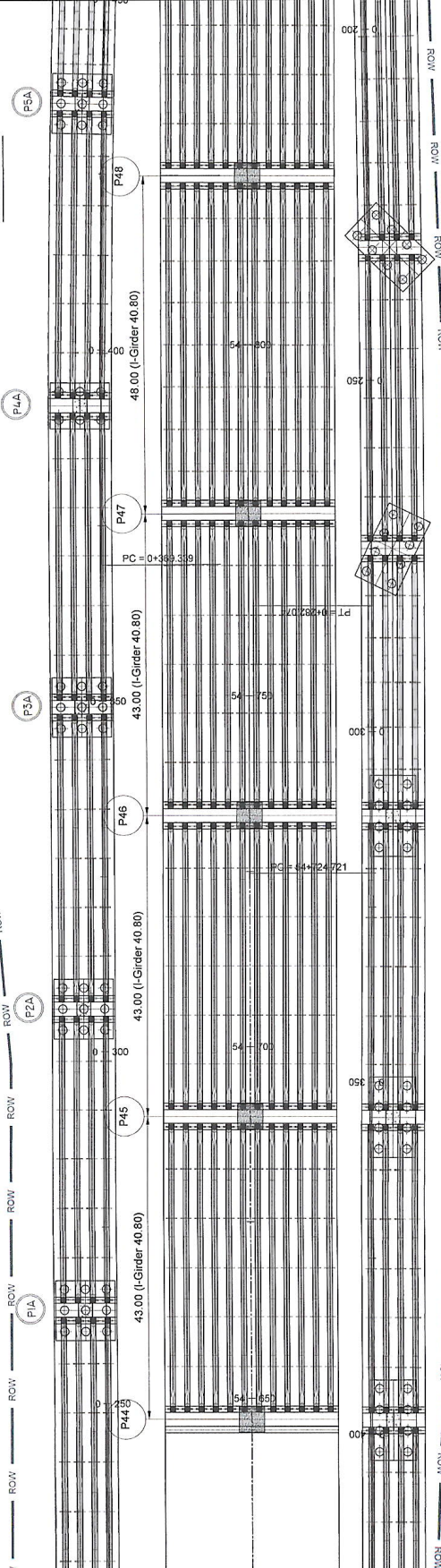
Revisi

Revisi

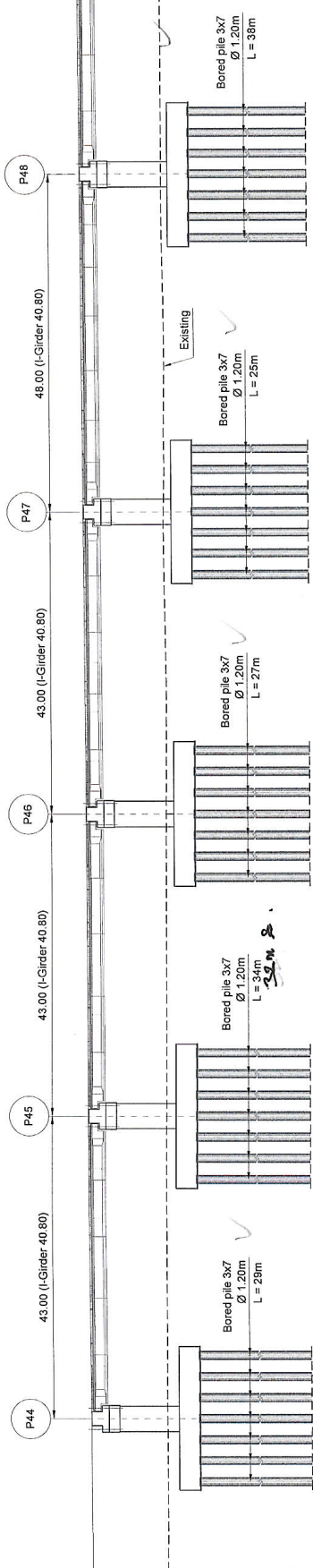
Revisi

Revisi

### KEYPLAN



PLAN  
 SKALA 1:650



POTONGAN A  
 SKALA 1:650

| Setting Out Points    | P44        | P45        | P46        | P47        | P48        |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Station               | 55+820.571 | 55+905.822 | 55+942.572 | 55+942.572 | 55+942.572 |
| Finished Grade        | +141.813   | +142.028   | +142.243   | +142.456   | +142.698   |
| Existing Ground Level | +130.889   | +130.788   | +130.994   | +130.994   | +131.047   |
| Bottom Filling        | +126.263   | +126.478   | +126.693   | +126.908   | +127.148   |
| Piles toe level       | +97.363    | +92.578    | +99.793    | +102.008   | +89.248    |

| Mutu Beton : | Mutu Tulangan :                          |
|--------------|------------------------------------------|
| -LC          | -B25 420B, fy=420 Mpa                    |
| -Bore Pile   | -fy=410 Mpa                              |
| -Pile Cap    | -fy=30 Mpa                               |
| -Abutment    | -fy= 30 Mpa                              |
| -Pier        | -fy= 30 Mpa                              |
| -Pier Head   | -fy= 41.5 Mpa (Menggunakan Kabel Preteg) |
| -Deck Slab   | -fy= 41.5 Mpa (Menggunakan Kabel Preteg) |
| -Parapet     | -fy= 30 Mpa                              |



# Evaluasi Stabilitas Steel Sheet Pile Pada Galian Fondasi Pile Cap Akibat Beban Lalu Lintas Jalan Ringroad Dengan Pemodelan Finite Element Method

Fatiya Nur Fitriantari, Dr. Ir. Devi Oktaviana Latif, S.T., M.Eng., IPM.

Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>



Diketahui :

**MUHAMMAD AHDAL MASRUHI**  
Pemimpin Proyek



Diperiksa &amp; PT. M

**Ir. BAMBANG SULISTYO**  
Team Leader

STRUCTURE



Dilakukan :

HASTOMO ADI  
General Superintendent

1530

|        |        |
|--------|--------|
| Prayer | Prayer |
| FLIN   | FLIN   |

**Judul Gambar:**

ELEVATED  
MAIN ROAD  
STA 54+646

LAYOUT PONDASI BORE PILE P

|        |  |
|--------|--|
| NO REF |  |
|--------|--|

|  |           |
|--|-----------|
|  | Tel 810/6 |
|--|-----------|

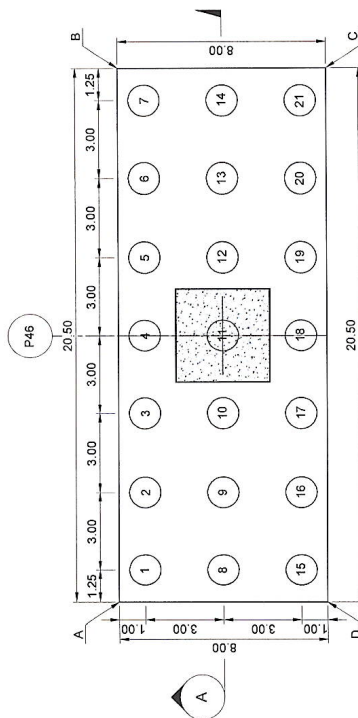
Skala :

[illegible]

Nomor Gambel  
AK-

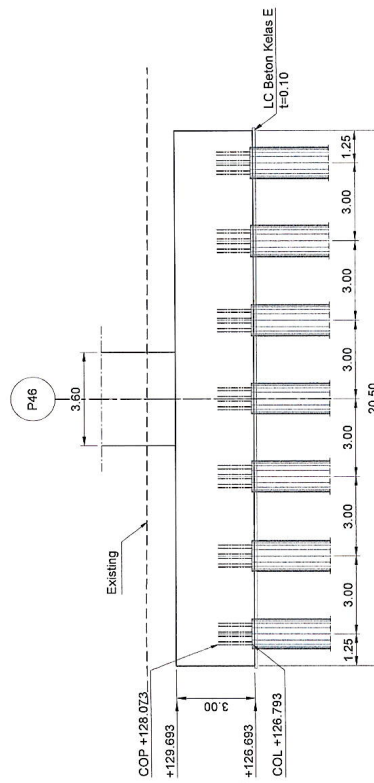
**KOORDINAT BORE PILE P46**

| NO | X          | Y           |
|----|------------|-------------|
| 1  | 428281.842 | 9143334.363 |
| 2  | 428278.976 | 9143335.250 |
| 3  | 428276.110 | 9143336.136 |
| 4  | 428273.244 | 9143337.023 |
| 5  | 428270.378 | 9143337.910 |
| 6  | 428267.512 | 9143338.796 |
| 7  | 428264.646 | 9143339.683 |
| 8  | 428262.728 | 9143337.229 |
| 9  | 428279.862 | 9143338.116 |
| 10 | 428276.996 | 9143339.002 |
| 11 | 428274.130 | 9143339.889 |
| 12 | 428271.264 | 9143840.776 |
| 13 | 428268.399 | 9143841.662 |
| 14 | 428265.533 | 9143842.549 |
| 15 | 428263.615 | 9143840.095 |
| 16 | 428280.749 | 9143840.982 |
| 17 | 428277.883 | 9143841.868 |
| 18 | 428275.017 | 9143842.755 |
| 19 | 428272.151 | 9143843.642 |
| 20 | 428269.285 | 9143844.528 |
| 21 | 428266.419 | 9143845.415 |



DENAH PIER P46

SKALA 1:200



POTONGAN A

SKAI A 1-200

**KOORDINAT FOOTING P46**

| NOT | X          | Y           |
|-----|------------|-------------|
| A   | 428282.740 | 9143833.038 |
| B   | 428263.156 | 9143839.097 |
| C   | 428265.521 | 9143846.740 |
| D   | 428285.105 | 9143840.681 |



| W-PSF (Pile axial capacity estimation)                    |              |                                   |                                                                         |                 |                  |                             |                    |                 |                            |                         |
|-----------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| Pile dimension:                                           |              |                                   | Pile capacity determination method: Empirical Approach                  |                 |                  |                             |                    |                 |                            |                         |
| Pile type:                                                | Bored pile   |                                   | $f_s$ on fine grained soils: O'Neill and Reese (1999)                   |                 |                  |                             |                    |                 |                            |                         |
| Shape:                                                    | Circular     |                                   | $q_c$ on fine grained soils: SHAFT Modified Skempton (1951)             |                 |                  |                             |                    |                 |                            |                         |
| Material:                                                 | Concrete     |                                   | $f_s$ on coarse grained soils: Meyerhoff 1976 and Reese and Wright 1977 |                 |                  |                             |                    |                 |                            |                         |
| $D_{shaft}$ (m):                                          | 1.20         | $P_{shaft}$ (m): 3.77             | $q_c$ on coarse grained soils: JOGSOL PDA qc 90N                        |                 |                  |                             |                    |                 |                            |                         |
| $D_{tip}$ (m):                                            | 1.20         | $A_{tip}$ (m <sup>2</sup> ): 1.13 | $f_s$ on rock: Horvath et al. (1983)                                    |                 |                  |                             |                    |                 |                            |                         |
| Cut off (m):                                              | 4.10         | GWL (m): 3.70                     | $q_c$ on rock: CIRIA Report No. 181                                     |                 |                  |                             |                    |                 |                            |                         |
| L (m):                                                    | 27.00        |                                   | $q_c$ determination: Average over 2 times diameter below tip            |                 |                  |                             |                    |                 |                            |                         |
| $E_{pile}$ (kPa):                                         | 2.10E+07     |                                   | Pile element thickness: 3.77 m                                          |                 |                  |                             |                    |                 |                            |                         |
| Additional Safety factor:                                 |              |                                   |                                                                         |                 |                  |                             |                    |                 |                            |                         |
| $f_s$ is ignored : from top: N/A                          |              |                                   | from bottom: N/A                                                        |                 |                  |                             |                    |                 |                            |                         |
| Effective stress : Effective Stress ignore COL            |              |                                   | (* beyond critical depth, effective stress will not increase anymore)   |                 |                  |                             |                    |                 |                            |                         |
| Downdrag: No                                              |              |                                   | End depth of downdrag (m): 0                                            |                 | $Q_{NSF}$ :      |                             | 0.0                | kN              |                            |                         |
| SF <sub>skin friction</sub> : 2.50                        |              |                                   | SF <sub>tip</sub> : 2.50                                                |                 | $Q_{downdrag}$ : |                             | 0.00               | kN              |                            |                         |
| Bearing capacity estimation:                              |              |                                   | Allowable bearing capacity for expected pile length = 27 m              |                 |                  |                             |                    |                 |                            |                         |
| For constant shaft perimeter and tip cross-sectional area |              |                                   | Considering weight of pile                                              |                 |                  |                             |                    |                 |                            |                         |
| $Q_{shaft}$ :                                             | 8750         | kN                                | $Q_{PSF}/SF$ :                                                          | 3500            | kN               | $W_{pile}$ :                | 733                | kN              |                            |                         |
| $Q_{tip}$ :                                               | 4524         | kN                                | $Q_{tip}/SF$ :                                                          | 1810            | kN               | $Q_{shaft}/SF - W_{pile}$ : | 2767               | kN              |                            |                         |
| $Q_{all}$ :                                               | 13274        | kN                                | $Q_{allowable}$ :                                                       | 5310            | kN               | $Q_{all} - W_{pile}$ :      | 4577               | kN              |                            |                         |
| $Q_{pull out}$ :                                          | 6125         | kN                                | $Q_{pull out}/SF$ :                                                     | 2450            | kN               |                             |                    |                 |                            |                         |
| Result Calculation                                        |              |                                   | *Pile length is calculated from COL                                     |                 |                  | Design Tip Elevation (DTE): |                    |                 | 31.10                      | m                       |
| Pile Length<br>m                                          | $f_s$<br>kPa | $q_c$<br>kPa                      | $Q_{shaft}$<br>kN                                                       | $Q_{tip}$<br>kN | $Q_{ult}$<br>kN  | $Q_{PSF}/SF$<br>(kN)        | $Q_{tip}/SF$<br>kN | $Q_{all}$<br>kN | $Q_{all} - W_{pile}$<br>kN | $Q_{pull out}/SF$<br>kN |
| 3.9                                                       | 82.0         | 3640.0                            | 989                                                                     | 4117            | 5106             | 396                         | 1647               | 2042            | 1936                       | 277                     |
| 4.6                                                       | 82.0         | 3640.0                            | 1205                                                                    | 4117            | 5322             | 482                         | 1647               | 2129            | 2004                       | 338                     |
| 5.3                                                       | 62.0         | 3767.5                            | 1392                                                                    | 4261            | 5653             | 557                         | 1704               | 2261            | 2117                       | 390                     |
| 6                                                         | 100.0        | 4000.0                            | 1575                                                                    | 4524            | 6099             | 630                         | 1810               | 2440            | 2277                       | 441                     |
| 6.7                                                       | 100.0        | 4000.0                            | 1839                                                                    | 4524            | 6363             | 736                         | 1810               | 2545            | 2363                       | 515                     |
| 7.4                                                       | 100.0        | 4000.0                            | 2103                                                                    | 4524            | 6627             | 841                         | 1810               | 2651            | 2450                       | 589                     |
| 8.1                                                       | 100.0        | 4000.0                            | 2367                                                                    | 4524            | 6891             | 947                         | 1810               | 2756            | 2536                       | 663                     |
| 8.8                                                       | 100.0        | 4000.0                            | 2631                                                                    | 4524            | 7155             | 1052                        | 1810               | 2862            | 2623                       | 737                     |
| 9.5                                                       | 100.0        | 4000.0                            | 2895                                                                    | 4524            | 7419             | 1158                        | 1810               | 2967            | 2710                       | 811                     |
| 10.2                                                      | 100.0        | 4000.0                            | 3159                                                                    | 4524            | 7683             | 1263                        | 1810               | 3073            | 2796                       | 884                     |
| 10.9                                                      | 100.0        | 4000.0                            | 3423                                                                    | 4524            | 7946             | 1369                        | 1810               | 3179            | 2883                       | 958                     |
| 11.6                                                      | 100.0        | 4000.0                            | 3686                                                                    | 4524            | 8210             | 1475                        | 1810               | 3284            | 2969                       | 1032                    |
| 12.3                                                      | 100.0        | 4000.0                            | 3950                                                                    | 4524            | 8474             | 1580                        | 1810               | 3390            | 3056                       | 1106                    |
| 13                                                        | 100.0        | 4000.0                            | 4214                                                                    | 4524            | 8738             | 1686                        | 1810               | 3495            | 3142                       | 1180                    |
| 13.7                                                      | 100.0        | 4000.0                            | 4478                                                                    | 4524            | 9002             | 1791                        | 1810               | 3601            | 3229                       | 1254                    |
| 14.4                                                      | 100.0        | 4000.0                            | 4742                                                                    | 4524            | 9266             | 1897                        | 1810               | 3706            | 3315                       | 1328                    |
| 15.1                                                      | 100.0        | 4000.0                            | 5006                                                                    | 4524            | 9530             | 2002                        | 1810               | 3812            | 3402                       | 1402                    |
| 15.8                                                      | 100.0        | 4000.0                            | 5270                                                                    | 4524            | 9794             | 2108                        | 1810               | 3917            | 3489                       | 1476                    |
| 16.5                                                      | 100.0        | 4000.0                            | 5534                                                                    | 4524            | 10058            | 2213                        | 1810               | 4023            | 3575                       | 1549                    |
| 17.2                                                      | 100.0        | 4000.0                            | 5798                                                                    | 4524            | 10321            | 2319                        | 1810               | 4129            | 3662                       | 1623                    |
| 17.9                                                      | 100.0        | 4000.0                            | 6061                                                                    | 4524            | 10585            | 2425                        | 1810               | 4234            | 3748                       | 1697                    |
| 18.6                                                      | 100.0        | 4000.0                            | 6325                                                                    | 4524            | 10849            | 2530                        | 1810               | 4340            | 3835                       | 1771                    |
| 19.3                                                      | 100.0        | 4000.0                            | 6589                                                                    | 4524            | 11113            | 2636                        | 1810               | 4445            | 3921                       | 1845                    |
| 20                                                        | 100.0        | 3959.3                            | 6853                                                                    | 4478            | 11331            | 2741                        | 1791               | 4532            | 3990                       | 1919                    |
| 20.7                                                      | 100.0        | 3248.0                            | 7117                                                                    | 3673            | 10790            | 2847                        | 1469               | 4316            | 3754                       | 1993                    |
| 21.4                                                      | 100.0        | 2536.6                            | 7381                                                                    | 2869            | 10250            | 2952                        | 1148               | 4100            | 3519                       | 2067                    |
| 22.1                                                      | 100.0        | 1825.2                            | 7645                                                                    | 2064            | 9709             | 3058                        | 826                | 3884            | 3284                       | 2141                    |
| 22.8                                                      | 30.0         | 1825.2                            | 7793                                                                    | 2064            | 9857             | 3117                        | 826                | 3943            | 3324                       | 2182                    |
| 23.5                                                      | 30.0         | 2536.6                            | 7872                                                                    | 2869            | 10741            | 3149                        | 1148               | 4296            | 3658                       | 2204                    |
| 24.2                                                      | 30.0         | 3248.0                            | 7951                                                                    | 3673            | 11624            | 3180                        | 1469               | 4650            | 3993                       | 2226                    |
| 24.9                                                      | 46.7         | 3959.3                            | 8034                                                                    | 4478            | 12512            | 3214                        | 1791               | 5005            | 4329                       | 2249                    |
| 25.6                                                      | 80.0         | 4000.0                            | 8245                                                                    | 4524            | 12769            | 3298                        | 1810               | 5108            | 4413                       | 2309                    |
| 26.3                                                      | 100.0        | 4000.0                            | 8486                                                                    | 4524            | 13010            | 3395                        | 1810               | 5204            | 4490                       | 2376                    |
| 27                                                        | 100.0        | 4000.0                            | 8750                                                                    | 4524            | 13274            | 3500                        | 1810               | 5310            | 4577                       | 2450                    |



# Evaluasi Stabilitas Steel Sheet Pile Pada Galian Fondasi Pile Cap Akibat Beban Lalu Lintas Jalan Ringroad Dengan Pemodelan Finite Element Method

Fatiya Nur Fitriantari, Dr. Ir. Devi Oktaviana Latif, S.T., M.Eng., IPM.

Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>



Soil Investigation and Foundation Engineering

## UNCONSOLIDATED UNDRAINED TRIAXIAL TEST

Project No. : 233676

Project : Tol Yogya-Solo

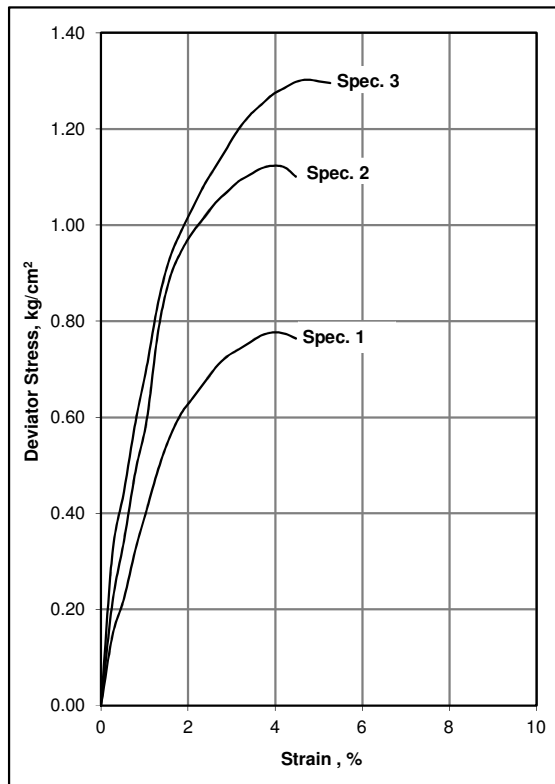
Location : Yogyakarta

Date : June 2023

Hole No. : BH-65

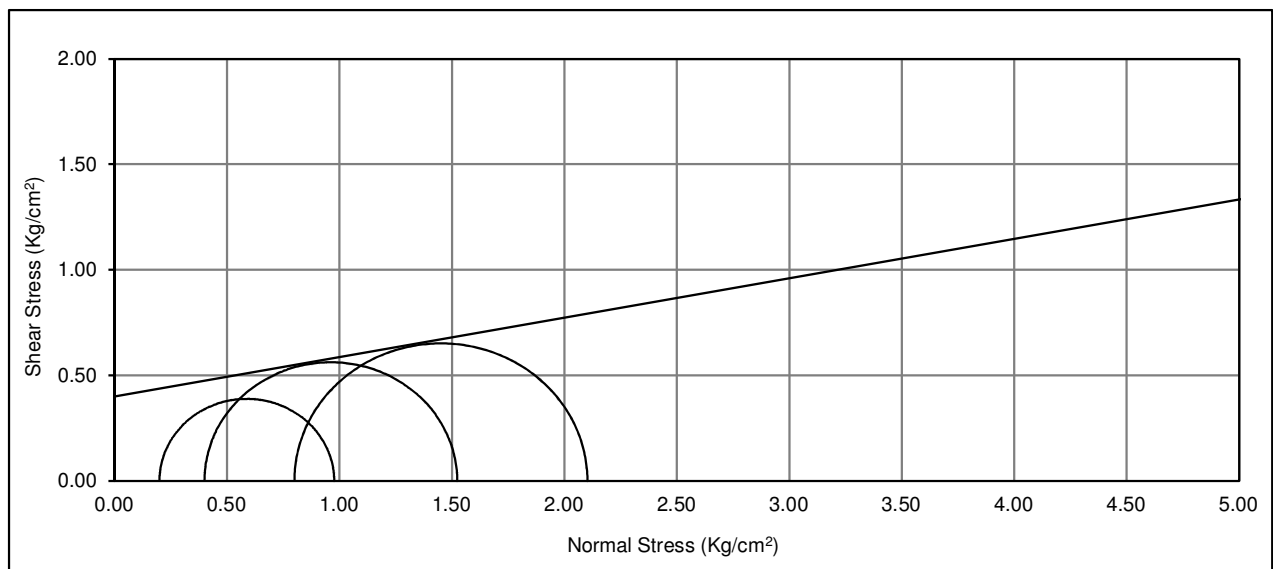
Depth : 2.50-3.00 m

Tested / Checked by : FR / Yu



Soil Description : Silty clay, with some sand, brownish grey

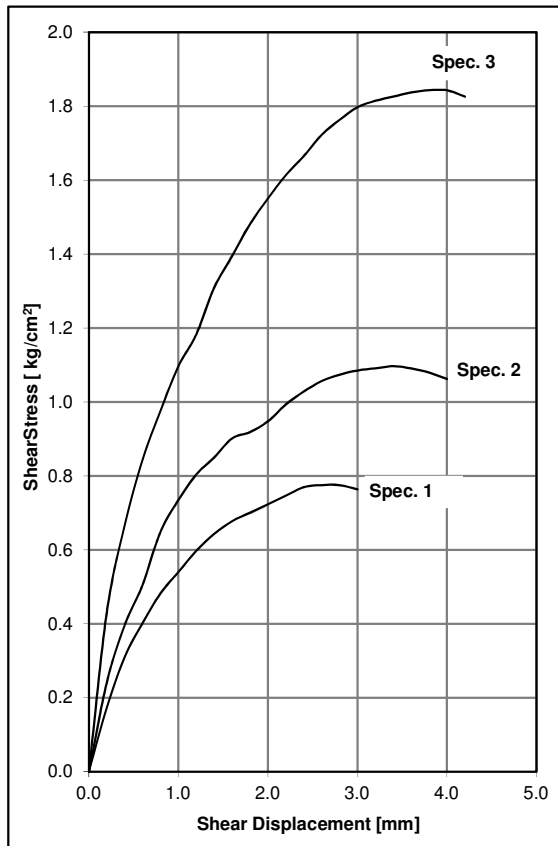
| SPECIMEN No.                           | 1                            | 2     | 3     |
|----------------------------------------|------------------------------|-------|-------|
| Natural Moisture Content, %            | 31                           | 27    | 29    |
| Specific Gravity, G <sub>s</sub>       | 2.65                         | 2.65  | 2.65  |
| Density, t/m <sup>3</sup>              | 1.62                         | 1.76  | 1.79  |
| Dry density, t/m <sup>3</sup>          | 1.23                         | 1.38  | 1.39  |
| Void Ratio                             | 1.15                         | 0.91  | 0.90  |
| Saturation, %                          | 71.53                        | 77.86 | 84.33 |
| Strain rate, mm/minute                 | 0.66                         | 0.66  | 0.66  |
| Confining Pressure, kg/cm <sup>2</sup> | 0.20                         | 0.40  | 0.80  |
| Deviator Stress, kg/cm <sup>2</sup>    | 0.78                         | 1.12  | 1.30  |
| Strain at Failure, %                   | 3.95                         | 3.95  | 4.74  |
| Shear Strength                         | c [kg/cm <sup>2</sup> ] 0.40 |       |       |
| Parameters                             | φ [°] 11                     |       |       |



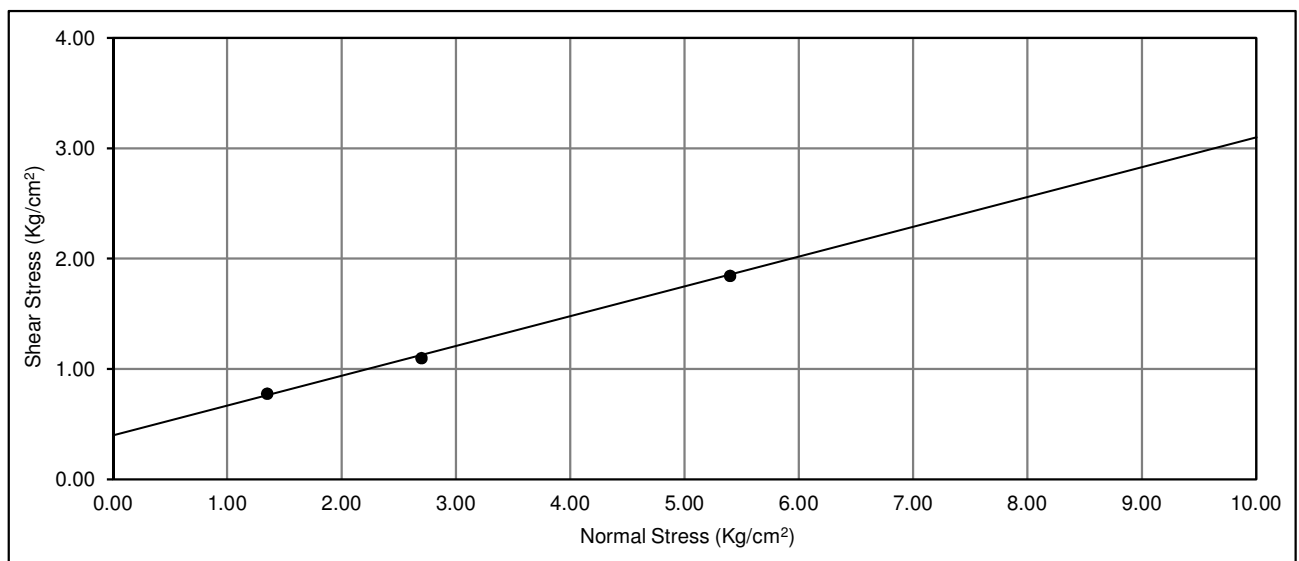
## DIRECT SHEAR TEST

Project No. : **233676**  
Project : **Tol Yogya-Solo**  
Location : Yogyakarta

Date : June 2023  
Hole No. : BH-65  
Depth : 28.50-29.00 m  
Tested / Checked by : Fr / Yu



| Soil Description : Sand, with a little of silt,<br>dark grey |                                    |       |       |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------|-------|
| SPECIMEN No.                                                 | 1                                  | 2     | 3     |
| Height of sample, cm                                         | 2.00                               | 2.00  | 2.00  |
| Area of sample, cm <sup>2</sup>                              | 28.27                              | 28.27 | 28.27 |
| Natural Moisture content, %                                  | 12                                 | 11    | 11    |
| Specific Gravity, G <sub>s</sub>                             | 2.83                               | 2.83  | 2.83  |
| Density, t/m <sup>3</sup>                                    | 1.66                               | 1.67  | 1.67  |
| Dry density, t/m <sup>3</sup>                                | 1.49                               | 1.50  | 1.50  |
| Void Ratio                                                   | 0.90                               | 0.89  | 0.88  |
| Saturation, %                                                | 37.21                              | 36.01 | 36.13 |
| Strain rate, mm/minute                                       | 0.74                               | 0.74  | 0.74  |
| Normal Stress, kg/cm <sup>2</sup>                            | 1.35                               | 2.70  | 5.40  |
| Shear Stress, kg/cm <sup>2</sup>                             | 0.78                               | 1.10  | 1.84  |
| Shear Strength<br>parameters                                 | c [kg/cm <sup>2</sup> ]<br>φ [deg] |       |       |
|                                                              | 0.40<br>15                         |       |       |



## CONSOLIDATION TEST

PROJECT No. : **233676**  
PROJECT : **Tol Yogya-Solo**  
LOCATION : Yogyakarta  
BORING No. : BH-65  
DEPTH : 2.50-3.00 m

TEST NO. E2  
DATE : June 2023  
TESTED BY : Ud  
CHECKED BY : Yu

### APARATUS :

ring height, cm = 2      weight, gr = 72.13       $W_3$  = solid weight, gr = 55.27  
diameter, cm = 4.95       $G_s$  = 2.65       $H_s$  = solid height, cm = 1.08  
A area, cm<sup>2</sup> = 19.24      void ratio,  $e_i$  = 0.846

| Applied pressure<br>P kg/cm <sup>2</sup> | Final dial reading | Dial change, DH, (cm) | DH<br>$\Delta e = \frac{DH}{H_s}$ | e = $e_i - \Delta e$ | Average height (cm) | Fitting time sec |          | Coef. of consolidation $C_v$ , cm <sup>2</sup> /sec |                   | Compress. index (Cc) |
|------------------------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------|------------------|----------|-----------------------------------------------------|-------------------|----------------------|
|                                          |                    |                       |                                   |                      |                     | $t_{90}$         | $t_{50}$ | $0.848H^2/t_{90}$                                   | $0.197H^2/t_{50}$ |                      |
| 0.0000                                   | 1.000              |                       |                                   | 0.846                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.009                 | 0.008                             |                      | 1.996               |                  |          |                                                     |                   |                      |
| 0.0625                                   | 0.991              |                       |                                   | 0.837                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.020                 | 0.018                             |                      | 1.986               |                  |          |                                                     |                   |                      |
| 0.1250                                   | 0.980              |                       |                                   | 0.827                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.025                 | 0.023                             |                      | 1.978               |                  |          |                                                     |                   |                      |
| 0.2500                                   | 0.975              |                       |                                   | 0.822                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.040                 | 0.037                             |                      | 1.968               | 60               |          | 1.37E-02                                            |                   |                      |
| 0.5000                                   | 0.960              |                       |                                   | 0.809                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.058                 | 0.054                             |                      | 1.951               | 101.4            |          | 7.96E-03                                            |                   |                      |
| 1.0000                                   | 0.942              |                       |                                   | 0.792                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.089                 | 0.082                             |                      | 1.927               | 173.4            |          | 4.54E-03                                            |                   |                      |
| 2.0000                                   | 0.911              |                       |                                   | 0.763                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.127                 | 0.117                             |                      | 1.892               | 375              |          | 2.02E-03                                            |                   |                      |
| 4.0000                                   | 0.873              |                       |                                   | 0.728                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.177                 | 0.163                             |                      | 1.848               | 735              |          | 9.85E-04                                            |                   | 0.153                |
| 8.0000                                   | 0.823              |                       |                                   | 0.682                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.164                 | 0.151                             |                      | 1.830               |                  |          |                                                     |                   |                      |
| 2.0000                                   | 0.836              |                       |                                   | 0.694                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.150                 | 0.138                             |                      | 1.843               |                  |          |                                                     |                   |                      |
| 0.5000                                   | 0.8505             |                       |                                   | 0.708                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.125                 | 0.115                             |                      | 0.938               |                  |          |                                                     |                   |                      |
| 0.0625                                   | 0.875              |                       |                                   | 0.730                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |

|                                                                |      | Condition                             | Initial | Final |
|----------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------|---------|-------|
| Liquid limit (%)                                               | 56   | Sample height (cm)                    | 2.00    | 1.88  |
| Plastic Index (%)                                              | 33   | Water content (%)                     | 30.5    | 32.2  |
| Specific gravity                                               | 2.65 | Dry unit weight (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.44    | 1.51  |
| Preconsolidation pressure (kg/cm <sup>2</sup> )                | 1.2  | Void ratio                            | 0.85    | 0.73  |
| Effective overburden pressure (kg/cm <sup>2</sup> )            |      | Saturation (%)                        | 95.6    | 100.0 |
| Sample description : Silty clay, with some sand, brownish grey |      |                                       |         |       |

## CONSOLIDATION TEST

PROJECT No. : **233676**

PROJECT : **Tol Yogya-Solo**

LOCATION : Yogyakarta

BORING No. : BH-65

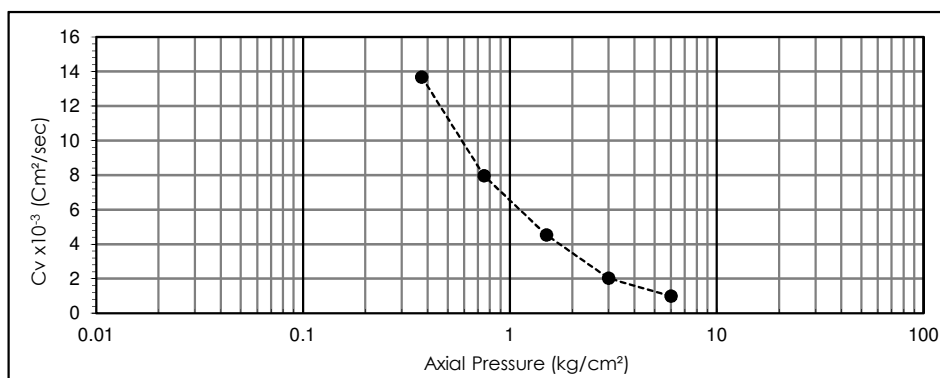
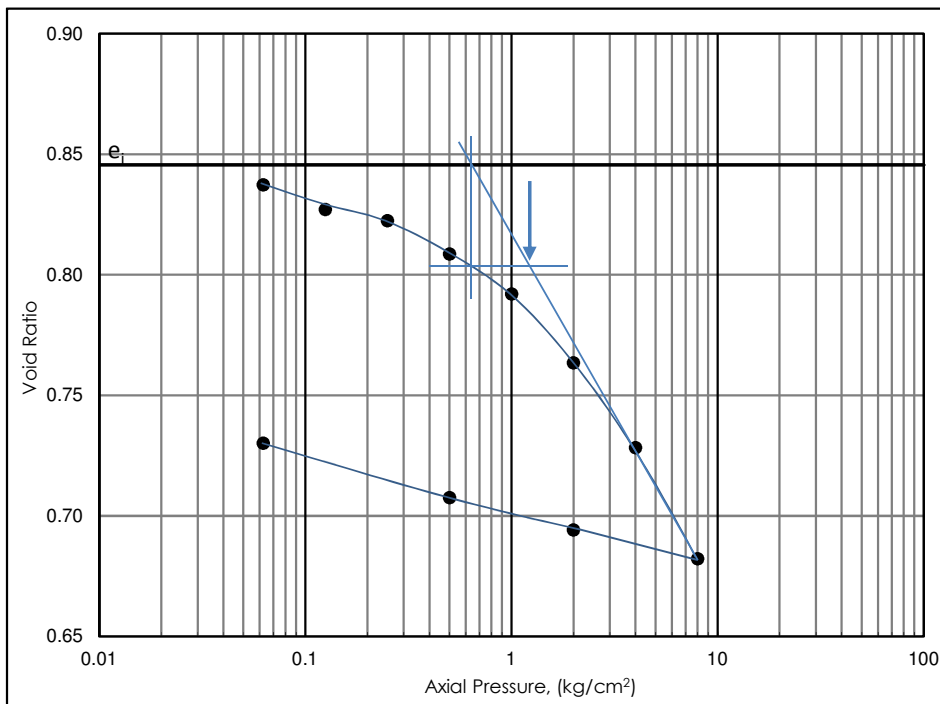
DEPTH : 2.50-3.00 m

TEST NO. E2

DATE : June 2023

TESTED BY : Ud

CHECKED BY : Yu



## CONSOLIDATION TEST

PROJECT No. : **233676**  
PROJECT : **Tol Yogya-Solo**  
LOCATION : Yogyakarta  
BORING No. : BH-65  
DEPTH : 4.50-5.00 m

TEST NO. : G3  
DATE : June 2023  
TESTED BY : Ud  
CHECKED BY : Yu

### APARATUS :

ring height, cm = 2      weight, gr = 65.15       $W_3$  = solid weight, gr = 40.96  
diameter, cm = 5.00       $G_s$  = 2.6       $H_s$  = solid height, cm = 0.80  
A area, cm<sup>2</sup> = 19.63      void ratio,  $e_i$  = 1.493

| Applied pressure<br>P kg/cm <sup>2</sup> | Final dial reading | Dial change, DH, (cm) | DH<br>$\Delta e = \frac{DH}{H_s}$ | e = $e_i - \Delta e$ | Average height (cm) | Fitting time sec |          | Coef. of consolidation $C_v$ , cm <sup>2</sup> /sec |                   | Compress. index (Cc) |
|------------------------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------|------------------|----------|-----------------------------------------------------|-------------------|----------------------|
|                                          |                    |                       |                                   |                      |                     | $t_{90}$         | $t_{50}$ | $0.848H^2/t_{90}$                                   | $0.197H^2/t_{50}$ |                      |
| 0.0000                                   | 1.000              |                       |                                   | 1.493                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.005                 | 0.006                             |                      | 1.998               |                  |          |                                                     |                   |                      |
| 0.0625                                   | 0.995              |                       |                                   | 1.486                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.018                 | 0.022                             |                      | 1.989               | 117.6            |          | 7.13E-03                                            |                   |                      |
| 0.1250                                   | 0.982              |                       |                                   | 1.470                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.031                 | 0.039                             |                      | 1.976               | 153.6            |          | 5.39E-03                                            |                   |                      |
| 0.2500                                   | 0.969              |                       |                                   | 1.454                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.051                 | 0.064                             |                      | 1.959               | 194.4            |          | 4.19E-03                                            |                   |                      |
| 0.5000                                   | 0.949              |                       |                                   | 1.429                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.079                 | 0.098                             |                      | 1.935               | 240              |          | 3.31E-03                                            |                   |                      |
| 1.0000                                   | 0.921              |                       |                                   | 1.394                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.123                 | 0.153                             |                      | 1.899               | 540              |          | 1.42E-03                                            |                   |                      |
| 2.0000                                   | 0.877              |                       |                                   | 1.339                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.179                 | 0.223                             |                      | 1.849               | 960              |          | 7.55E-04                                            |                   |                      |
| 4.0000                                   | 0.821              |                       |                                   | 1.270                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.235                 | 0.293                             |                      | 1.793               | 2284.1           |          | 2.98E-04                                            |                   | 0.232                |
| 8.0000                                   | 0.765              |                       |                                   | 1.200                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.230                 | 0.287                             |                      | 1.768               |                  |          |                                                     |                   |                      |
| 2.0000                                   | 0.77               |                       |                                   | 1.206                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.217                 | 0.270                             |                      | 1.777               |                  |          |                                                     |                   |                      |
| 0.5000                                   | 0.783              |                       |                                   | 1.222                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |
|                                          |                    | 0.185                 | 0.230                             |                      | 0.908               |                  |          |                                                     |                   |                      |
| 0.0625                                   | 0.8155             |                       |                                   | 1.263                |                     |                  |          |                                                     |                   |                      |

|                                                                 |     | Condition                             | Initial | Final |
|-----------------------------------------------------------------|-----|---------------------------------------|---------|-------|
| Liquid limit (%)                                                | 62  | Sample height (cm)                    | 2.00    | 1.82  |
| Plastic Index (%)                                               | 20  | Water content (%)                     | 59.1    | 55.4  |
| Specific gravity                                                | 2.6 | Dry unit weight (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.04    | 1.30  |
| Preconsolidation pressure (kg/cm <sup>2</sup> )                 | 0.8 | Void ratio                            | 1.49    | 1.26  |
| Effective overburden pressure (kg/cm <sup>2</sup> )             |     | Saturation (%)                        | 100.0   | 100.0 |
| Sample description : Clayey silt, with some sand, brownish grey |     |                                       |         |       |

