

TUGAS AKHIR  
"PERENCANAAN FONDASI TIANG PANGCANG  
PELABUHAN DI KECAMATAN BANAWA KABUPATEN  
DONGGALA"



Disajikan Kepada Universitas Tadulako Untuk Memenuhi  
Persyaratan Mengesetel Derajat Sarjana Strata Satu (S1)  
Teknik Sipil

Oleh :  
Rindiyani M  
F 121 15 172

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS TADULAKO  
PALU, 2025

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PERENCANAAN FONDASI TIANG PANGCANG PELABURAN DI  
KECAMATAN BANAWA KABUPATEN DONGGALA**

*Yang dipersiapkan dan disusun oleh*

**RINDYANI M**

**F11100172**

**SKRIPSI**

*Telah dipertahankan di depan Majelis Pengaji dan dinyatakan diterima sebagai salah satu  
persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Muda (SM) Teknik Sipil*

*Pada tanggal 30 Juni 2023*

**Mengesahkan,**

**Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Tadulisan,**



**H. Abdul Wahid, Adam, S.T., M.Eng., Ph.D.**  
NIP. 1960125 199903 1 002

**Ketua Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Tadulisan,**



**Husein, S.T., M.T.**  
NIP. 198404 200306 2 011

HALAMAN PERSETUJUAN

Pembina Ujian Tugas Akhir Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Tadulako yang ditetapkan berdasarkan SK Dekan Fakultas Teknik No. 0545/UN29.6/DE/2023 Tanggal 23 Juni 2023 menyatakan menyetujui Tugas Akhir yang telah dipertanggung jawabkan & lulusnya Majelis Pengaji pada Hari Senin Tanggal 20 Juni 2023 oleh:

Nama : HINDIYANI M.

No. K090864 : F11118172

Judul Skripsi : "PERENCANAAN FONDASI TIANG PANGCANG  
PELABUHAN DI KECAMATAN BANAWA KABUPATEN  
DONGGALA."

Dover Publications, Inc.

| No. | Nama / NIP                                                  | Jabatan       | Tanda Tangan                                                                      |
|-----|-------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Dr. Ir. Rahmat Nurdi, ST, M.Sc.<br>NIP. 19731024-1999031003 | Pembimbing I  |  |
| 2.  | Ma. Rai Oktavia, ST, MT, M.Sc.<br>NIP. 19731025-1999031003  | Pembimbing II |  |

Page 2025  
Kelas Program Studi S1 Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Tadulako

Dr. In. Anri Nakano, S.T., M.T.  
Nip. 19470305 199702 2 001

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rindhyan M

NIM : F11118172

Program Studi : St = Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **"PERENCANAAN FONDASI TIANG PANCANG PELABUHAN DI KECAMATAN BANAWA KABUPATEN DONGGALA"** benar-benar saya ketikkan sendiri. Tugas Akhir ini bukan merupakan plagiasi, penjiwaan hasil karya orang lain, hasil karya orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material maupun non-material.

Pernyataan ini saya buat dengan sadar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi yang akan dikenakan kepada saya termasuk penarikan gelar sarjana Teknik yang saya dapat.

Pada,                      Juli 2023

RINDHYAN M

F111 18 172

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

"Tidak mudah apabila langkah mulia ini, yang terpenting adalah tidak berhenti!"

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan"

(QS. Al-Insyrah: 5)

## PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk Ibu dan Bapak Orang tua yang selalu menjadi penyemangat penulis sebagai sumber tenaga dan kerasnya jiwa. Yang setia kali berkefian dan mengalah demi masa depan penulis. Terus kasih untuk semua dan dukungan Ibu dan Bapak sehingga penulis bisa berada di titik ini, saat selesai dan tetap hidup lebih baik lagi.

Alhamdulillah Universitas Tadulika semoga Allah SWT senantiasa memberikan Rahmat dan karunia-Nya.

## KATA PENGANTAR



Segala Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena rahmat dan beryak : Nyatak sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas akhir ini dengan judul **"PERENCANAAN FONDASI TIANG PANCANG PELABUNAN DI KECAMATAN BANAYA KABUPATEN DONGGALA"**.

Tugas dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai bagian dari tugas akhir dalam menyelesaikan studi di program studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulisa.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa di dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan dan kesalahan. Jauh dari sempurna hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari keterbatasan baik itu dari segi teknis penulisan, oleh karena itu penulis menerima kritik dan saran dari segala pihak serta perlakuan para penyempurnaan hal-hal ini agar kelak dapat lebih bermanfaat. Disamping itu penulis menyampaikan ucapan rasa terima kasih khususnya kepada orang tua penulis Bapak **Abdul Majid Kadir** dan Ibu **Siti Hajer Marwan** yang selalu berjuang dan berkorban untuk penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang tulus serta rasa hormat yang tinggi kepada Bapak **Dr. Ir. Sukiman Nurdia, ST, M.Sc.** dan Ibu **Ida Siti Oktavia, ST, MT, M.Sc.** selaku pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan dan masukan yang berharga sepanjang penyusunan Tugas Akhir ini. Untuk itu, penulis juga ingin menyampaikan ucapan banyak terima kasih dan rasa hormat yang tulus kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. Amur, ST, MT** selaku Rektor Universitas Tadulisa Palu.
2. Bapak **Ir. Andi Arham, ST, M.Sc. Ph.D** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tadulisa Palu.
3. Ibu **Dr. Ir. Yati Arini Rahma, ST, M.Eng** selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Tadulisa Palu.
4. Bapak **Dr. Ir. Ar Fad Zuhdi, ST, M.Sc** selaku Wakil Dekan Bidang Umum dan Keuangan Universitas Tadulisa Palu.

5. Bapak **Dr. Ir. Sabri ST, PG, Dipl.Eng, MPhil** selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan Fakultas Teknik Universitas Tadulako Pulu.
6. Ibu **Dr. Sriyati Kusadikeni ST, MT** selaku Ketua Jurusan ST Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
7. Ibu **Dr. Karsanari Hamdan ST, MT** selaku Sekretaris Jurusan ST Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
8. Ibu **Dr. Ir. Astri Rahayu ST, MT** selaku Koordinator Program Studi ST Teknik Sipil Universitas Tadulako.
9. Ibu **Dr. Nereka Pradani ST, MT** selaku Dosen Wali yang telah banyak membantu dan memberikan saran selama melakukan studi di Jurusan ST Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
10. Tim Dosen Pengaji Ibu **Martini ST, MT, Ibu Dr. Nereka Pradani ST, MT** dan Ibu **Mbak Fadiah ST, MT** yang telah banyak memberikan masukan dan arahan dalam pembuatan penyusunan Tugas Akhir ini.
11. Bapak dan Ibu **Dosen Jurusan ST Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako Pulu** yang telah memberikan ilmu dan didikananya selama melakukan studi di Fakultas Teknik.
12. Bapak dan Ibu **Pegawai Administrasi Fakultas Teknik Universitas Tadulako Pulu** yang sudah banyak membantu administrasi selama masa studi.
13. Teman kuliah seperti saudara **Titus Gufda, S Pd** dan teman **Hamama N. Molanani** yang telah memperjuangkan segala cita-cita dan impian pribadi, sehingga pribadi dapat memperoleh kelain.
14. Teman-teman Angkatan 2019 **Spartan** yang selalu saling mendukung berbagai dan meraih cita-cita.
15. Teman-teman kakak – kakak **Producing Time** yang telah membantu perjuangan saya sebagai pendong sebagai model di grup. Teman kuliah banyak kepada **Sri Wahyuni ST, Putri Dewi Sora ST, Nanda Amalia ST, Merti Setiati ST, Yusi Kartika ST, Azira ST, Antri ST** dan teman lain akhik perjuangan saya **Devi Puspita ST**.
16. Teman-teman juga juga sahabat pribadi **Widhiyanti A.Md.Keb., Nur Beedi S.Pd,** pegawai **PT. Yatra Berkah Malla** cabang Pulu, dan teman-teman **Sekolah Pasca Karsanegara** yang membantu dan mendanai selama pelaksanaan studi selama 7 tahun kelain.

Akhir kata, penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi ilmu pengetahuan. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan kesalahan. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang dapat membangun untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini untuk kedepannya.