## CONSOLIDATION TEST

PROJECT No. : **233676**

PROJECT : **Tol Yogya-Solo**

LOCATION : Yogyakarta

BORING No. : BH-65

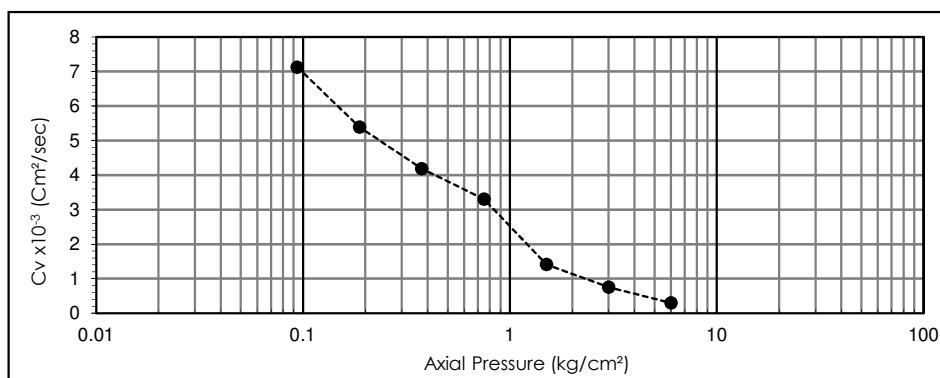
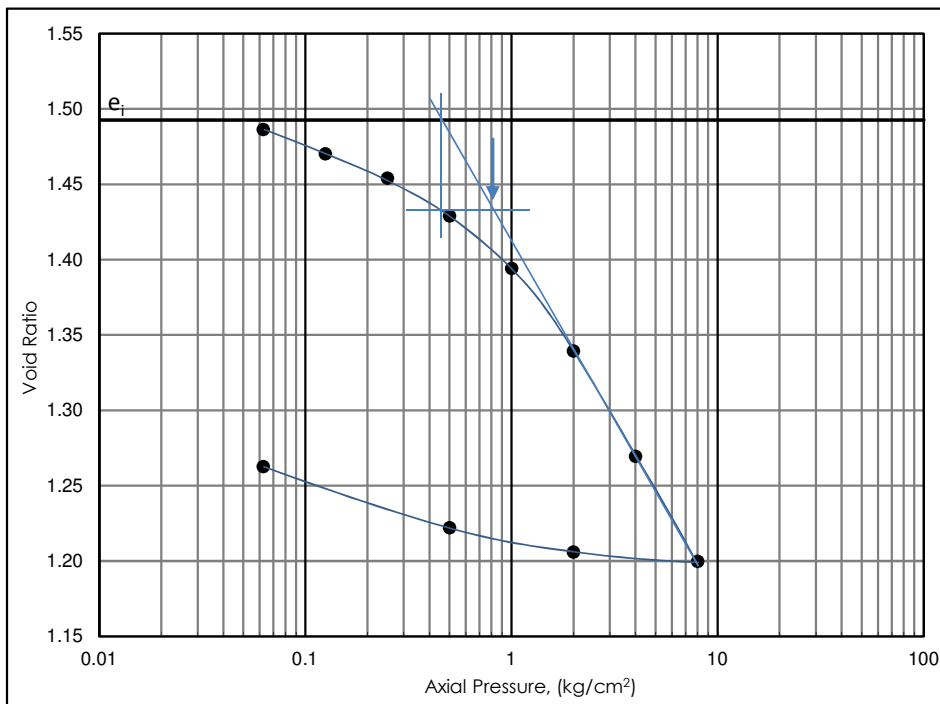
DEPTH : 4.50-5.00 m

TEST NO. G3

DATE : June 2023

TESTED BY : Ud

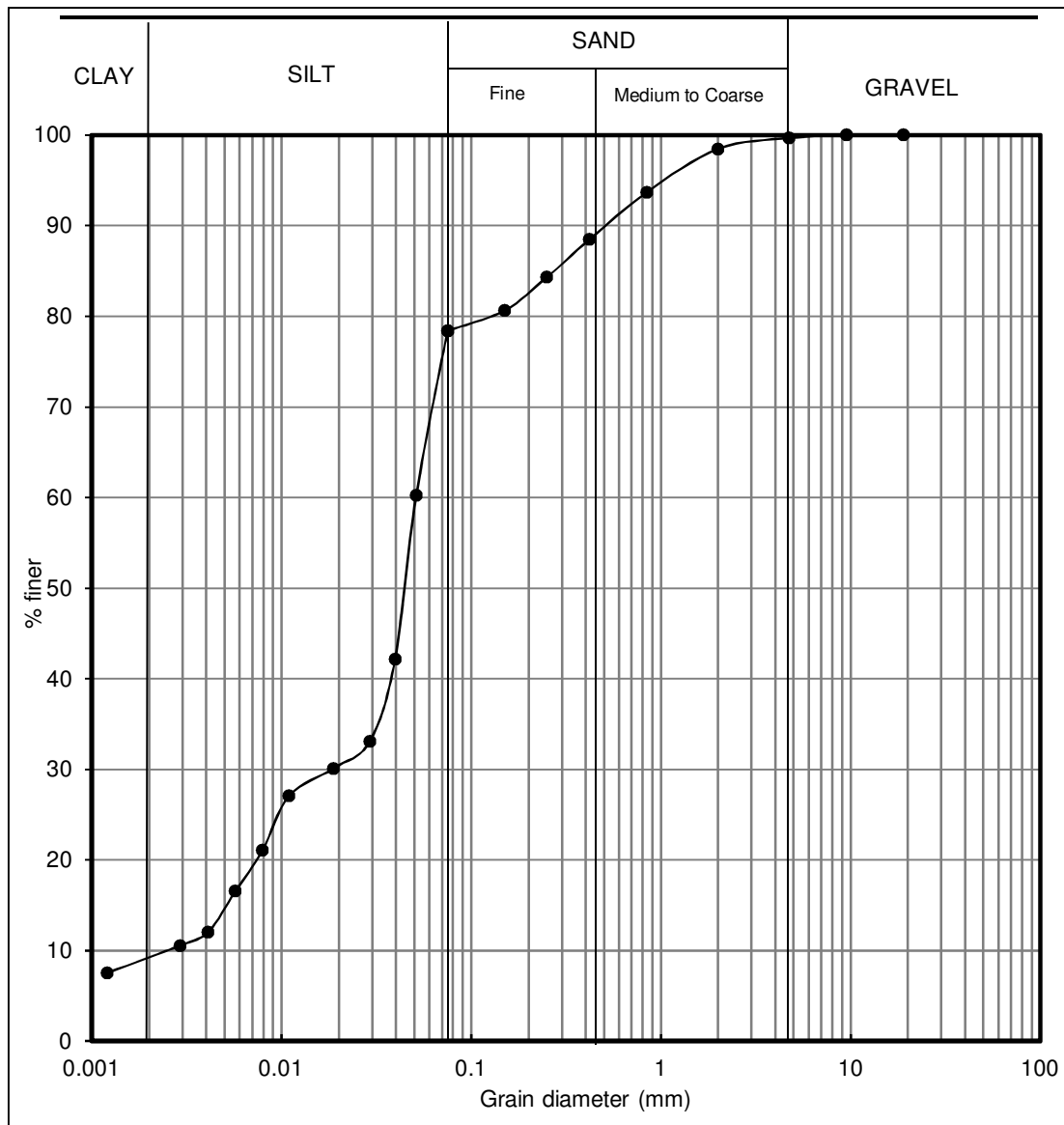
CHECKED BY : Yu



## GRAIN SIZE ANALYSIS

PROJECT : Tol Yogya - Solo  
LOCATION : Yogyakarta  
BORING No. : BH-65  
DEPTH : 1.00-1.45 m

DATE : May 2023  
TESTED BY : Dh  
CHECKED BY : Yu



| Soil Type      | Silt & Clay | Sand  | Gravel |
|----------------|-------------|-------|--------|
| Percentage (%) | 78.43       | 21.26 | 0.31   |

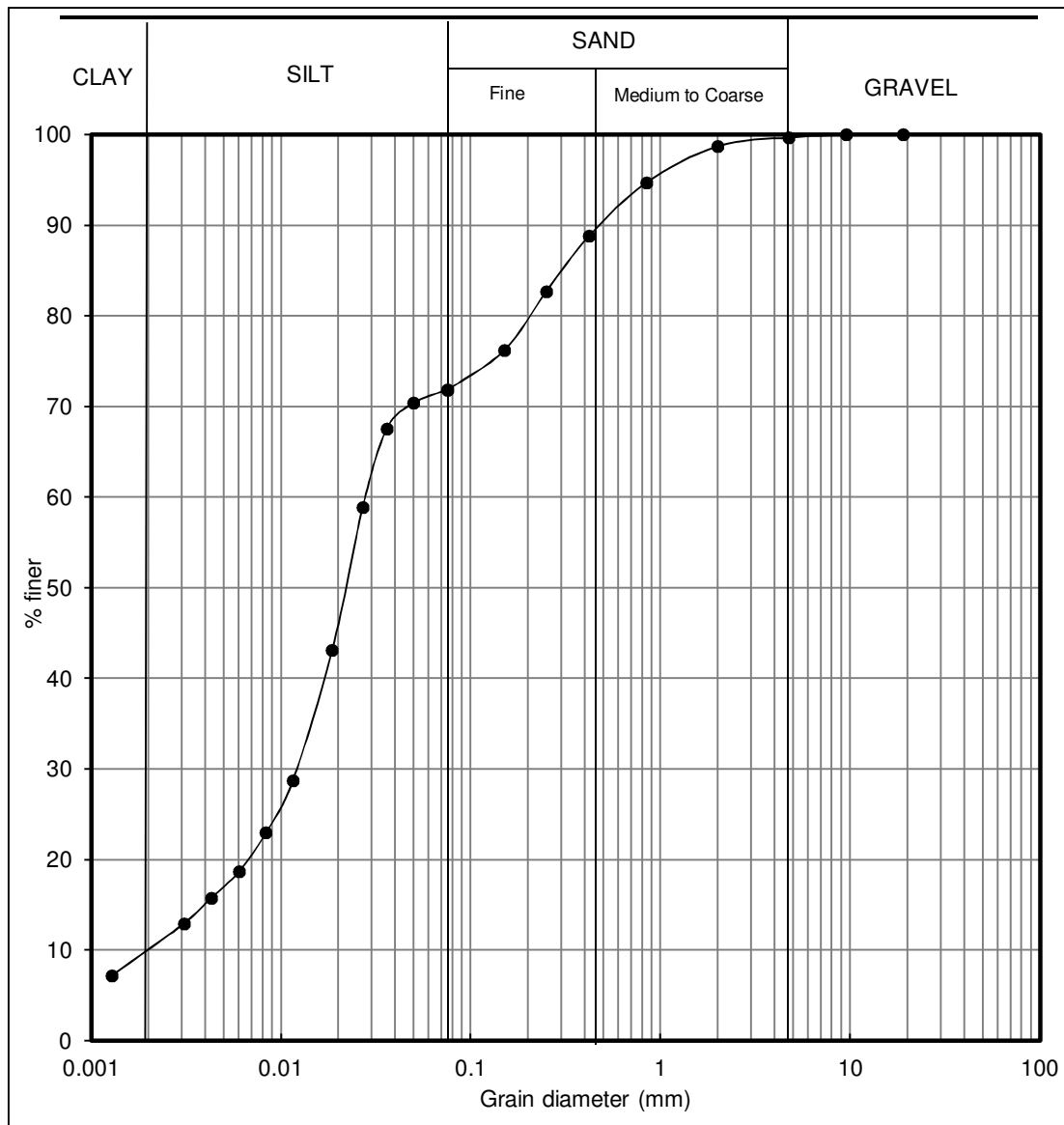
Visual soil description : Silty clay, with some sand, brownish grey

Soil classification (System USCS) : CL

## GRAIN SIZE ANALYSIS

PROJECT : Tol Yogya - Solo  
LOCATION : Yogyakarta  
BORING No. : BH-65  
DEPTH : 2.50-3.00 m

DATE : May 2023  
TESTED BY : Dh  
CHECKED BY : Yu



| Soil Type      | Silt & Clay | Sand  | Gravel |
|----------------|-------------|-------|--------|
| Percentage (%) | 71.85       | 27.86 | 0.29   |

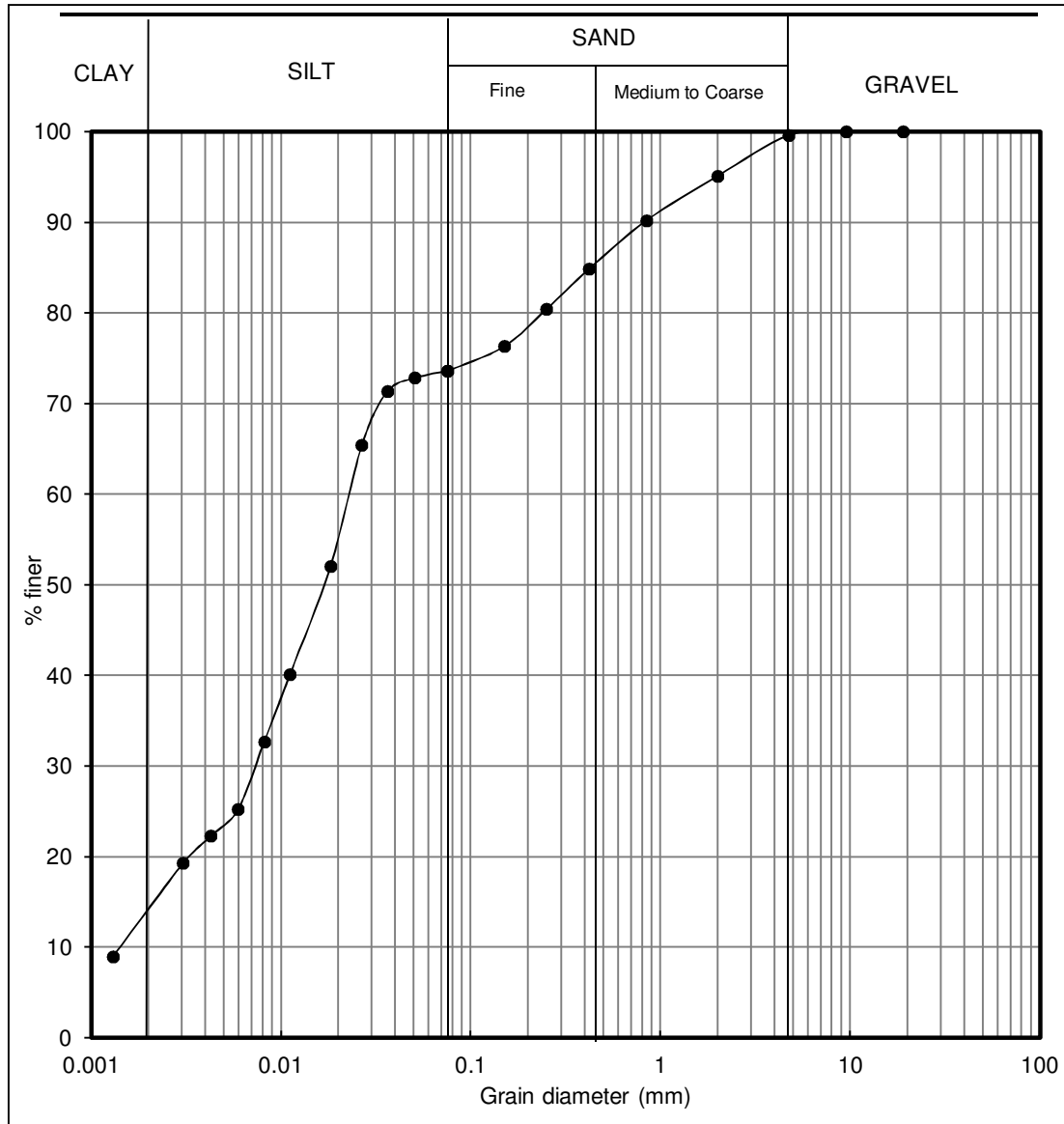
Visual soil description : Silty clay, with some sand, brownish grey

Soil classification (System USCS) : CH

## GRAIN SIZE ANALYSIS

PROJECT : Tol Yogya - Solo  
LOCATION : Yogyakarta  
BORING No. : BH-65  
DEPTH : 4.50-5.00 m

DATE : May 2023  
TESTED BY : Dh  
CHECKED BY : Yu



| Soil Type      | Silt & Clay | Sand  | Gravel |
|----------------|-------------|-------|--------|
| Percentage (%) | 73.61       | 26.02 | 0.37   |

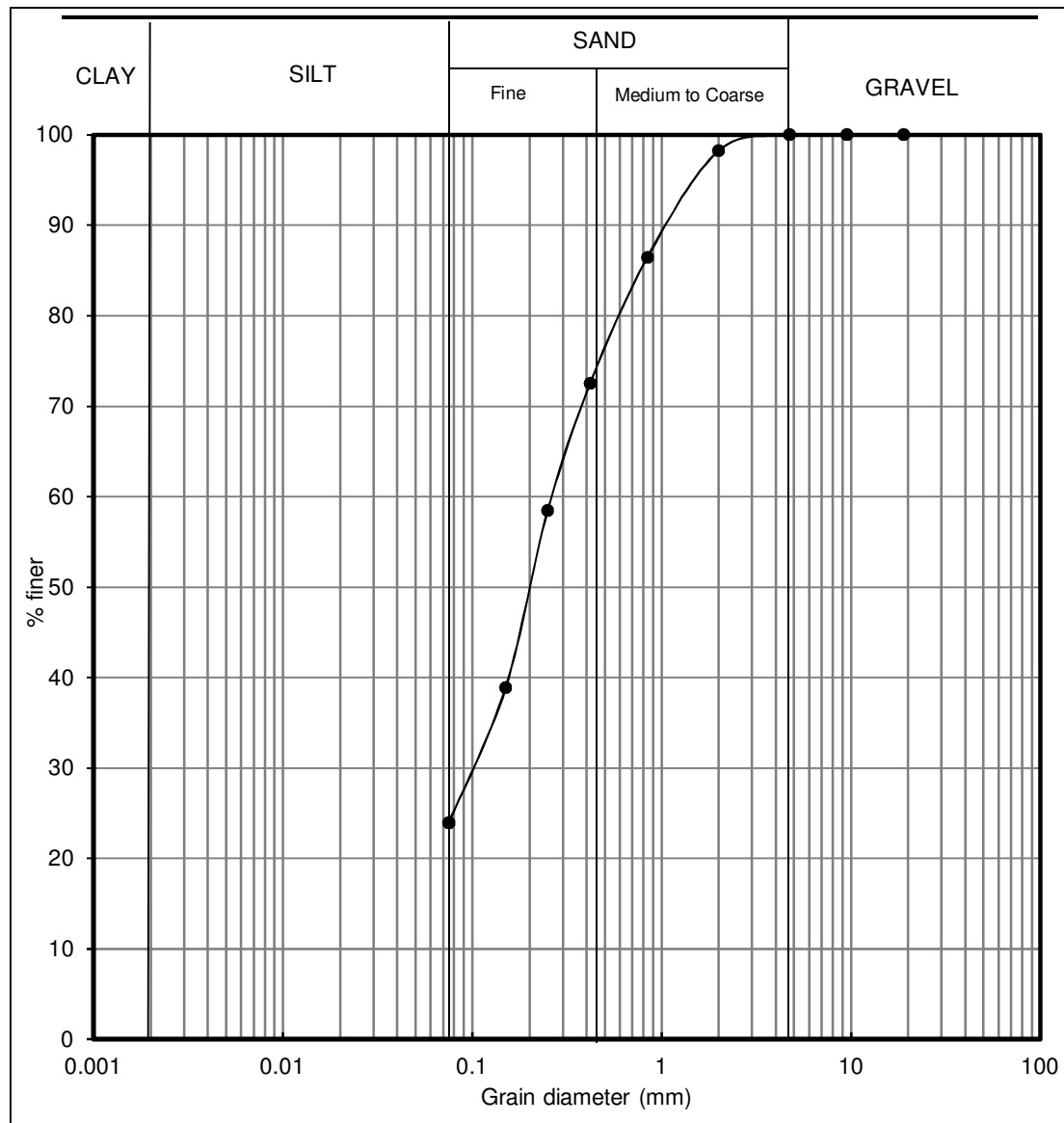
Visual soil description : Clayey silt, with some sand, brownish grey

Soil classification (System USCS) : MH

## GRAIN SIZE ANALYSIS

PROJECT : Tol Yogya - Solo  
LOCATION : Yogyakarta  
BORING No. : BH-65  
DEPTH : 9.00-9.45 m

DATE : May 2023  
TESTED BY : Dh  
CHECKED BY : Yu



| Soil Type      | Silt & Clay | Sand  | Gravel |
|----------------|-------------|-------|--------|
| Percentage (%) | 23.98       | 76.02 | 0.00   |