Wassalamuallahum waahiruhsalamu waahidudallah

Pala,

Juli 2023

RINDHYANI M

4111181372

## DAFTAR ISI

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| Halaman Pengantar .....           | ii   |
| Halaman Persetujuan .....         | iii  |
| Surat Pernyataan Kesediaan .....  | iv   |
| Halaman Motto dan Dedicatio ..... | v    |
| Kata Pengantar .....              | vi   |
| Daftar Isi .....                  | ix   |
| Daftar Gambar .....               | xii  |
| Daftar Tabel .....                | xix  |
| Daftar Lampiran .....             | xxi  |
| Daftar Notasi dan Simbol .....    | xxii |
| Absorpsi .....                    | xx   |

### BAB I. PENDAHULUAN

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 1.1 Latar Belakang .....      | I-1 |
| 1.2 Rumusan Masalah .....     | I-2 |
| 1.3 Tujuan Perencanaan .....  | I-2 |
| 1.4 Manfaat Perencanaan ..... | I-2 |
| 1.5 Rumusan Masalah .....     | I-2 |

### BAB II. GAMBARAN UMUM LOKASI DAN DATA PERENCANAAN

|                                              |      |
|----------------------------------------------|------|
| 2.1 Lokasi Perencanaan .....                 | II-1 |
| 2.2 Data Perencanaan .....                   | II-1 |
| 2.2.1 Data Persediaan Tanah .....            | II-6 |
| 2.2.2 Data Prajurit Laboratorium Tanah ..... | II-6 |
| 2.2.3 Data Simulasi Himpunan .....           | II-6 |

### BAB III. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| 3.1 Tinjauan Pustaka .....           | III-1 |
| 3.1.1. Pelebaran .....               | III-1 |
| 3.1.2. Klasifikasi Pelebaran .....   | III-1 |
| 3.1.3. Infrastruktur Pelebaran ..... | III-2 |

|                                                                                                    |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 3.1.4. Tanah .....                                                                                 | III-4         |
| 3.1.5. Pengertian Fondasi .....                                                                    | III-5         |
| 3.1.6. Macam-macam Tipe Fondasi .....                                                              | III-6         |
| 3.1.7. Fungsi Fondasi Tiang Pancang .....                                                          | III-7         |
| 3.1.8. Tipe-tipe Fondasi Pancang .....                                                             | III-8         |
| 3.1.9. Alat Pancang .....                                                                          | III-9         |
| 3.1.10. Langkah-langkah dalam Perencanaan Fondasi Tiang Pancang .....                              | III-11        |
| 3.1.11. Basis Teori Perangka Lunak PLAXIS .....                                                    | III-11        |
| <b>3.2. Landasan Teori .....</b>                                                                   | <b>III-13</b> |
| 3.2.1. Uji Penetration Standar (SPT) .....                                                         | III-13        |
| 3.2.2. Berat isi ( $\gamma$ ) .....                                                                | III-16        |
| 3.2.3. Suhu Gesek ( $q$ ) .....                                                                    | III-16        |
| 3.2.4. Koefisien ( $\alpha$ ) .....                                                                | III-17        |
| 3.2.5. Parameter Plastic .....                                                                     | III-17        |
| 3.2.6. Penahanan .....                                                                             | III-18        |
| 3.2.7. Torsi Kapasitas Dukung Fondasi .....                                                        | III-27        |
| 3.2.8. Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang dari Hasil SPT ( <i>Standard Penetration Test</i> ) ..... | III-28        |
| 3.2.9. Faktor Aman Tiang Pancang .....                                                             | III-30        |
| 3.2.10. Fondasi Tiang Pancang Kekompakan .....                                                     | III-31        |
| 3.2.11. Perumusan Fondasi Tiang Pancang .....                                                      | III-34        |
| 3.2.12. Pola Peratap Tiang ( <i>Pile Cap</i> ) dan Jarak Tiang .....                               | III-36        |

#### **BAB IV. METODE PERENCANAAN**

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| 4.1. Sistematis Perencanaan ..... | IV-1 |
| 4.2. Analisis Data .....          | IV-3 |
| 4.3. Pengoperasian PLAXIS .....   | IV-6 |

#### **BAB V. PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN**

|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| 5.1. Data Pembebanan .....                             | V-1 |
| 5.2. Data <i>Standard Penetration Test</i> (SPT) ..... | V-2 |
| 5.3. Koefisien Data Tanah .....                        | V-4 |
| 5.4. Kriteria Desain Tiang Pancang .....               | V-5 |
| 5.5. Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang .....  | V-7 |