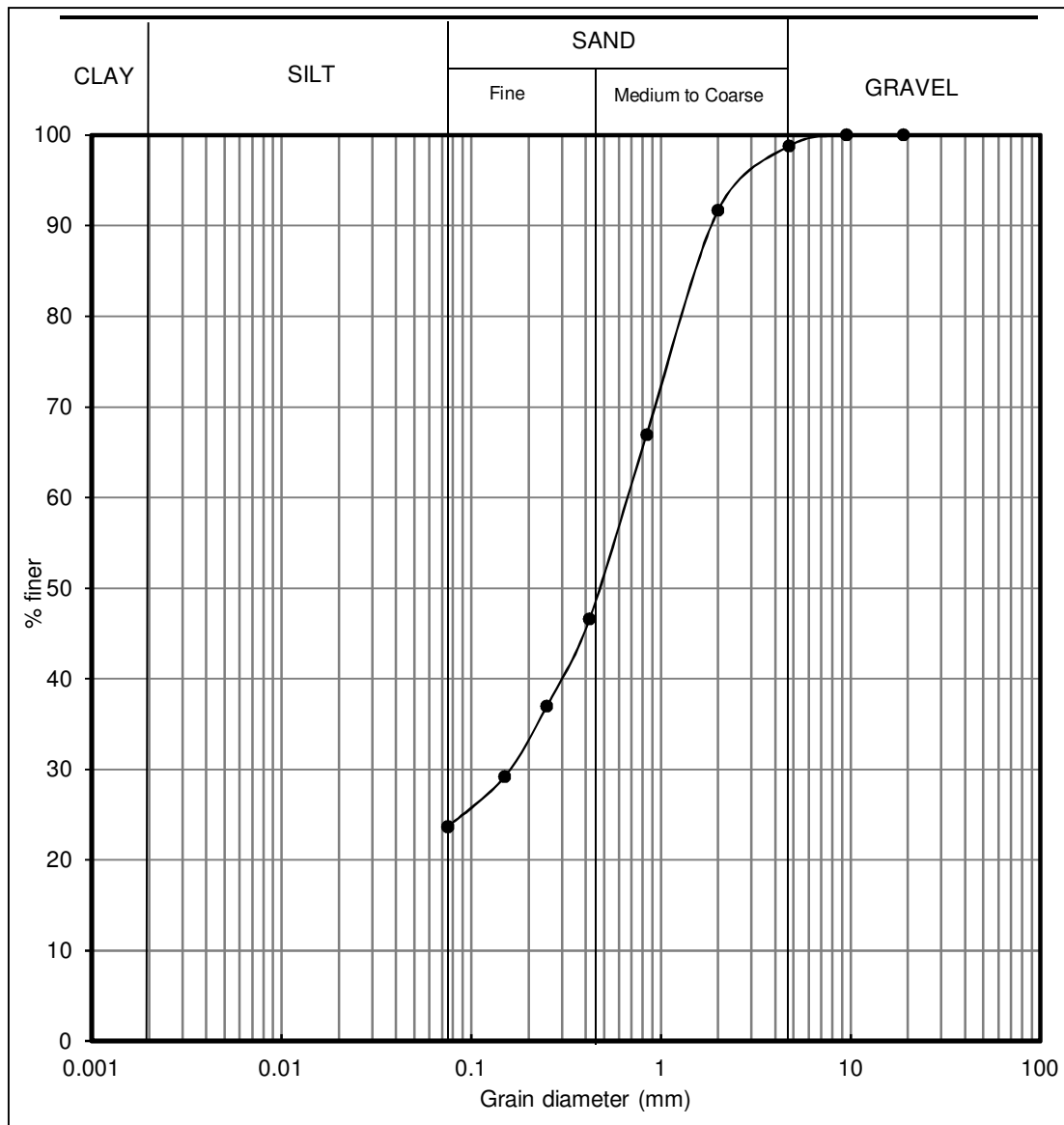
Visual soil description : Silty sand, dark grey

Soil classification (System USCS) : SM

## GRAIN SIZE ANALYSIS

PROJECT : Tol Yogya - Solo  
LOCATION : Yogyakarta  
BORING No. : BH-65  
DEPTH : 15.00-15.34 m

DATE : May 2023  
TESTED BY : Dh  
CHECKED BY : Yu



| Soil Type      | Silt & Clay | Sand  | Gravel |
|----------------|-------------|-------|--------|
| Percentage (%) | 23.69       | 75.13 | 1.18   |

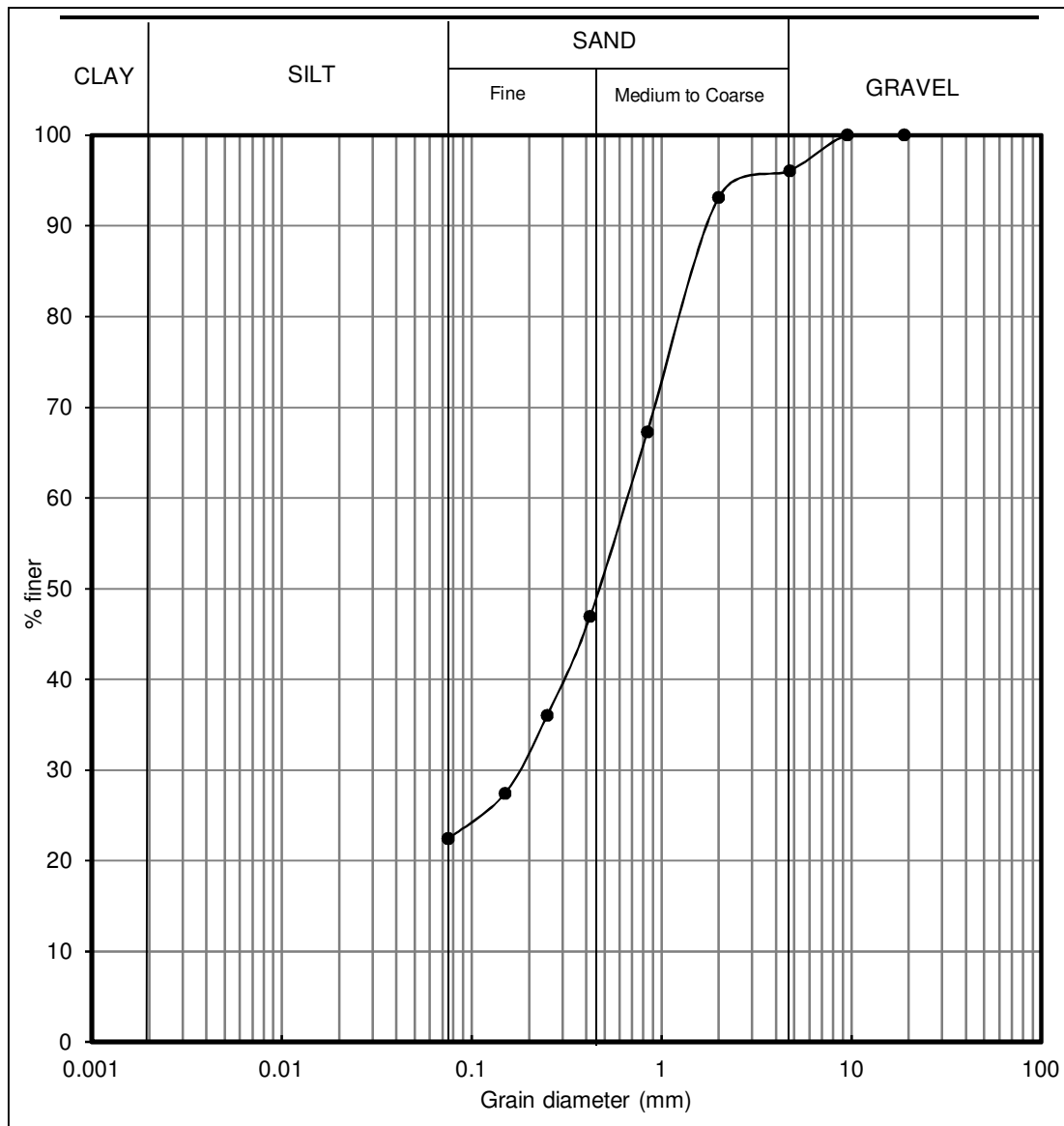
Visual soil description : Silty sand, with a trace of gravel, dark grey

Soil classification (System USCS) : SM

## GRAIN SIZE ANALYSIS

PROJECT : Tol Yogya - Solo  
LOCATION : Yogyakarta  
BORING No. : BH-65  
DEPTH : 21.00-21.36 m

DATE : May 2023  
TESTED BY : Dh  
CHECKED BY : Yu



| Soil Type      | Silt & Clay | Sand  | Gravel |
|----------------|-------------|-------|--------|
| Percentage (%) | 22.44       | 73.66 | 3.91   |

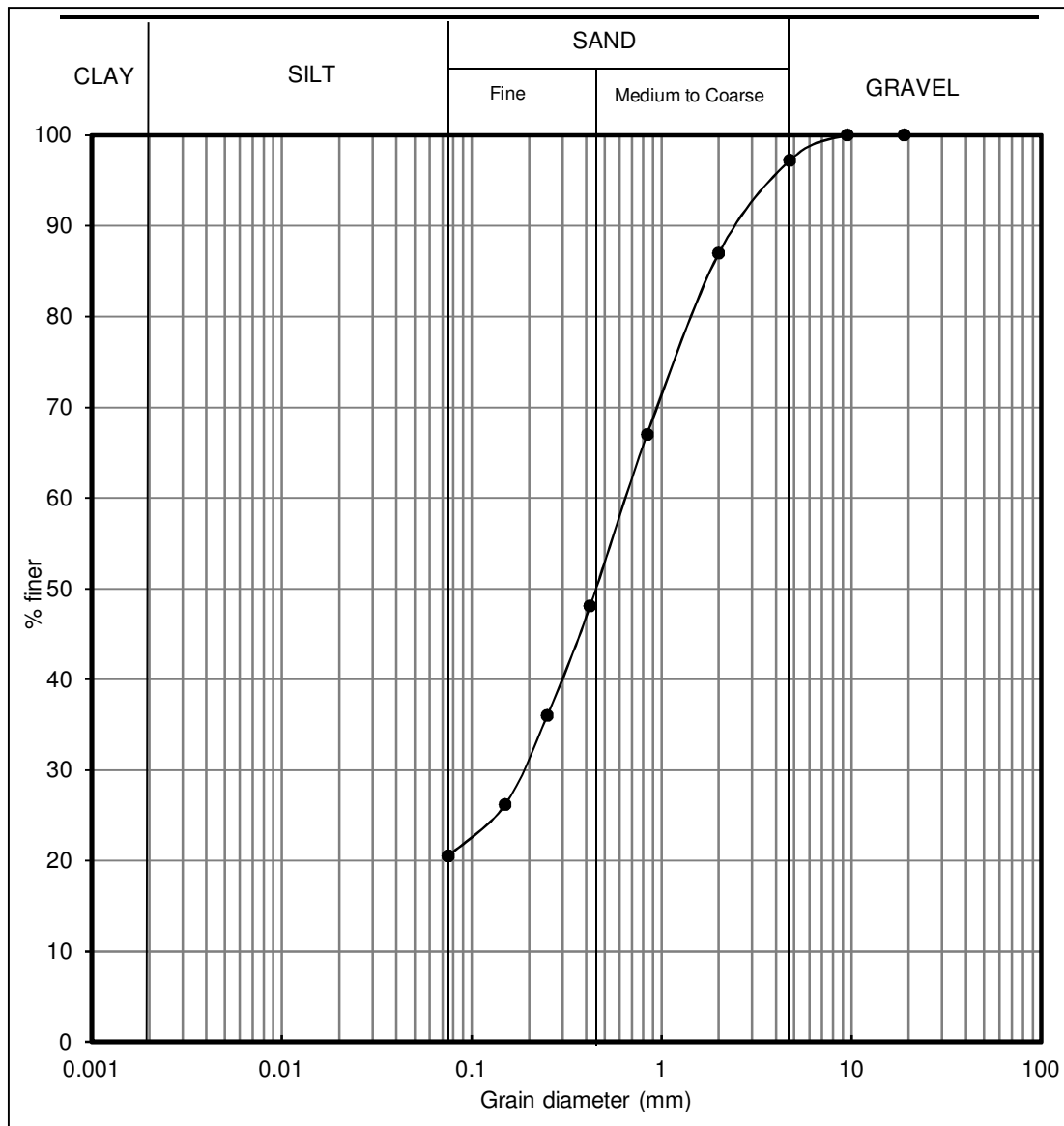
Visual soil description : Silty sand, with a trace of gravel, dark grey

Soil classification (System USCS) : SM

## GRAIN SIZE ANALYSIS

PROJECT : Tol Yogya - Solo  
LOCATION : Yogyakarta  
BORING No. : BH-65  
DEPTH : 27.00-27.45 m

DATE : May 2023  
TESTED BY : Dh  
CHECKED BY : Yu



| Soil Type      | Silt & Clay | Sand  | Gravel |
|----------------|-------------|-------|--------|
| Percentage (%) | 20.54       | 76.72 | 2.74   |

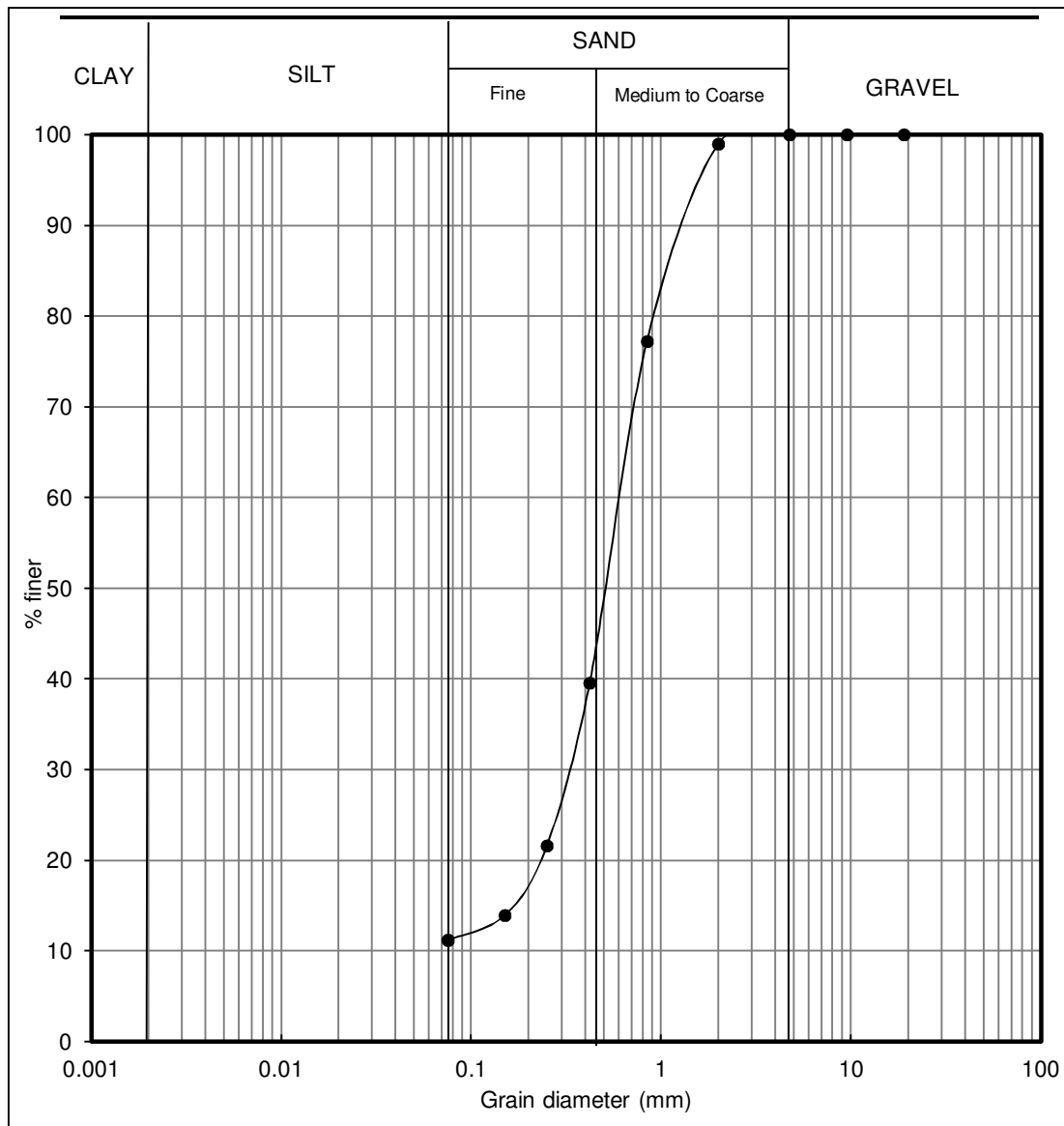
Visual soil description : Silty sand, with a trace of gravel, dark grey

Soil classification (System USCS) : SM

## GRAIN SIZE ANALYSIS

PROJECT : Tol Yogya - Solo  
LOCATION : Yogyakarta  
BORING No. : BH-65  
DEPTH : 28.50-29.00 m

DATE : May 2023  
TESTED BY : Dh  
CHECKED BY : Yu



| Soil Type      | Silt & Clay | Sand  | Gravel |
|----------------|-------------|-------|--------|
| Percentage (%) | 11.21       | 88.79 | 0.00   |

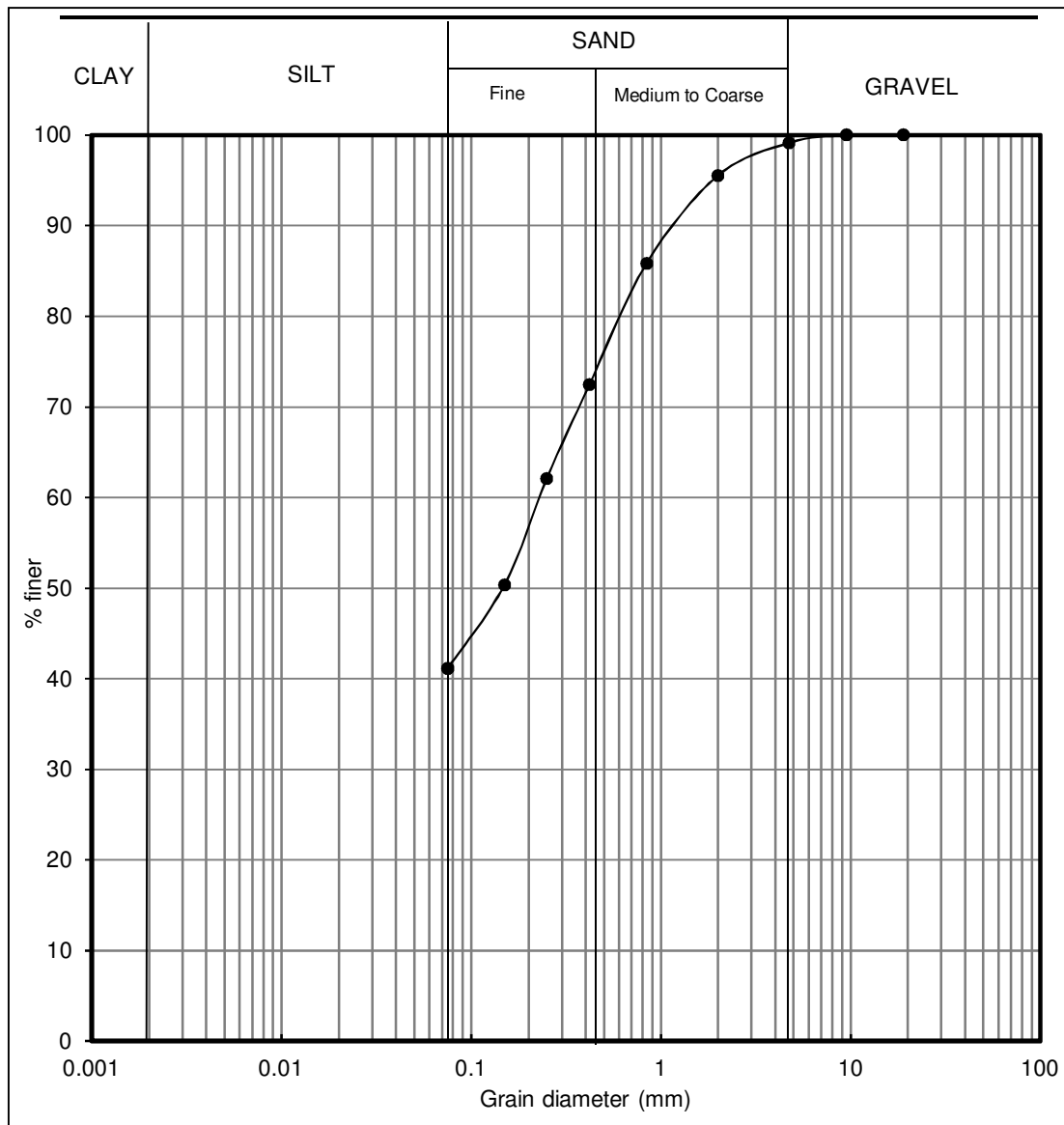
Visual soil description : Sand, with a little of silt, dark grey

Soil classification (System USCS) : SP-SM

## GRAIN SIZE ANALYSIS

PROJECT : Tol Yogya - Solo  
LOCATION : Yogyakarta  
BORING No. : BH-66  
DEPTH : 2.50-3.00 m

DATE : June 2023  
TESTED BY : Dh  
CHECKED BY : Yu



| Soil Type      | Silt & Clay | Sand  | Gravel |
|----------------|-------------|-------|--------|
| Percentage (%) | 41.15       | 58.01 | 0.84   |