|                                                                                       |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 5.5.1. Daya Dukung Tiang Dari Uji Penetration Standar (SPT) .....                     | V-7  |
| 5.5.2. Penentuan Kedalaman Tiang Pancang .....                                        | V-15 |
| 5.5.3. Perhitungan Jumlah Tiang Pada Fondasi Tiang Kelompok .....                     | V-15 |
| 5.5.4. Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok .....                                   | V-17 |
| 5.6. Perencanaan Ukuran Pelat Penyang Tiang ( <i>Pile Cap</i> ) .....                 | V-20 |
| 5.7. Perhitungan Pemecutan Fondasi .....                                              | V-21 |
| 5.7.1. Perhitungan Pemecutan Fondasi Tiang Tunggal Metode Semi – Empiris .....        | V-21 |
| 5.7.2. Perhitungan Pemecutan Fondasi Tiang Kelompok Metode Vesić (1969) .....         | V-24 |
| 5.8. Metode Uraian Hingga PLAXIS 3D .....                                             | V-26 |
| 5.8.1. Desain Fondasi Tiang Pancang .....                                             | V-26 |
| 5.8.2. Analisis Interaksi Fondasi Tiang Pancang dan Tanah menggunakan PLAXIS 3D ..... | V-29 |
| 5.8.3. Perbandingan Hasil Analisis PLAXIS 3D dan Metode Perhitungan .....             | V-37 |
| 5.9. Pembahasan .....                                                                 | V-38 |
| <b>BAB VI. PENUTUP</b> .....                                                          |      |
| 6.1. Kesimpulan .....                                                                 | VI-1 |
| 6.2. Saran .....                                                                      | VI-2 |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....                                                           | P-1  |
| <b>LAMPIRAN</b> .....                                                                 | L-1  |

## DAFTAR GAMBAR

|             |                                                                                            |        |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Gambar 2.1  | Lokasi Proyek Rekomendasi Pelabuhan Dunggala .....                                         | II-1   |
| Gambar 2.2  | Lokasi TUG Pengambilan Sampel SPT .....                                                    | II-1   |
| Gambar 2.3  | Tampak Perspektif Pelabuhan Dunggala .....                                                 | II-4   |
| Gambar 2.4  | Rencana Struktur Dermaga .....                                                             | II-4   |
| Gambar 3.1  | Macam-macam fondasi .....                                                                  | III-7  |
| Gambar 3.2  | Panjang dan lebar Maksimum untuk berbagai macam tipe yang umum dipakai dalam praktik ..... | III-8  |
| Gambar 3.3  | Pemeriksaan Plaxis 3D .....                                                                | III-12 |
| Gambar 3.4  | Skema Urutan Uji Pemruaan Standar (SNI 4157-2008) .....                                    | III-13 |
| Gambar 3.5  | Rapen: Percepatan gempa di satuan dasar untuk periode pendek (0.2 detik) .....             | III-22 |
| Gambar 3.6  | Rapen: Percepatan gempa di satuan dasar untuk periode 1 detik .....                        | III-22 |
| Gambar 3.7  | Spesimen Rapen Desain .....                                                                | III-26 |
| Gambar 3.8  | Tiang Dermaga dari Cara Mendukung Bahunya .....                                            | III-28 |
| Gambar 3.9  | Tipe Kumpulan dalam Kelompok Tiang .....                                                   | III-31 |
| Gambar 3.10 | Definisi Jarak $s$ dalam Himpunan $s$ Rumus Tiang .....                                    | III-32 |
| Gambar 3.11 | efisiensi Kelompok Tiang dari Uji Model Kelompok Tiang dalam Tanah Granuler .....          | III-33 |
| Gambar 3.12 | Susunan Kelompok Tiang dalam Pola Penyangg Tiang .....                                     | III-37 |
| Gambar 4.1  | Bagian Atas (Pierceberg)Perencanaan Fondasi Tiang Pancang ...                              | IV-1   |
| Gambar 4.1  | Bagian Atas (Pierceberg)Perencanaan Fondasi Tiang Pancang (lanjutan) .....                 | IV-2   |
| Gambar 4.3  | <i>Project Properties (Project Box)</i> .....                                              | IV-6   |
| Gambar 4.4  | <i>Project Properties (Model Box)</i> .....                                                | IV-7   |
| Gambar 4.5  | <i>Input Berokola</i> .....                                                                | IV-7   |
| Gambar 4.6  | Kotak Dialog Materials Set .....                                                           | IV-8   |
| Gambar 4.7  | Kotak Dialog Input Parameter Tanah (General) .....                                         | IV-8   |
| Gambar 4.8  | Kotak Dialog Input Parameter Tanah (Parameter) .....                                       | IV-9   |
| Gambar 4.9  | Kotak Dialog Input Parameter Tanah (Ground Water) .....                                    | IV-9   |
| Gambar 4.10 | <i>Create Surface Plane</i> .....                                                          | IV-10  |
| Gambar 4.11 | <i>Extrude Plane</i> .....                                                                 | IV-10  |

|             |                                                                       |       |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------|-------|
| Gambar 4.12 | Kuat Dukung Material Set                                              | IV-31 |
| Gambar 4.13 | Jepit Urao Pile Cap                                                   | IV-31 |
| Gambar 4.14 | Jepit Urao Pile Cap (Remade Objects)                                  | IV-32 |
| Gambar 4.15 | Create Beam                                                           | IV-32 |
| Gambar 4.16 | Kuat Dukung Material Set                                              | IV-33 |
| Gambar 4.17 | Jepit Urao Tiang                                                      | IV-33 |
| Gambar 4.18 | Jepit Hebat                                                           | IV-34 |
| Gambar 4.19 | Mark Element Distribution                                             | IV-34 |
| Gambar 4.20 | Material Node                                                         | IV-35 |
| Gambar 4.21 | Plane                                                                 | IV-35 |
| Gambar 4.22 | Calculating Process                                                   | IV-36 |
| Gambar 4.23 | Flow Calculation Results                                              | IV-36 |
| Gambar 5.1  | Model 3D Fondasi Tiang Pancang Pelatukan Dunggala Kota                | V-1   |
| Gambar 5.2  | Skema Nilai Neuvastion Fondasi Tiang Pancang                          | V-9   |
| Gambar 5.3  | Skema Nilai Nj Fondasi Tiang Pancang                                  | V-11  |
| Gambar 5.4  | Skema Nilai No Fondasi Tiang Pancang                                  | V-12  |
| Gambar 5.5  | Contoh Pemetaan Jumlah Batas Tiang                                    | V-17  |
| Gambar 5.6  | Tiang Pancang <i>Precasted Concrete Protection Spur Piles</i>         | V-28  |
| Gambar 5.7  | <i>Displacement Shellings Fondasi Arak x (PLAXIS 3D, 2025)</i>        | V-30  |
| Gambar 5.8  | <i>Detail Displacement Shellings Fondasi Arak x (PLAXIS 3D, 2025)</i> | V-30  |
| Gambar 5.9  | <i>Displacement Centre Fondasi Arak x (PLAXIS 3D, 2025)</i>           | V-31  |
| Gambar 5.10 | <i>Detail Displacement Centre Fondasi Arak x (PLAXIS 3D, 2025)</i>    | V-31  |
| Gambar 5.11 | <i>Displacement Shellings Fondasi Arak y (PLAXIS 3D, 2025)</i>        | V-32  |
| Gambar 5.12 | <i>Detail Displacement Shellings Fondasi Arak y (PLAXIS 3D, 2025)</i> | V-32  |
| Gambar 5.13 | <i>Displacement Centre Fondasi Arak y (PLAXIS 3D, 2025)</i>           | V-33  |
| Gambar 5.14 | <i>Detail Displacement Centre Fondasi Arak y (PLAXIS 3D, 2025)</i>    | V-33  |
| Gambar 5.15 | <i>Displacement Shellings Fondasi Arak z (PLAXIS 3D, 2025)</i>        | V-34  |
| Gambar 5.16 | <i>Displacement 3D Surface Fondasi Arak z (PLAXIS 3D, 2025)</i>       | V-34  |
| Gambar 5.17 | <i>Minimum Axial Forces (PLAXIS 3D, 2025)</i>                         | V-35  |
| Gambar 5.18 | <i>Bending Moment arah X (PLAXIS 3D, 2025)</i>                        | V-36  |