Visual soil description : Silty sand, brown

Soil classification (System USCS) : SM

## INDEX PROPERTIES

Project : Tol Yogya - Solo

Location : Yogyakarta

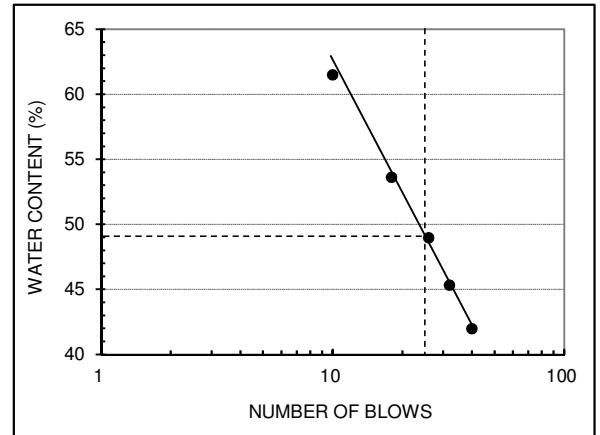
Hole no. : BH-65

Date of testing : May 2023

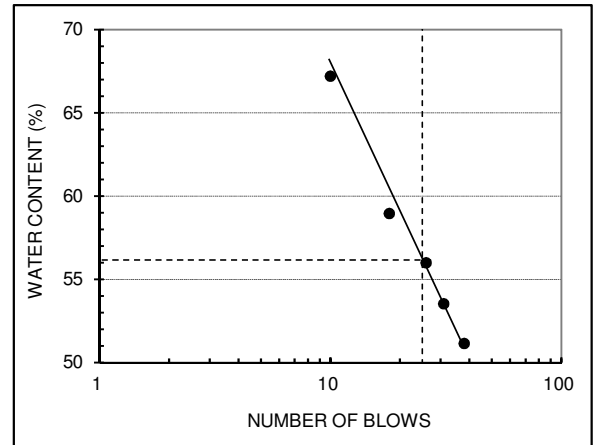
Tested by : Dh

Checked by : Yu

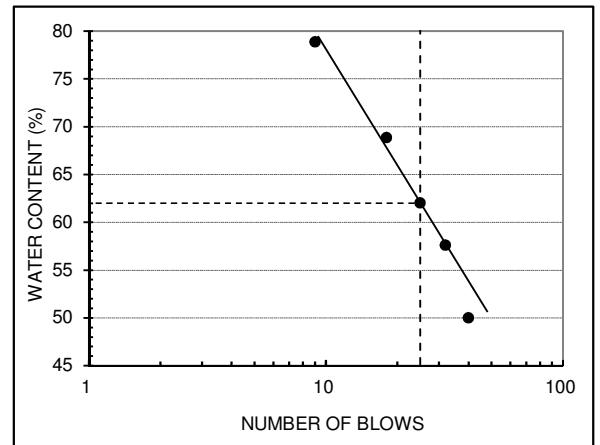
| Sample No. : SPT 1    |              |                    | Depth : 1.00-1.45 m |                    |
|-----------------------|--------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| Liquid limit test     |              |                    | Plastic limit test  |                    |
| Test no.              | No. of blows | W <sub>L</sub> , % | Test no.            | W <sub>P</sub> , % |
| 1                     | 40           | 41.96              | 1                   | 20.00              |
| 2                     | 32           | 45.32              | 2                   | 20.46              |
| 3                     | 26           | 48.96              | 3                   | 20.02              |
| 4                     | 18           | 53.60              |                     |                    |
| 5                     | 10           | 61.50              | Average             | 20.16              |
| Liquid Limit, %       |              | Plastic limit, %   | Plasticity Index    |                    |
| 49                    |              | 20                 | 29                  |                    |
| Natural Water Content |              | Specific Gravity   | USCS                |                    |
| 31                    |              | N/A                | CL                  |                    |



| Sample No. : UDS 1    |              |                    | Depth : 2.50-3.00 m |                    |
|-----------------------|--------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| Liquid limit test     |              |                    | Plastic limit test  |                    |
| Test no.              | No. of blows | W <sub>L</sub> , % | Test no.            | W <sub>P</sub> , % |
| 1                     | 38           | 51.14              | 1                   | 22.72              |
| 2                     | 31           | 53.52              | 2                   | 23.42              |
| 3                     | 26           | 55.98              | 3                   | 22.80              |
| 4                     | 18           | 58.95              |                     |                    |
| 5                     | 10           | 67.20              | Average             | 22.98              |
| Liquid Limit, %       |              | Plastic limit, %   | Plasticity Index    |                    |
| 56                    |              | 23                 | 33                  |                    |
| Natural Water Content |              | Specific Gravity   | USCS                |                    |
| 28                    |              | 2.65               | CH                  |                    |



| Sample No. : UDS 2    |              |                    | Depth : 4.50-5.00 m |                    |
|-----------------------|--------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| Liquid limit test     |              |                    | Plastic limit test  |                    |
| Test no.              | No. of blows | W <sub>L</sub> , % | Test no.            | W <sub>P</sub> , % |
| 1                     | 40           | 50.00              | 1                   | 41.35              |
| 2                     | 32           | 57.58              | 2                   | 41.71              |
| 3                     | 25           | 62.02              | 3                   | 41.94              |
| 4                     | 18           | 68.86              |                     |                    |
| 5                     | 9            | 78.86              | Average             | 41.66              |
| Liquid Limit, %       |              | Plastic limit, %   | Plasticity Index    |                    |
| 62                    |              | 42                 | 20                  |                    |
| Natural Water Content |              | Specific Gravity   | USCS                |                    |
| 57                    |              | 2.60               | MH                  |                    |



## INDEX PROPERTIES

Project : **Tol Yogya - Solo**

Location : Yogyakarta

Hole no. : BH-65

Date of testing : May 2023

Tested by : Dh

Checked by : Yu

|                       |              |                    |                     |                    |  |
|-----------------------|--------------|--------------------|---------------------|--------------------|--|
| Sample No. : SPT 2    |              |                    | Depth : 9.00-9.45 m |                    |  |
| Liquid limit test     |              |                    | Plastic limit test  |                    |  |
| Test no.              | No. of blows | W <sub>L</sub> , % | Test no.            | W <sub>p</sub> , % |  |
| 1                     |              |                    | 1                   |                    |  |
| 2                     |              |                    | 2                   |                    |  |
| 3                     |              |                    | 3                   |                    |  |
| 4                     |              |                    | Average             |                    |  |
| 5                     |              |                    |                     |                    |  |
| Liquid Limit, %       |              | Plastic limit, %   | Plasticity Index    |                    |  |
| NP                    |              | NP                 | NP                  |                    |  |
| Natural Water Content |              | Specific Gravity   | USCS                |                    |  |
| 16                    |              | N/A                | SM                  |                    |  |

|                       |              |                  |                       |                  |
|-----------------------|--------------|------------------|-----------------------|------------------|
| Sample No. : SPT 3    |              |                  | Depth : 15.00-15.34 m |                  |
| Liquid limit test     |              |                  | Plastic limit test    |                  |
| Test no.              | No. of blows | W <sub>L</sub> % | Test no.              | W <sub>P</sub> % |
| 1                     |              |                  | 1                     |                  |
| 2                     |              |                  | 2                     |                  |
| 3                     |              |                  | 3                     |                  |
| 4                     |              |                  | Average               |                  |
| 5                     |              |                  |                       |                  |
| Liquid Limit, %       |              | Plastic limit, % | Plasticity Index      |                  |
| NP                    |              | NP               | NP                    |                  |
| Natural Water Content |              | Specific Gravity | USCS                  |                  |
| 11                    |              | N/A              | SM                    |                  |

## INDEX PROPERTIES

Project : **Tol Yogya - Solo**

Location : Yogyakarta

Hole no. : BH-65

Date of testing : May 2023

Tested by : Dh

Checked by : Yu

|                       |              |                    |                       |                    |
|-----------------------|--------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| Sample No. : SPT 4    |              |                    | Depth : 21.00-21.36 m |                    |
| Liquid limit test     |              |                    | Plastic limit test    |                    |
| Test no.              | No. of blows | W <sub>L</sub> , % | Test no.              | W <sub>p</sub> , % |
| 1                     |              |                    | 1                     |                    |
| 2                     |              |                    | 2                     |                    |
| 3                     |              |                    | 3                     |                    |
| 4                     |              |                    | Average               |                    |
| 5                     |              |                    |                       |                    |
| Liquid Limit, %       |              | Plastic limit, %   | Plasticity Index      |                    |
| NP                    |              | NP                 | NP                    |                    |
| Natural Water Content |              | Specific Gravity   | USCS                  |                    |
| 13                    |              | N/A                | SM                    |                    |

|                       |              |                  |                       |                  |
|-----------------------|--------------|------------------|-----------------------|------------------|
| Sample No. : SPT 5    |              |                  | Depth : 27.00-27.45 m |                  |
| Liquid limit test     |              |                  | Plastic limit test    |                  |
| Test no.              | No. of blows | W <sub>L</sub> % | Test no.              | W <sub>p</sub> % |
| 1                     |              |                  | 1                     |                  |
| 2                     |              |                  | 2                     |                  |
| 3                     |              |                  | 3                     |                  |
| 4                     |              |                  | Average               |                  |
| 5                     |              |                  |                       |                  |
| Liquid Limit, %       |              | Plastic limit, % |                       | Plasticity Index |
| NP                    |              | NP               |                       | NP               |
| Natural Water Content |              | Specific Gravity |                       | USCS             |
| 16                    |              | N/A              |                       | <b>SM</b>        |

## INDEX PROPERTIES

Project : **Tol Yogya - Solo**

Location : Yogyakarta

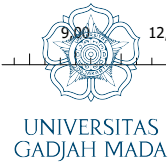
Hole no. : BH-65

Date of testing : May 2023

Tested by : Dh

Checked by : Yu

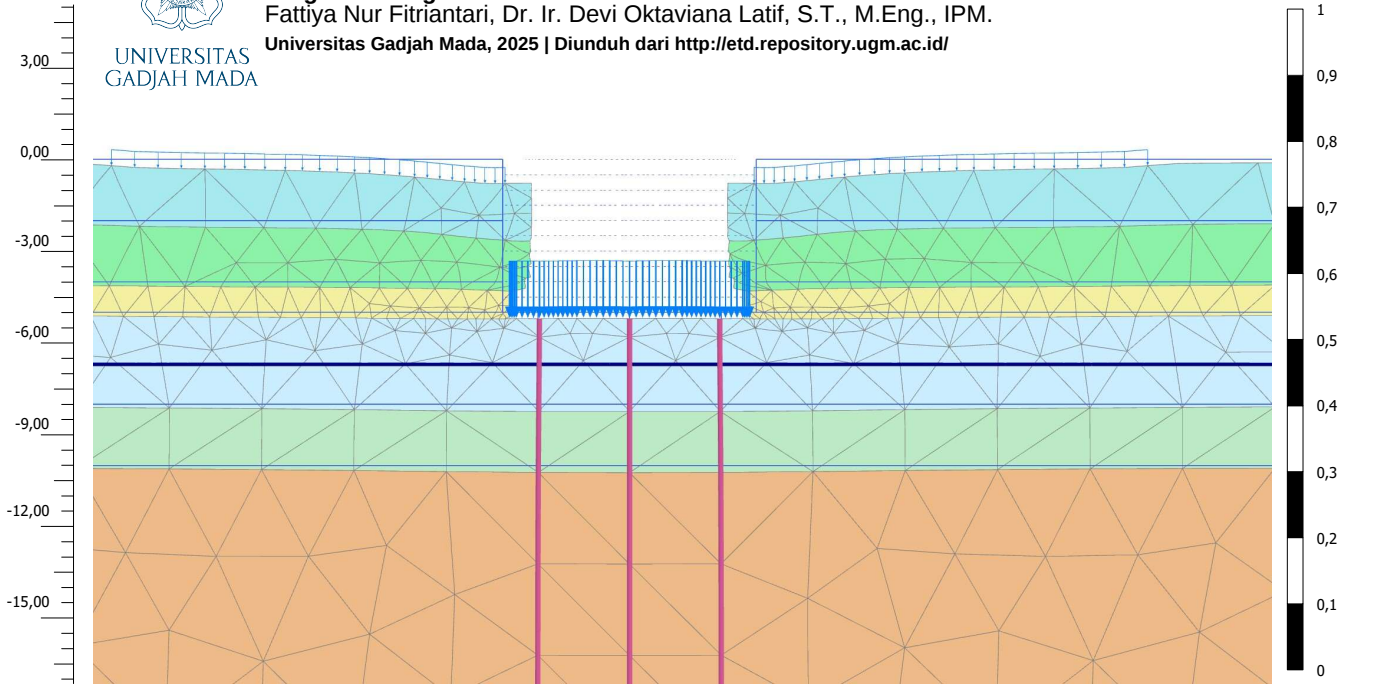
| Sample No. : UDS 3    |              |                    | Depth : 28.50-29.00 m |                    |
|-----------------------|--------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| Liquid limit test     |              |                    | Plastic limit test    |                    |
| Test no.              | No. of blows | W <sub>L</sub> , % | Test no.              | W <sub>p</sub> , % |
| 1                     |              |                    | 1                     |                    |
| 2                     |              |                    | 2                     |                    |
| 3                     |              |                    | 3                     |                    |
| 4                     |              |                    | Average               |                    |
| 5                     |              |                    |                       |                    |
| Liquid Limit, %       |              | Plastic limit, %   | Plasticity Index      |                    |
| NP                    |              | NP                 | NP                    |                    |
| Natural Water Content |              | Specific Gravity   | USCS                  |                    |
| 15                    |              | 2.83               | SP-SM                 |                    |



Evaluasi Stabilitas Steel Sheet Pile Pada Galian Fondasi Pile Cap Akibat Beban Lalu Lintas Jalan Ringroad Dengan Pemodelan Finite Element Method

Fatiya Nur Fitriantari, Dr. Ir. Devi Oktaviana Latif, S.T., M.Eng., IPM.

Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>



Deformed mesh |u| (scaled up 20,0 times)

Maximum value = 0,06073 m (Element 72 at Node 1797)



PLAXIS® 2D

Project description

Deformed Mesh Beban Pile Cap Eksisting

Date

11/06/2025

Project filename

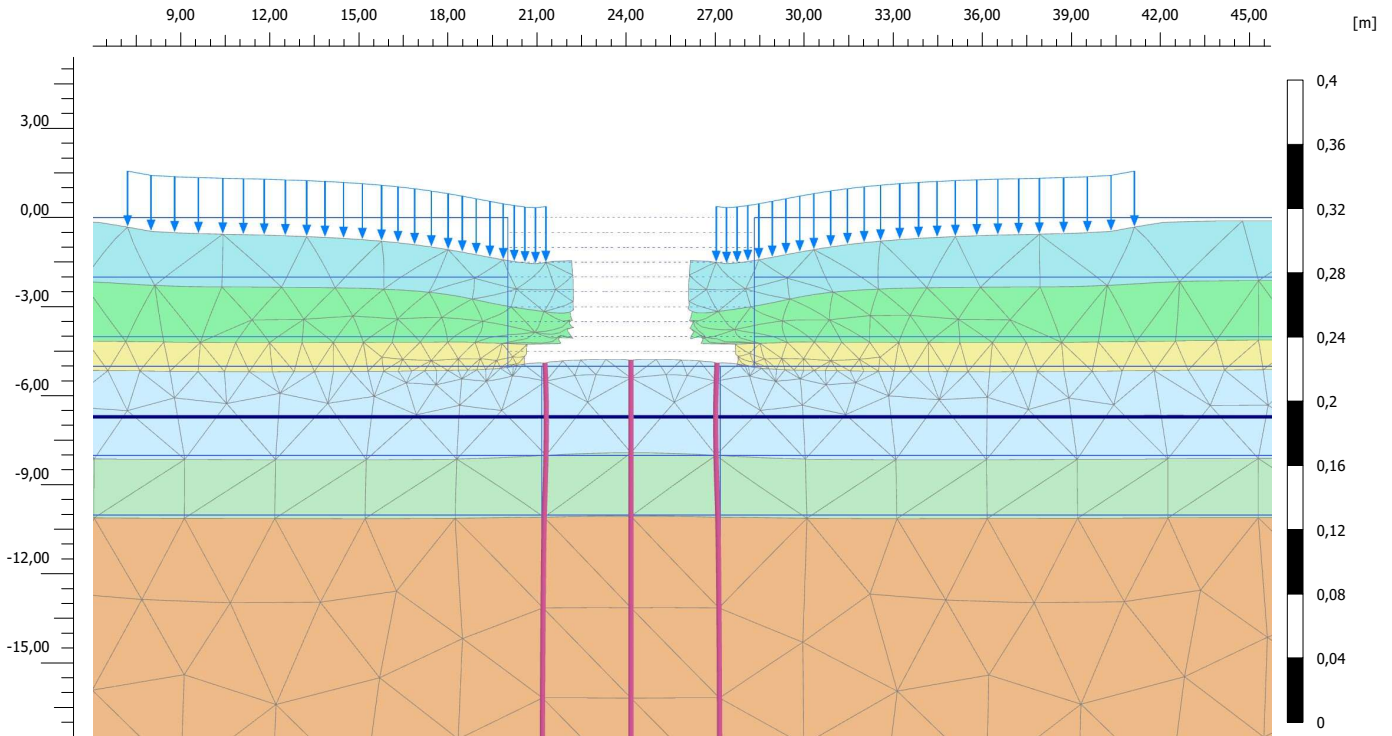
Evaluasi Steel Sheet Pile Fa ...

Step

140

Company

only @::LAVteam::®



Deformed mesh |u| (scaled up 50,0 times)

Maximum value = 0,05249 m (Element 83 at Node 1426)



PLAXIS® 2D

Project description

Deformed Mesh Galian Eksisting

Date

11/06/2025

Project filename

Evaluasi Steel Sheet Pile Fa ...

Step

38

Company

only @::LAVteam::®

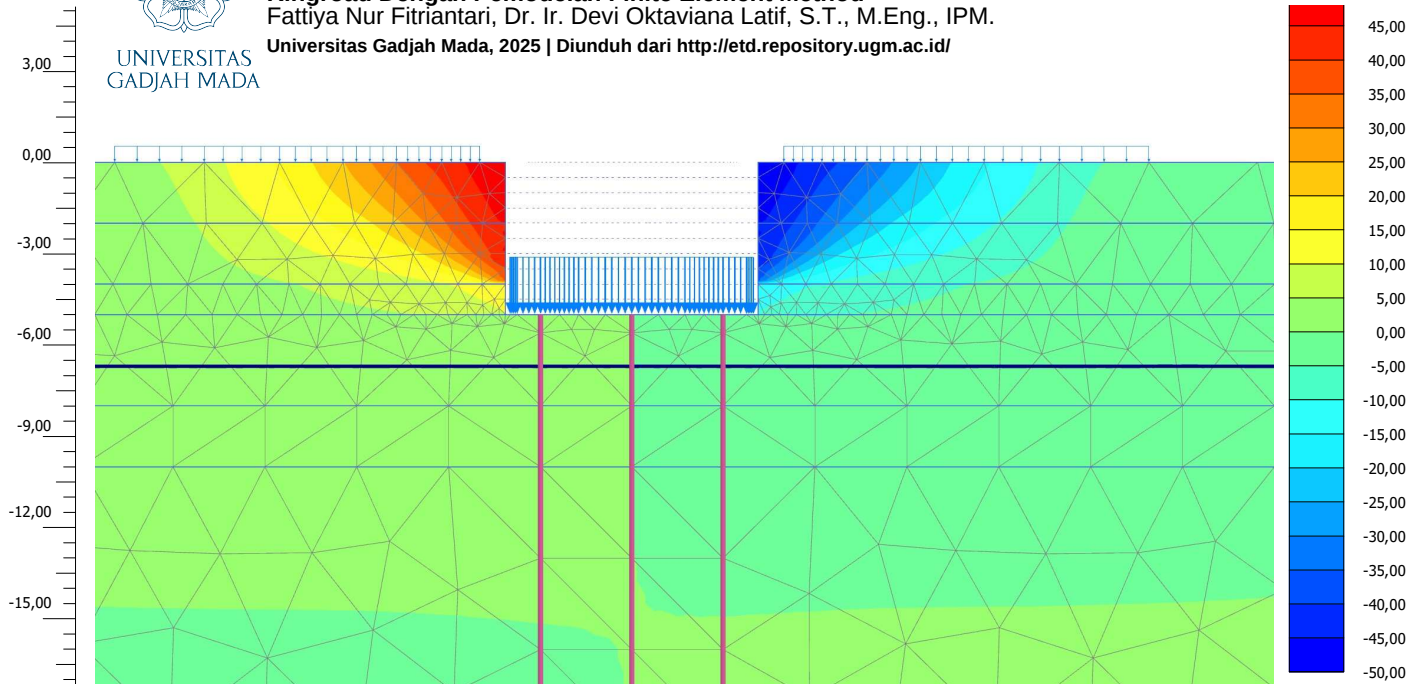
only @::LAVteam::®

UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

12

**Evaluasi Stabilitas Steel Sheet Pile Pada Galian Fondasi Pile Cap Akibat Beban Lalu Lintas Jalan Ringroad Dengan Pemodelan Finite Element Method**

Fatiya Nur Fitriantari, Dr. Ir. Devi Oktaviana Latif, S.T., M.Eng., IPM.

Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>**Total displacements  $u_x$  (scaled up 20,0 times)**

Maximum value = 0,04728 m (Element 83 at Node 1427)

Minimum value = -0,04724 m (Element 113 at Node 337)

**PLAXIS® 2D**

Project description

**Total Displacement Ux Beban Pile Cap Eksisting**

Date

**11/06/2025**

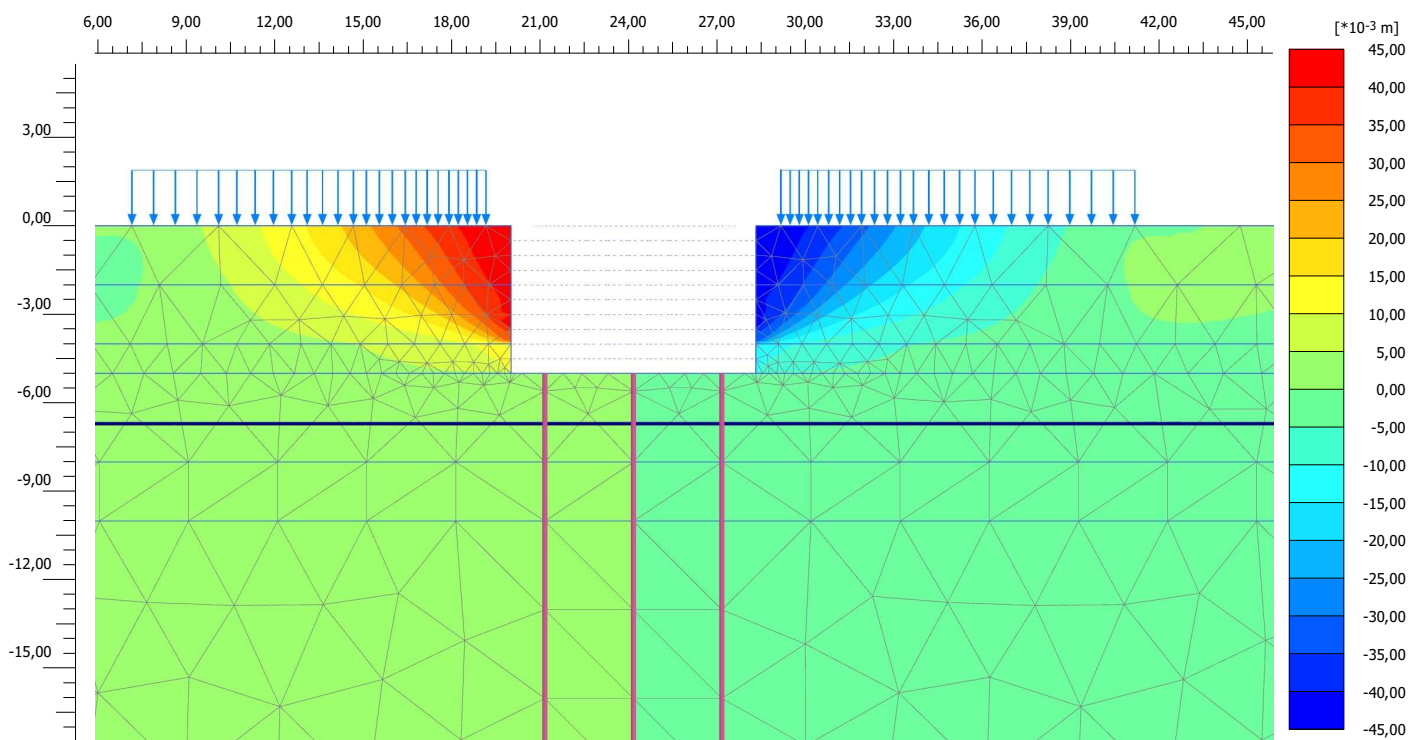
Project filename

**Evaluasi Steel Sheet Pile Fa ...**

Step

**140**

Company

**only @::LAVteam::®****Total displacements  $u_x$  (scaled up 20,0 times)**

Maximum value = 0,04458 m (Element 248 at Node 2315)

Minimum value = -0,04467 m (Element 112 at Node 552)

**PLAXIS® 2D**

Project description

**Total Displacement Ux Lereng Eksisting**

Date

**11/06/2025**

Project filename

**Evaluasi Steel Sheet Pile Fa ...**

Step

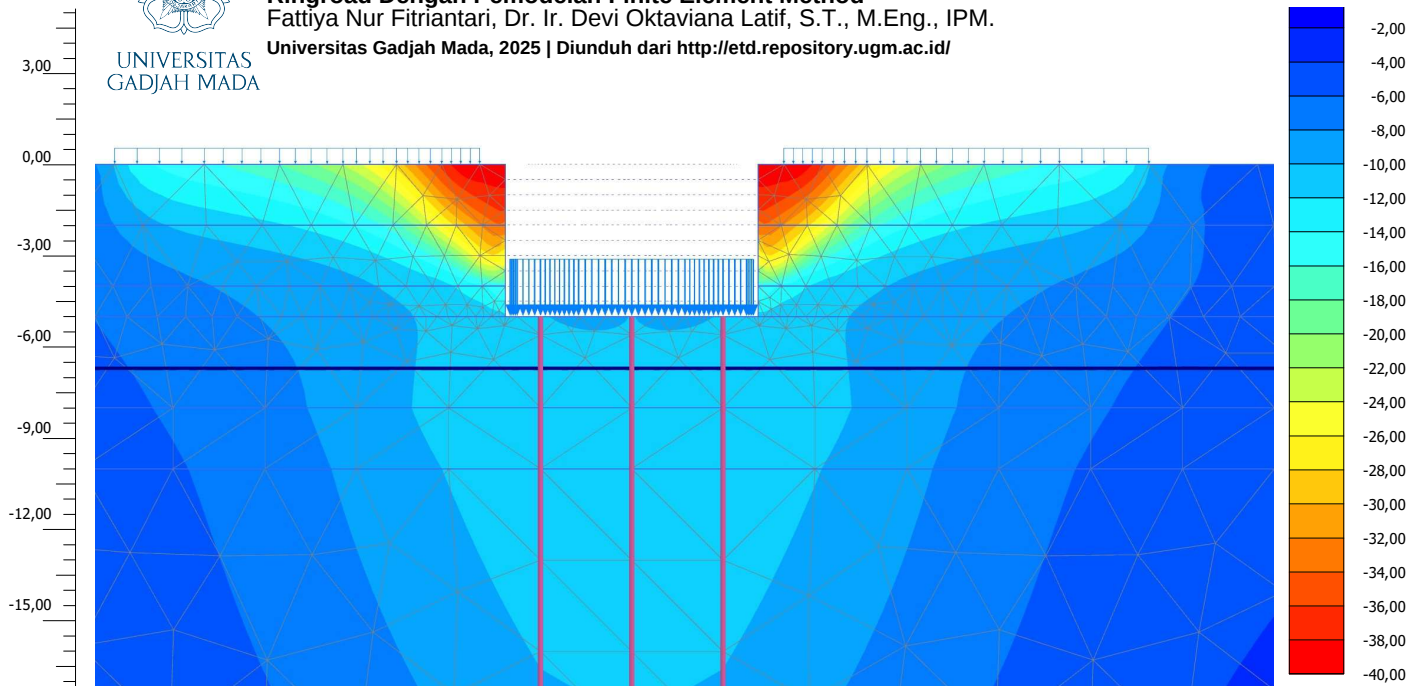
**38**

Company

**only @::LAVteam::®**

UNIVERSITAS  
GADJAH MADA**Evaluasi Stabilitas Steel Sheet Pile Pada Galian Fondasi Pile Cap Akibat Beban Lalu Lintas Jalan Ringroad Dengan Pemodelan Finite Element Method**

Fatiya Nur Fitriantari, Dr. Ir. Devi Oktaviana Latif, S.T., M.Eng., IPM.

Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>**Total displacements  $u_y$  (scaled up 50,0 times)**Maximum value =  $-0,07935 \cdot 10^{-3}$  m (Element 962 at Node 8356)Minimum value =  $-0,03988$  m (Element 72 at Node 1798)**PLAXIS® 2D**

Project description

**Total Displacement Uy Beban Pile Cap Eksisting**

Date

**11/06/2025**

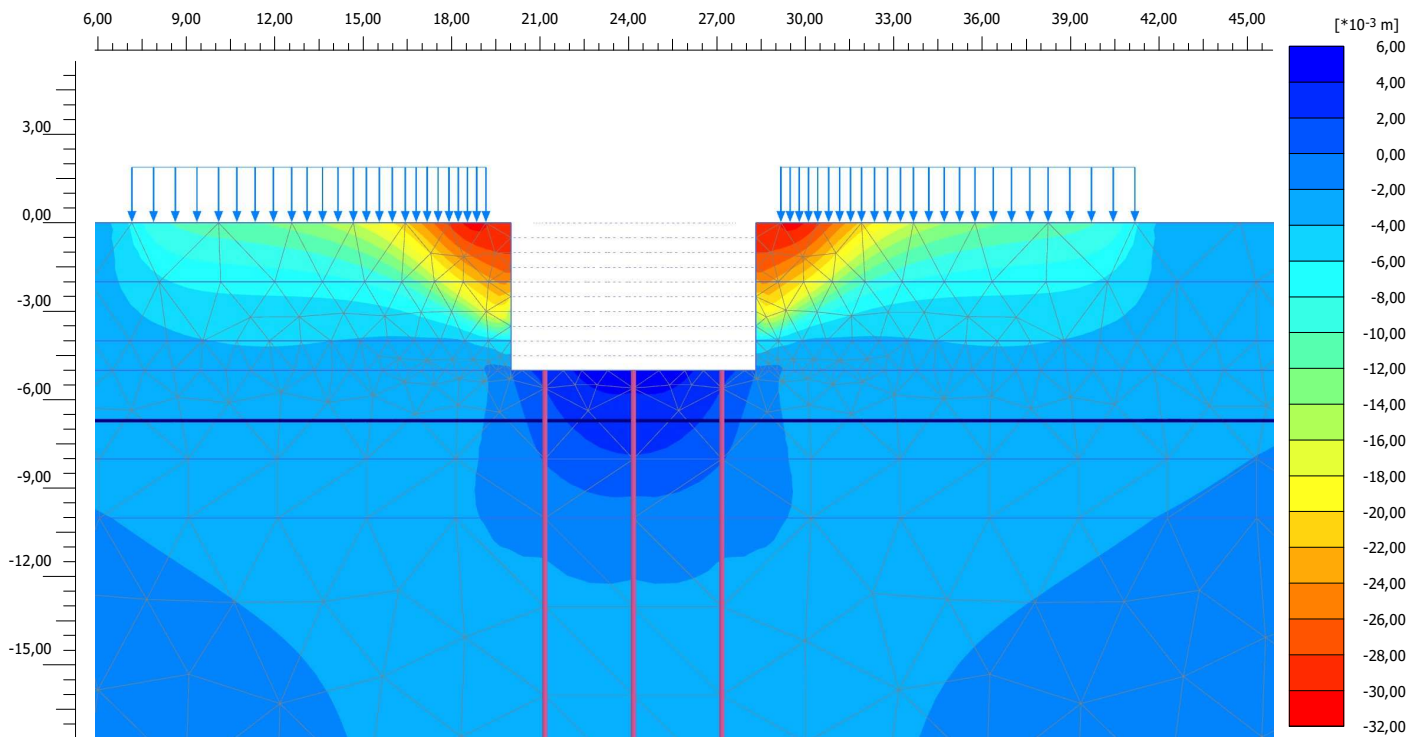
Project filename

**Evaluasi Steel Sheet Pile Fa ...**

Step

**140**

Company

**only @::LAVteam::®****Total displacements  $u_y$  (scaled up 50,0 times)**Maximum value =  $4,694 \cdot 10^{-3}$  m (Element 606 at Node 4307)Minimum value =  $-0,03102$  m (Element 72 at Node 1798)**PLAXIS® 2D**

Project description

**Total Displacement Uy Lereng Eksisting**

Date

**11/06/2025**

Project filename

**Evaluasi Steel Sheet Pile Fa ...**

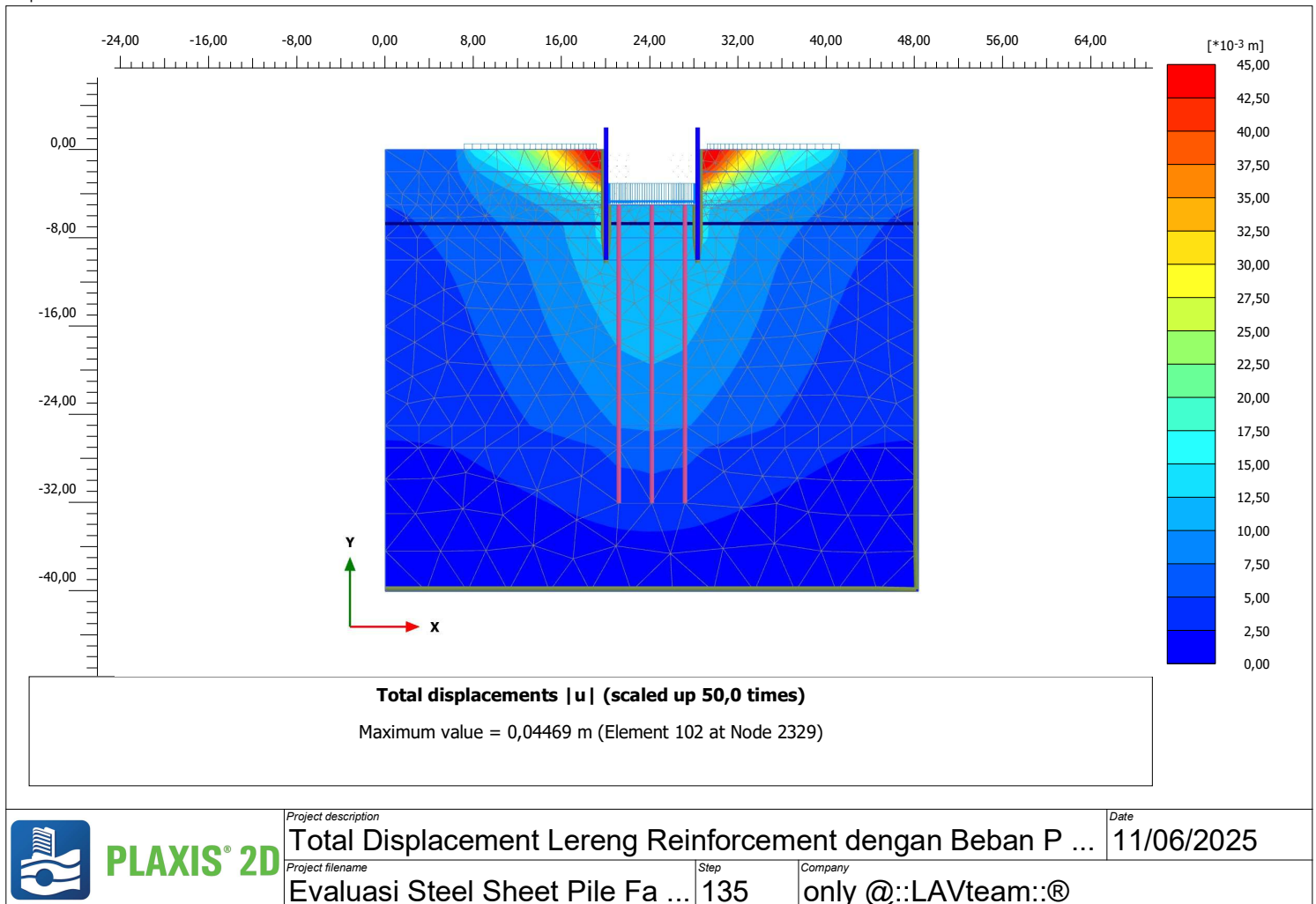
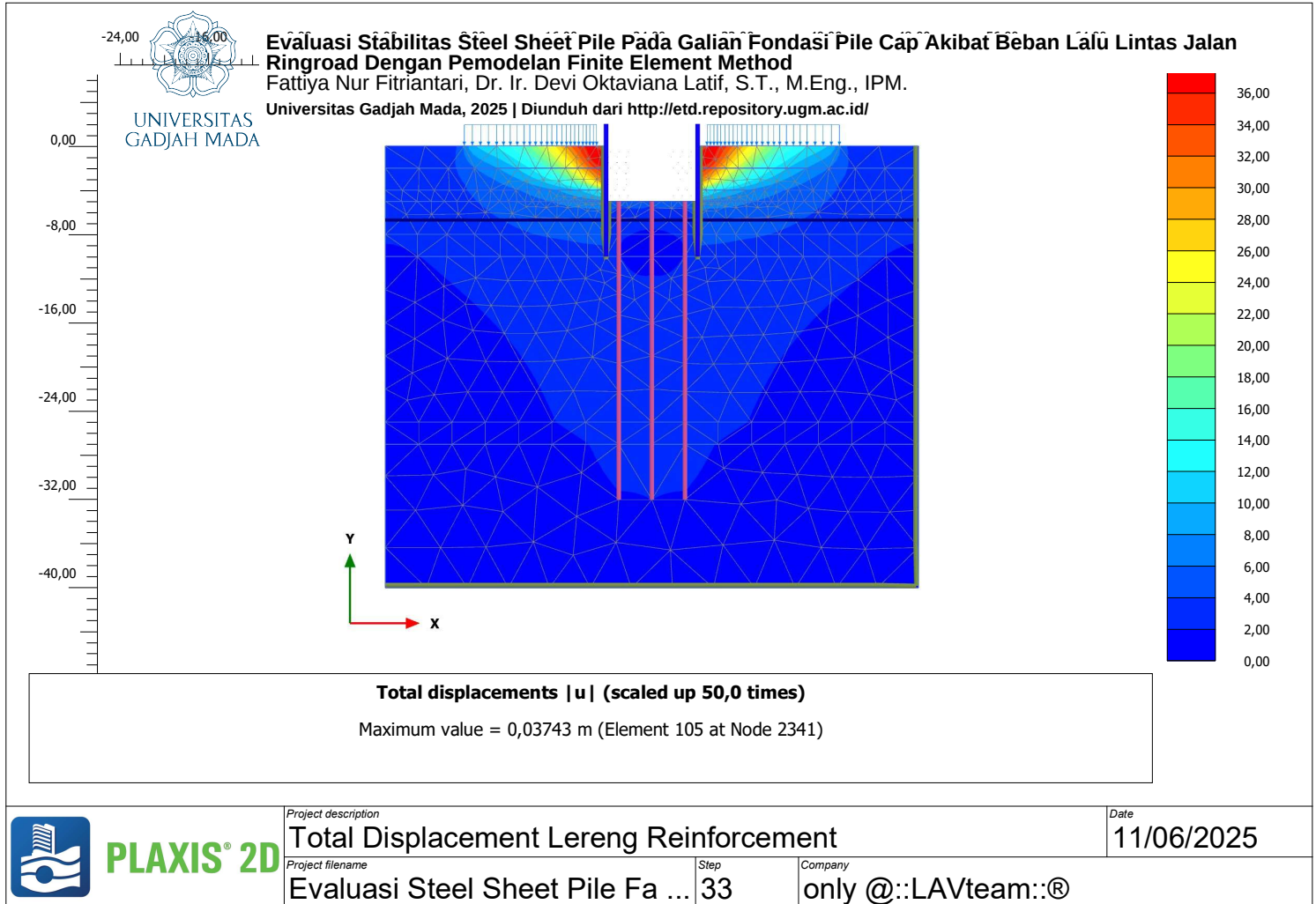
Step

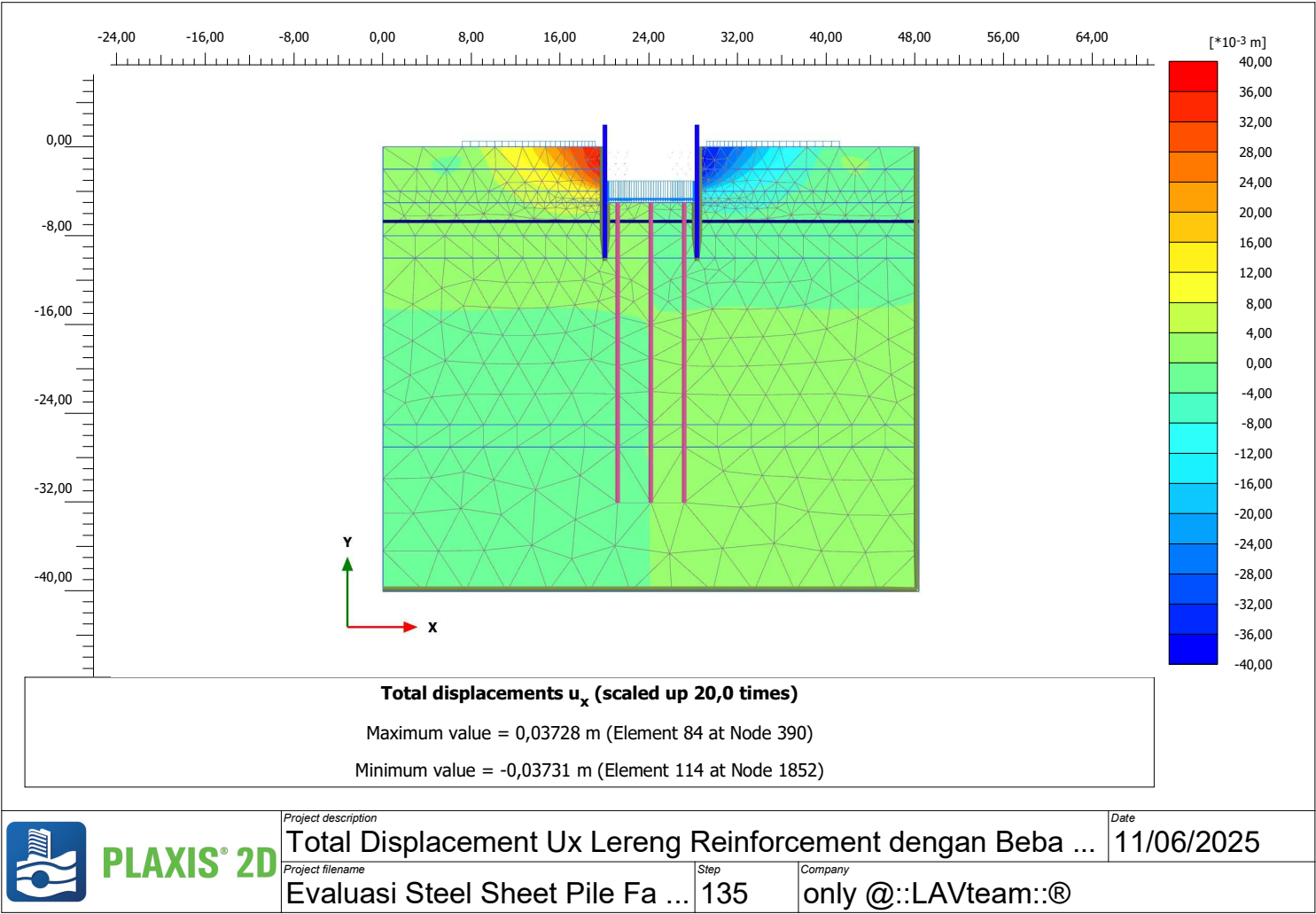
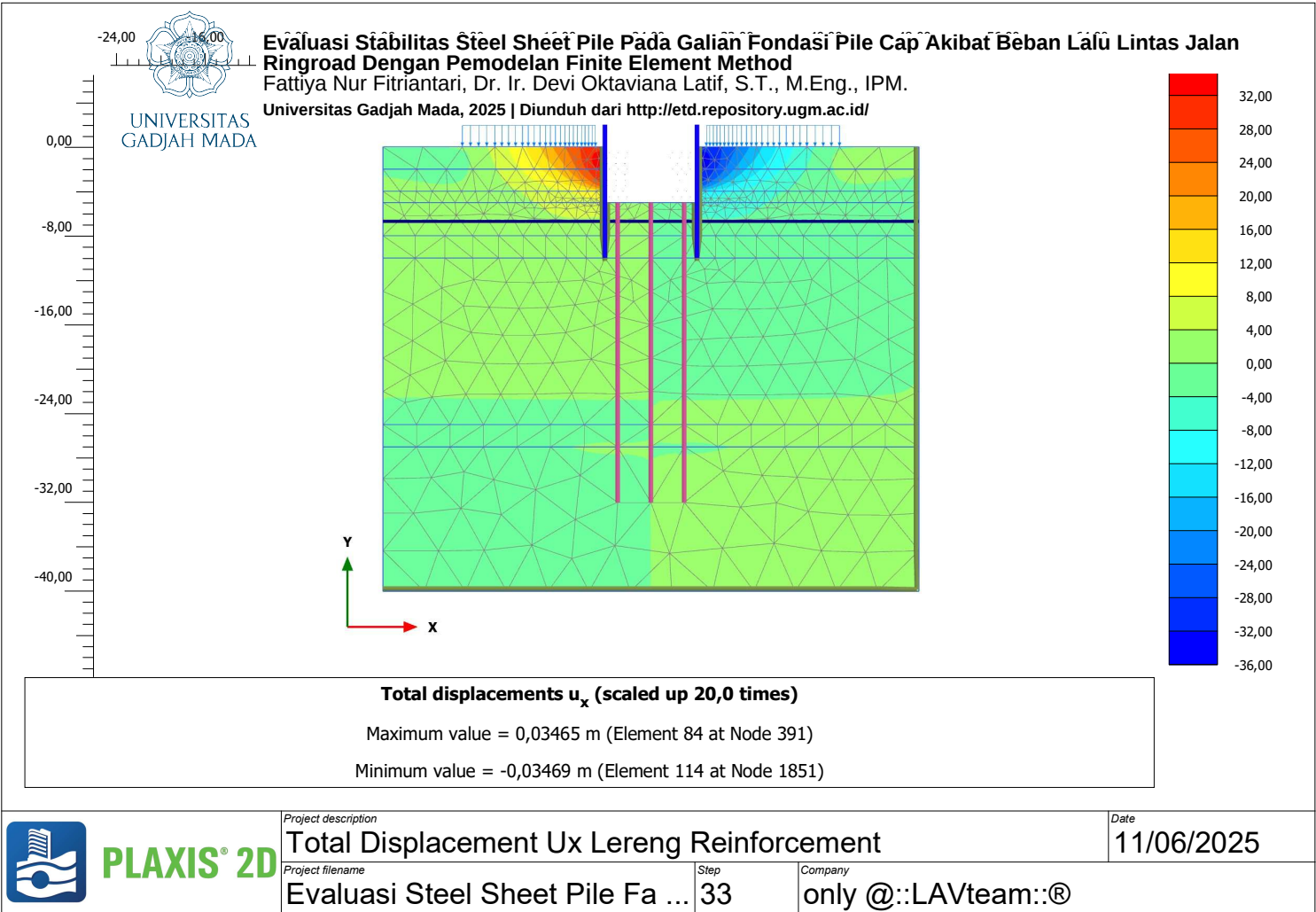
**38**

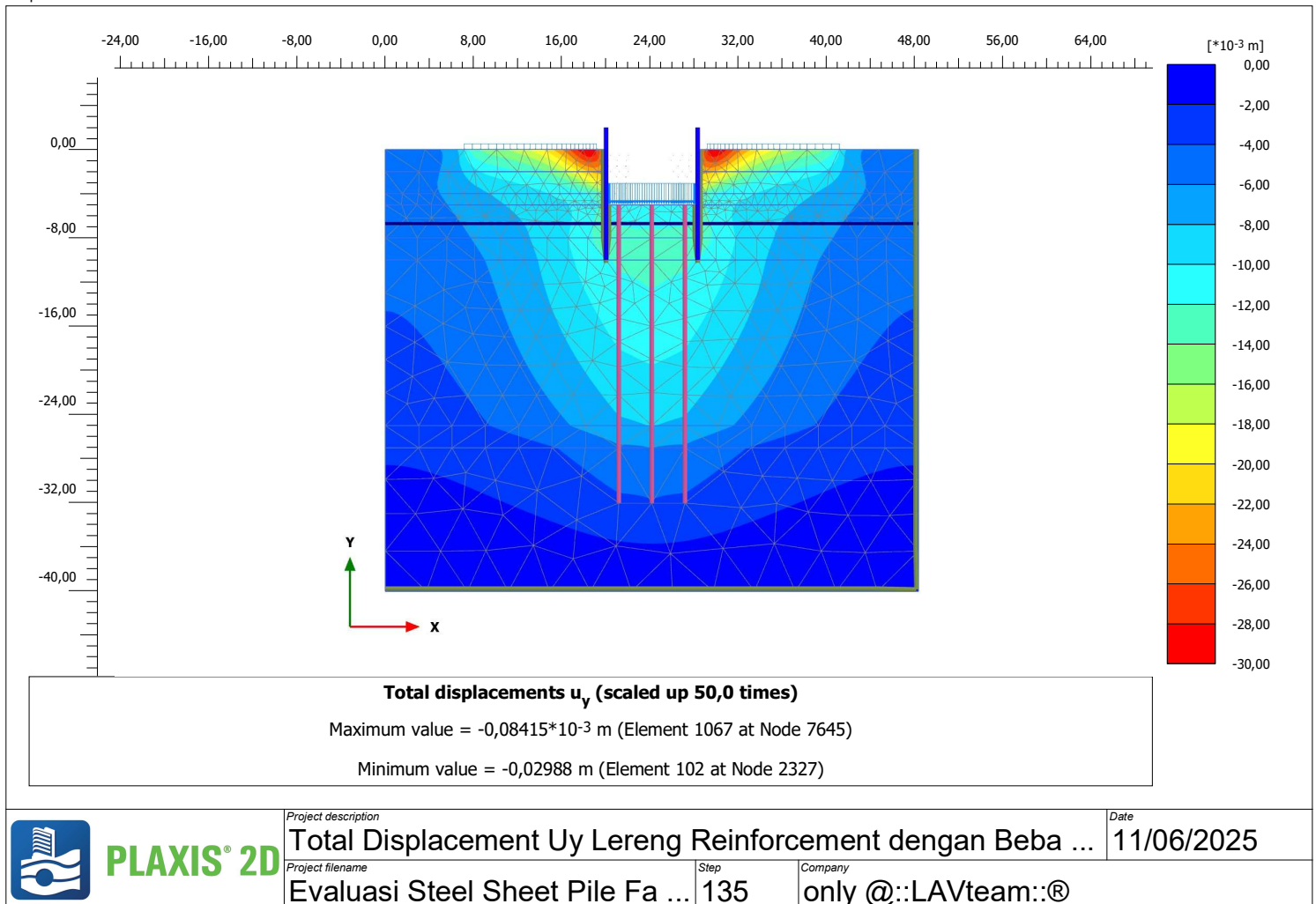
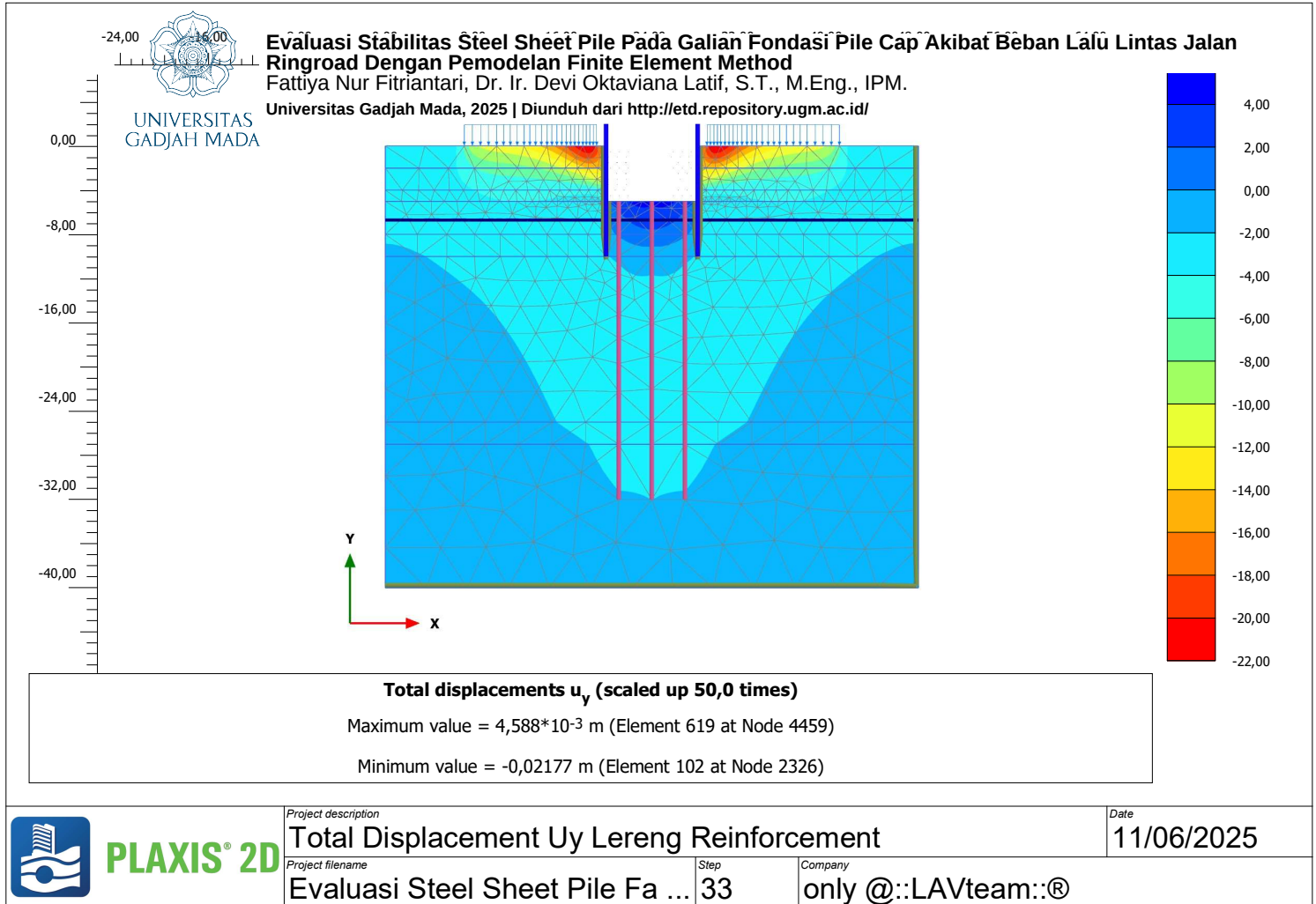
Company

**only @::LAVteam::®**







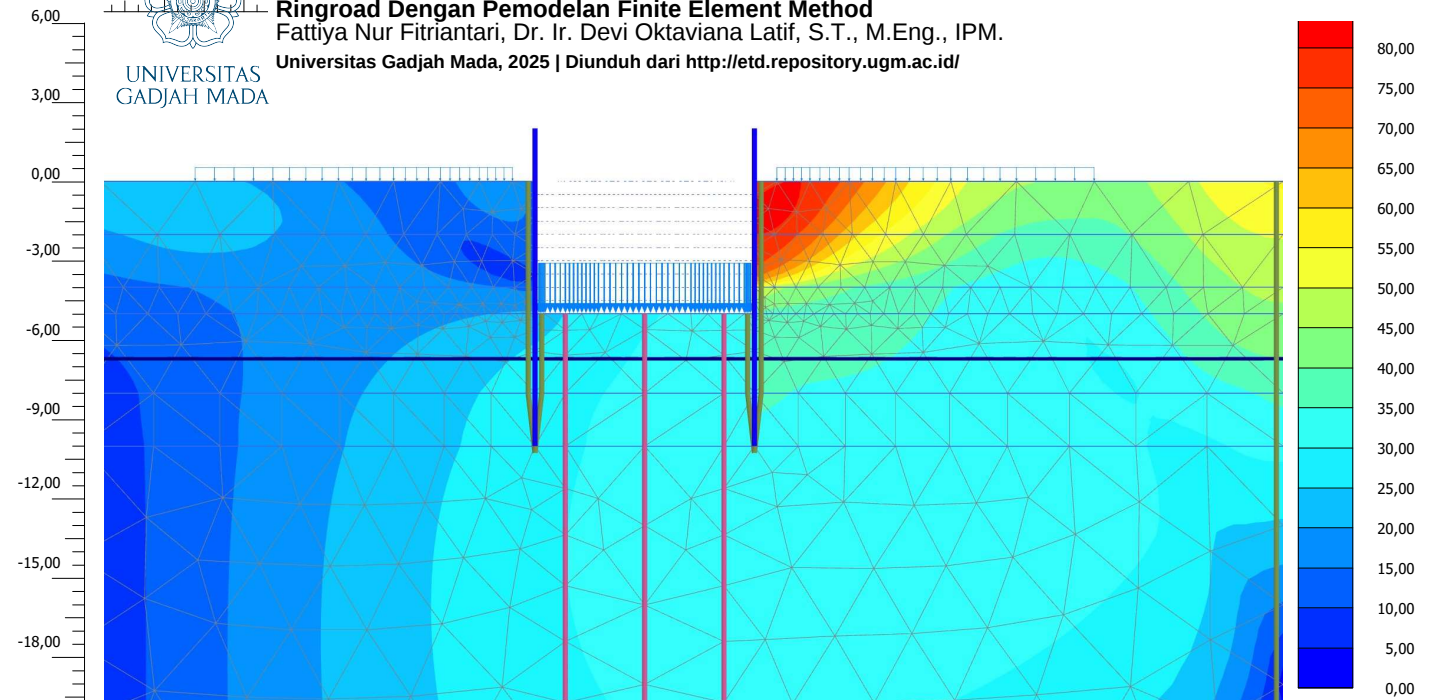




# Evaluasi Stabilitas Steel Sheet Pile Pada Galian Fondasi Pile Cap Akibat Beban Lalu Lintas Jalan Ringroad Dengan Pemodelan Finite Element Method

Fatiya Nur Fitriantari, Dr. Ir. Devi Oktaviana Latif, S.T., M.Eng., IPM.

Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>



Total displacements |u| (scaled up 20,0 times)

Maximum value = 0,08213 m (Element 111 at Node 2337)



PLAXIS® 2D

Project description

Displacement Fase Ultimate Load dengan Gempa Positif

Date

11/06/2025

Project filename

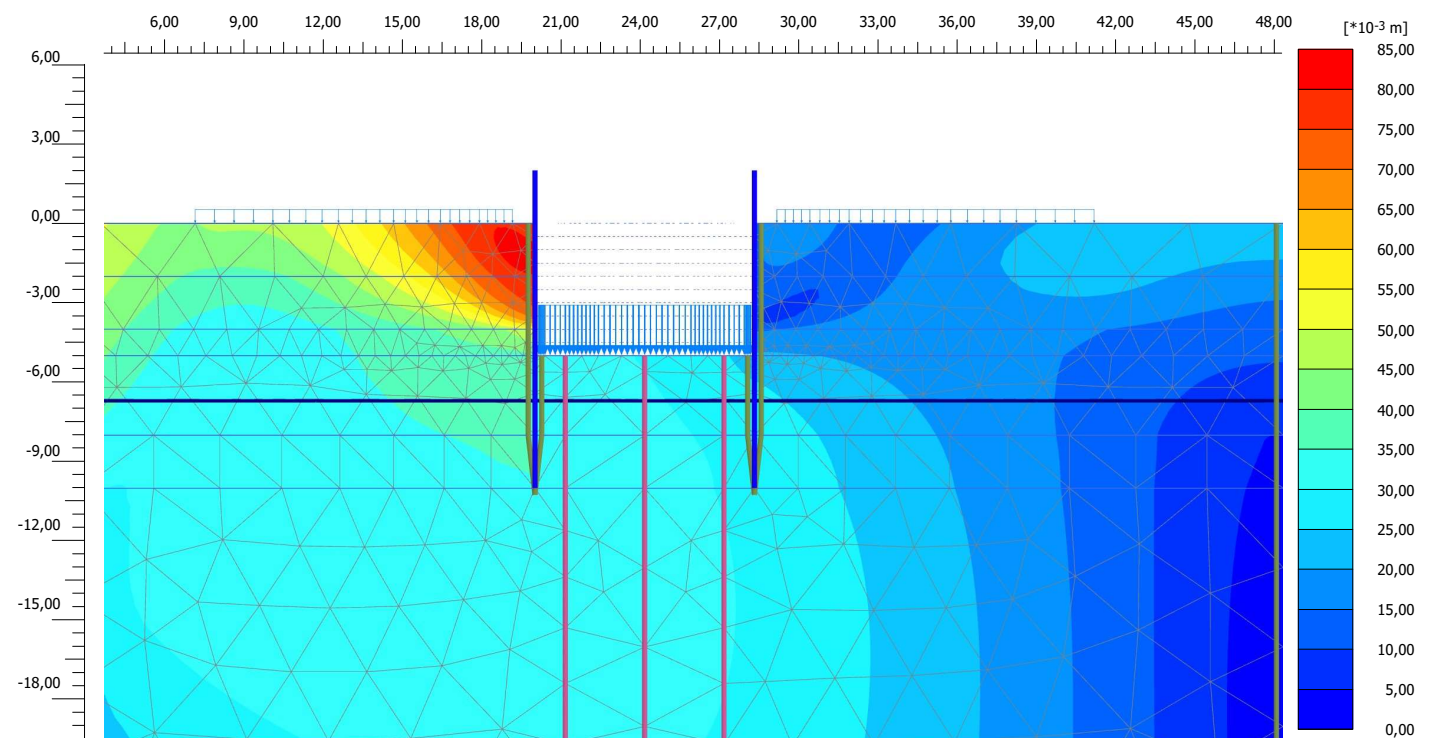
Evaluasi Steel Sheet Pile Fa ...