## DAFTAR TABEL

|            |                                                                                         |        |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Tabel 2.1  | Data Hasil Uji Boring dan SPT H1.01                                                     | II-2   |
| Tabel 2.2  | Hasil Pengujian Laboratorium H1.01                                                      | II-3   |
| Tabel 2.3  | Data Hasil Uji Boring dan SPT H1.03                                                     | II-4   |
| Tabel 2.4  | Hasil Pengujian Laboratorium H1.03                                                      | II-5   |
| Tabel 3.1  | Deskripsi Kualitatif Konsistensi Relatif Tanah Pasir                                    | III-14 |
| Tabel 3.2  | Hubungan antara Parameter Tanah untuk Tanah Pasir                                       | III-14 |
| Tabel 3.3  | Kondisi Antara $C_u$ , $N_c$ , dan $C_L$                                                | III-15 |
| Tabel 3.4  | Angka Porositas untuk Berbagai Jenis Tanah                                              | III-17 |
| Tabel 3.5  | Parameter Uraian dari Berbagai Jenis Tanah                                              | III-17 |
| Tabel 3.6  | Nilai-Nilai Representatif untuk <b>Garis Tanah</b> , $\phi$                             | III-18 |
| Tabel 3.7  | Kategori risiko bangunan gedung dan lingkungan untuk<br>Jenis Gempa                     | III-20 |
| Tabel 3.8  | Faktor Keamanan Gempa                                                                   | III-21 |
| Tabel 3.9  | Klasifikasi Sisa                                                                        | III-23 |
| Tabel 3.10 | Koefisien Sisa, $F_u$                                                                   | III-24 |
| Tabel 3.11 | Koefisien Sisa, $F_v$                                                                   | III-24 |
| Tabel 3.12 | Kategori desain sesuai berdasarkan parameter<br>respons percepatan pada periode pendek  | III-25 |
| Tabel 3.13 | Kategori desain sesuai berdasarkan parameter<br>respons percepatan pada periode 1 detik | III-25 |
| Tabel 3.14 | Kisaran Faktor Arus dan Analisis Sisa                                                   | III-30 |
| Tabel 3.15 | Nilai Koefisien Empiris, $C_p$                                                          | III-33 |
| Tabel 3.16 | Pemilihan Iris Rata-rata untuk Berbagai Bangunan                                        | III-36 |
| Tabel 3.17 | Jarak Minimum Tiang $d_t$ = diameter tiang                                              | III-38 |
| Tabel 5.1  | Data Tanah Hasil Pengujian SPT di Lapangan                                              | V-2    |
| Tabel 5.2  | Data Tanah Hasil Pengujian Laboratorium                                                 | V-3    |
| Tabel 5.3  | Rangkuman Data Hasil Uji tanah                                                          | V-5    |
| Tabel 5.4  | Katalog Tiang Pancang WJKA Beton                                                        | V-6    |
| Tabel 5.5  | Daya Dukung Iris Metode Perhitungan Meyerhoff dan Haraara ..                            | V-10   |
| Tabel 5.6  | Daya Dukung Iris Metode Perhitungan Luciani Odomet .....                                | V-14   |
| Tabel 5.7  | Perhitungan Jumlah Tiang pada Kolom berdasarkan beban<br>yang bekerja                   | V-16   |

|            |                                                                                                           |      |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Tabel 5.8  | Days Drilling Kelompok Tiang Perakitan.....                                                               | V-18 |
| Tabel 5.9  | Perhitungan Perencanaan Segera Tiang Tanggul untuk Tiang Kalem.....                                       | V-24 |
| Tabel 5.10 | Perhitungan Perencanaan Segera Tiang Kelompok Perakitan.....                                              | V-25 |
| Tabel 5.11 | Data Parameter Tanah dalam Perhitungan PLAXIS 3D.....                                                     | V-27 |
| Tabel 5.12 | Perbandingan Hasil Analisis PLAXIS 3D dan Metode<br>Perhitungan.....                                      | V-33 |
| Tabel 5.13 | Hasil Perhitungan Days Drilling Fondasi Tiang Panjang untuk<br>Kedalaman 10 m dengan diameter 0,60 m..... | V-38 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| Lampiran 1. Data Tesah Hasil Pengujian SPT di Lapangan (SM.01) ..... | L-1 |
| Lampiran 2. Data Tesah Hasil Pengujian SPT di Lapangan (SM.03) ..... | L-2 |
| Lampiran 3. Data Tesah Hasil Pengujian Laboratorium (SM.01) .....    | L-3 |
| Lampiran 4. Data Tesah Hasil Pengujian Laboratorium (SM.03) .....    | L-4 |
| Lampiran 5. Rancangan Rangka Pemasangan WKA Beton .....              | L-5 |
| Lampiran 6. Lokasi Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala .....      | L-6 |
| Lampiran 7. Lokasi Titik Pengambilan Sampel .....                    | L-6 |

## DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH

| <b>Simbol / Singkatan</b> | <b>Arti / Keterangan</b>                     |
|---------------------------|----------------------------------------------|
| $A$                       | Koefisien dasar tang                         |
| $A_p$                     | Luas penampang dasar tang                    |
| $A_s$                     | Luas selimut                                 |
| ASTM                      | <i>American Society for Testing Material</i> |
| $B$                       | Koefisien selimut tang                       |
| Bar/Leg                   | <i>