Step

231

Company

only @::LAVteam::®



Total displacements |u| (scaled up 20,0 times)

Maximum value = 0,08163 m (Element 81 at Node 601)



PLAXIS® 2D

Project description

Displacement Fase Ultimate Load dengan Gempa Negatif

Date

11/06/2025

Project filename

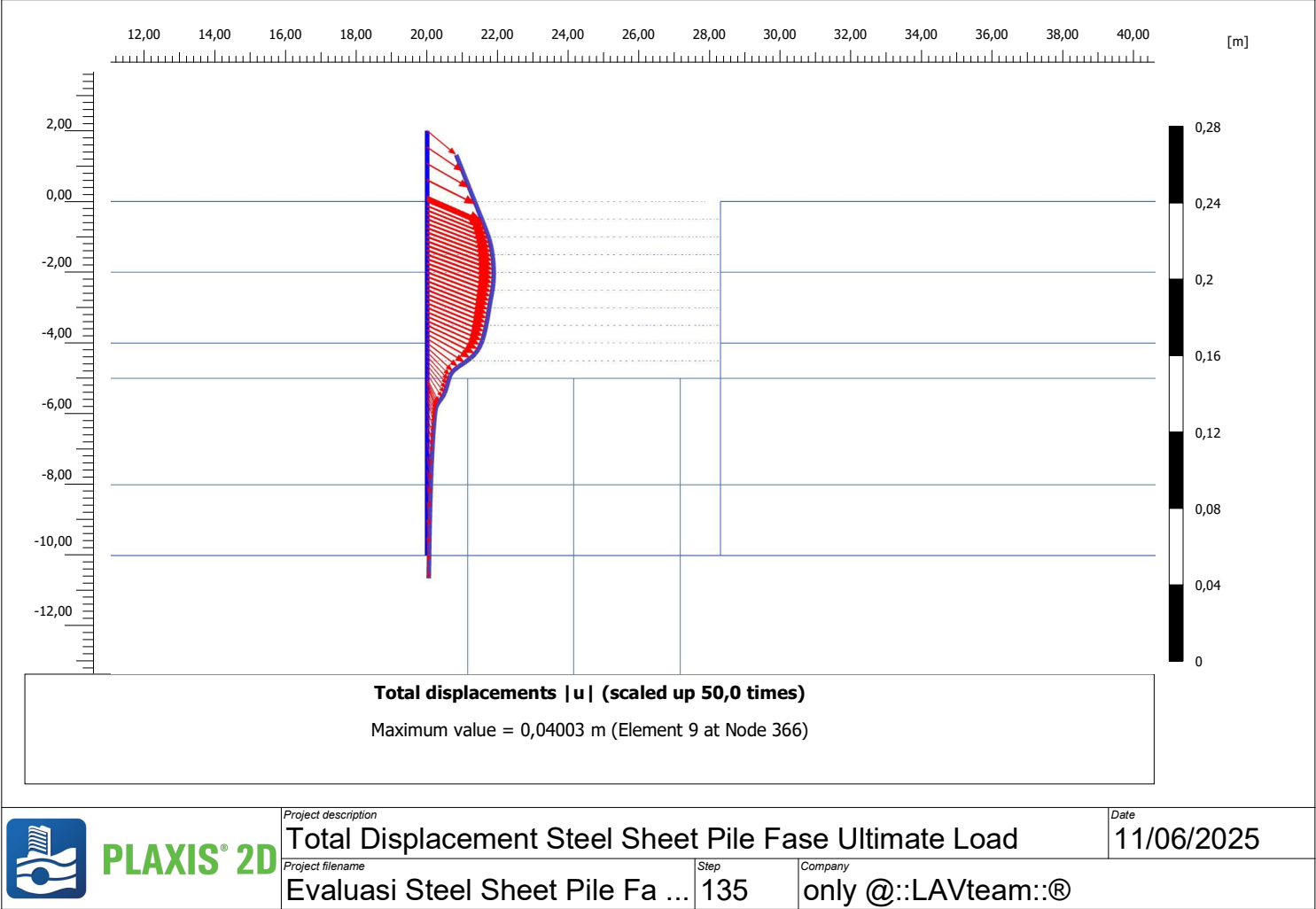
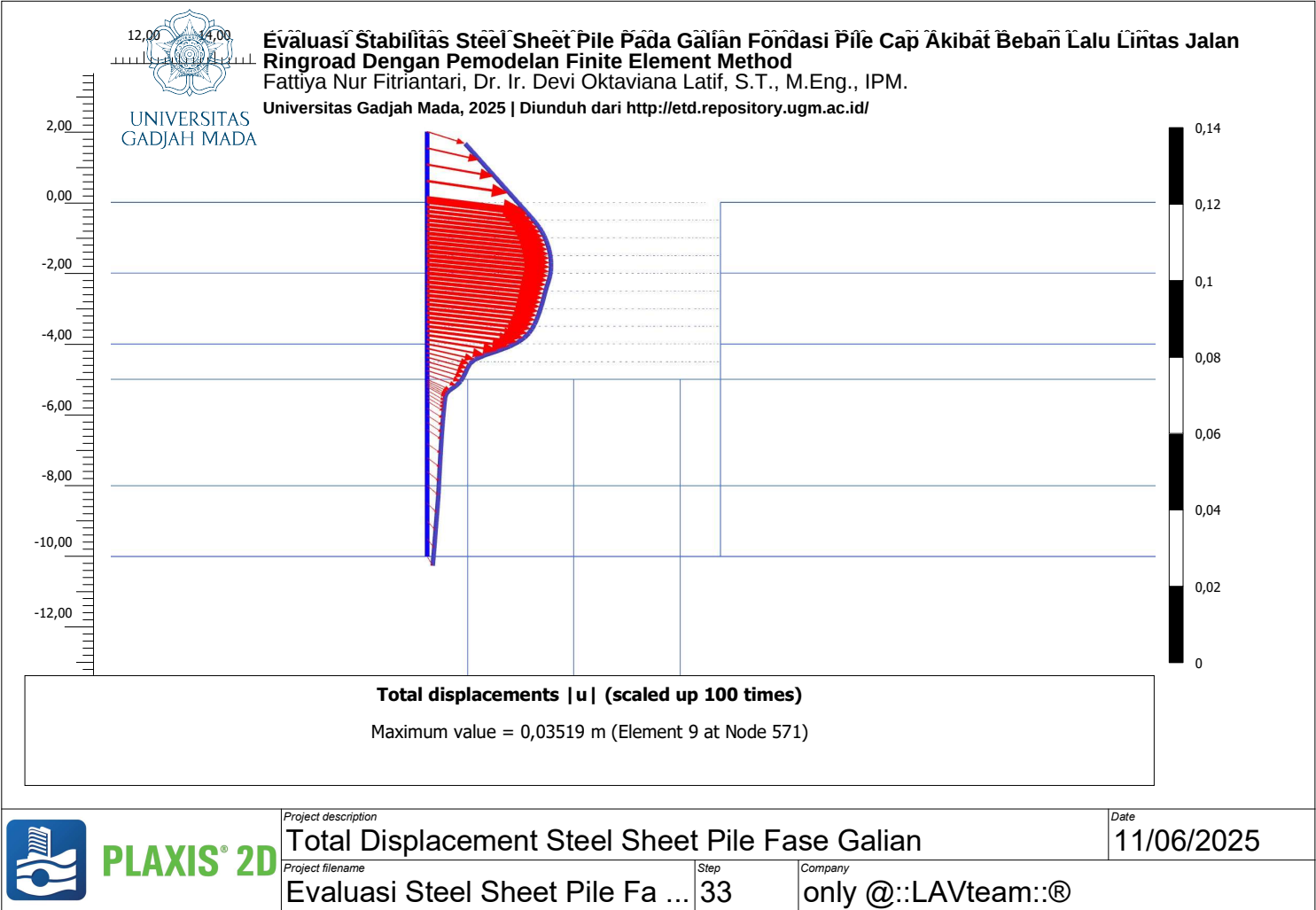
Evaluasi Steel Sheet Pile Fa ...

Step

306

Company

only @::LAVteam::®

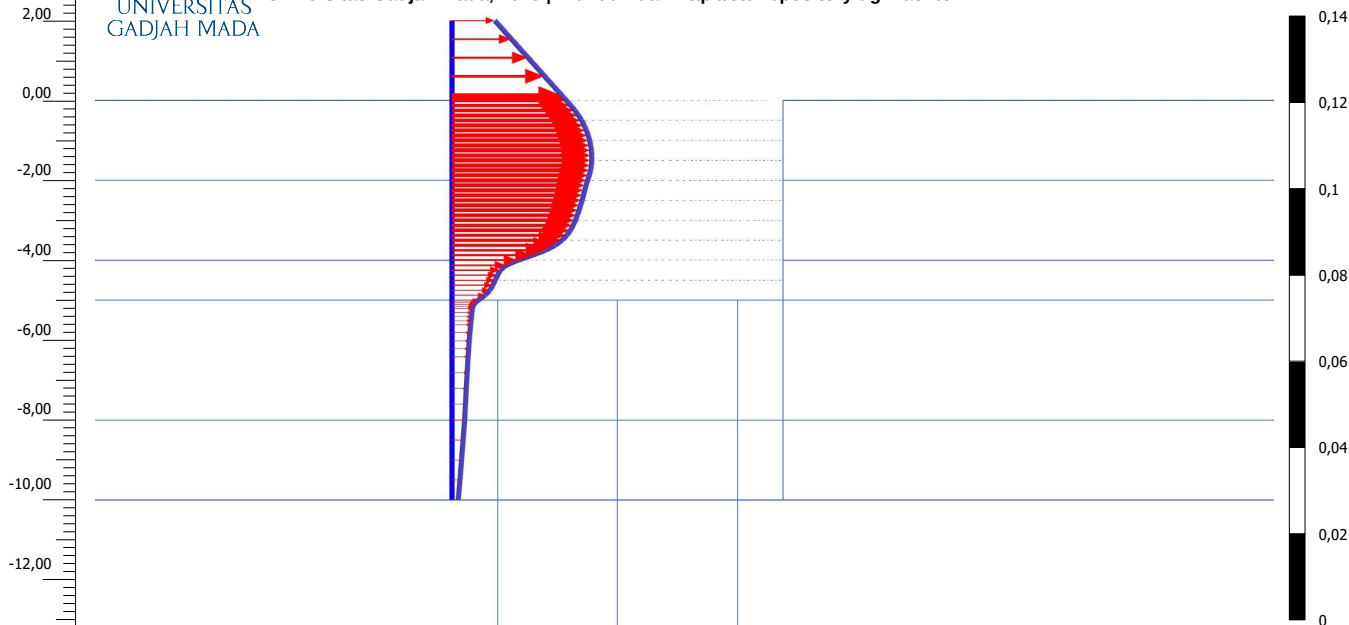




## Evaluasi Stabilitas Steel Sheet Pile Pada Galian Fondasi Pile Cap Akibat Beban Lalu Lintas Jalan Ringroad Dengan Pemodelan Finite Element Method

Fattiya Nur Fitriantari, Dr. Ir. Devi Oktaviana Latif, S.T., M.Eng., IPM.

Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>



**Total displacements  $u_y$  (scaled up 100 times)**

Maximum value = 0,03504 m (Element 9 at Node 571)

Minimum value =  $1,568 \cdot 10^{-3}$  m (Element 33 at Node 4844)



# PLAXIS® 2D

|                            |
|----------------------------|
| <i>Project description</i> |
|----------------------------|

## Total Displacement Ux Steel Sheet Pile Fase Galian

|  |             |
|--|-------------|
|  | <i>Date</i> |
|--|-------------|

11/06/2025

Project filename

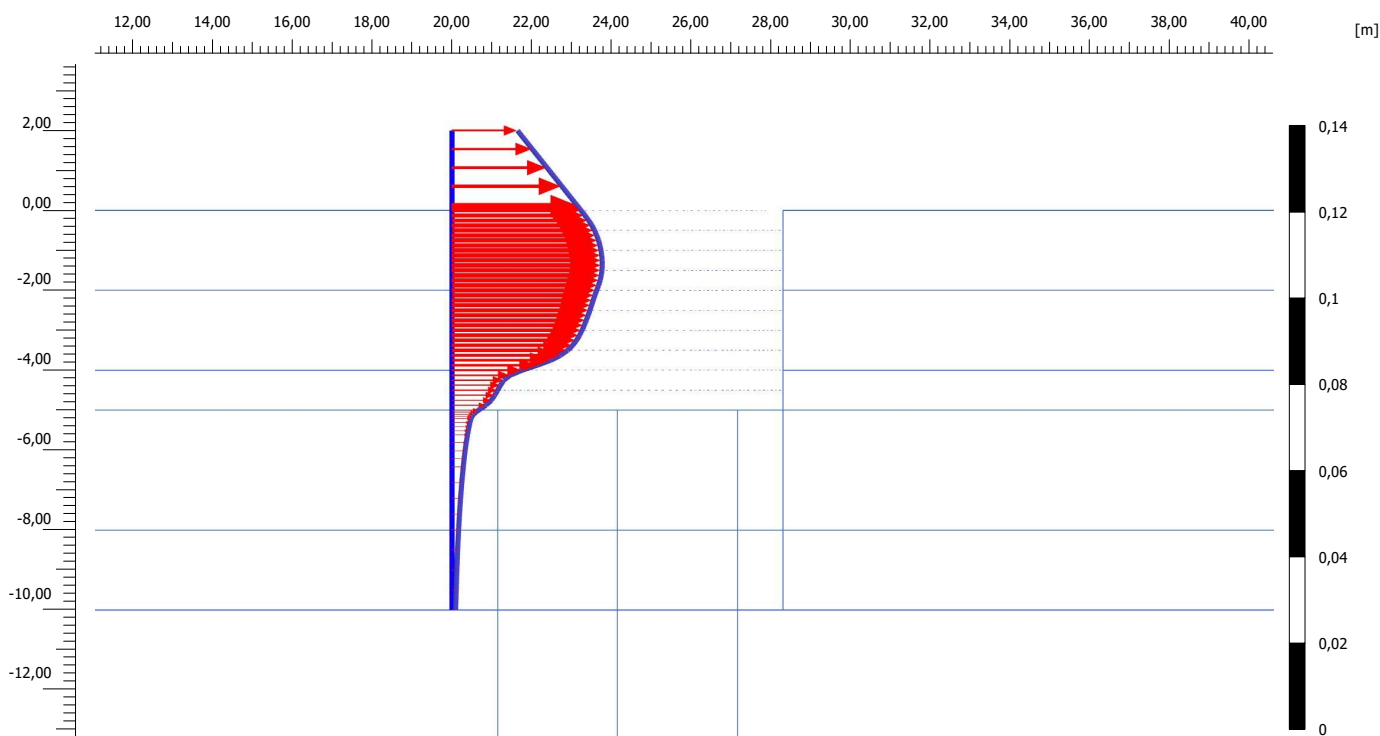
# Evaluasi Steel Sheet Pile Fa ...

| Step |
|------|
|------|

33

| Company |
|---------|
|---------|

only @::LAVteam::®



**Total displacements  $u_v$  (scaled up 100 times)**

Maximum value = 0,03765 m (Element 9 at Node 366)

Minimum value =  $0,8995 \cdot 10^{-3}$  m (Element 33 at Node 4844)



# PLAXIS® 2D

|                            |
|----------------------------|
| <i>Project description</i> |
|----------------------------|

Total Displacement Ux Steel Sheet Pile Fase Ultimate Load

|  |             |
|--|-------------|
|  | <i>Date</i> |
|--|-------------|

11/06/2025

Project filename

# Evaluasi Steel Sheet Pile Fa ...

| Step |
|------|
|------|

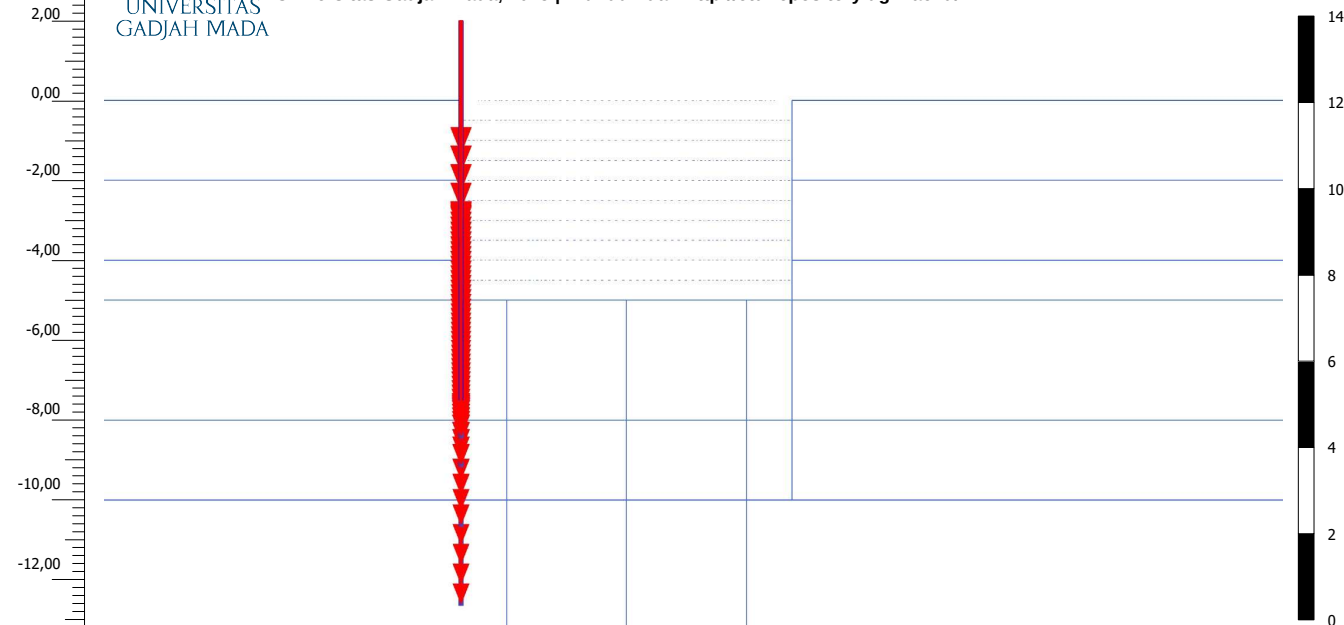
135

| Company |
|---------|
|---------|

only @::LAVteam::®

**Evaluasi Stabilitas Steel Sheet Pile Pada Galian Fondasi Pile Cap Akibat Beban Lalu Lintas Jalan Ringroad Dengan Pemodelan Finite Element Method**

Fatiya Nur Fitriantari, Dr. Ir. Devi Oktaviana Latif, S.T., M.Eng., IPM.

Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>**Total displacements  $u_y$  (scaled up  $1,00 \cdot 10^3$  times)**Maximum value =  $-2,650 \cdot 10^{-3}$  m (Element 33 at Node 4844)Minimum value =  $-3,375 \cdot 10^{-3}$  m (Element 2 at Node 59)**PLAXIS® 2D**

Project description

Total Displacement Uy Steel Sheet Pile Fase Galian

Date

11/06/2025

Project filename

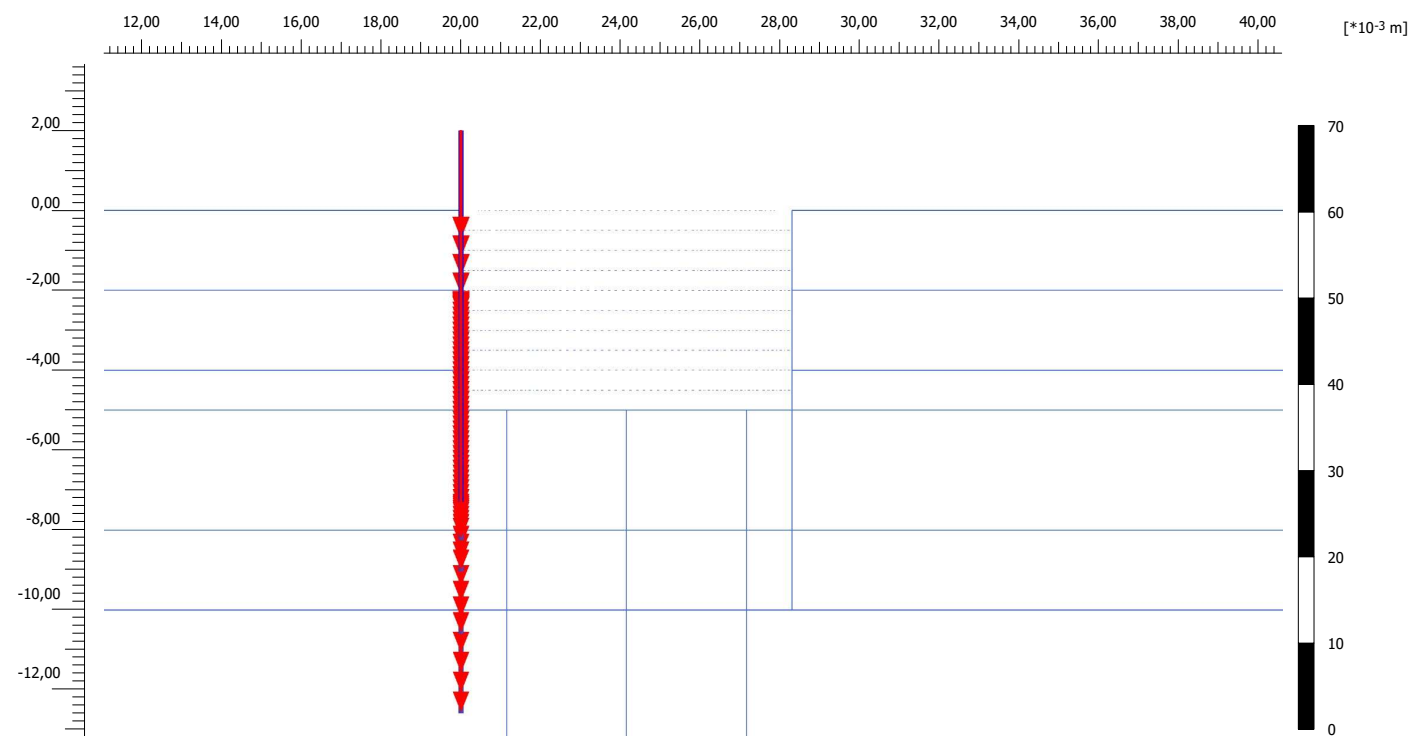
Evaluasi Steel Sheet Pile Fa ...

Step

33

Company

only @::LAVteam::®

**Total displacements  $u_y$  (scaled up 200 times)**Maximum value =  $-0,01294$  m (Element 33 at Node 4844)Minimum value =  $-0,01365$  m (Element 2 at Node 59)**PLAXIS® 2D**

Project description

Total Displacement Uy Steel Sheet Pile Fase Ultimate Load

Date

11/06/2025

Project filename

Evaluasi Steel Sheet Pile Fa ...

Step

135

Company

only @::LAVteam::®

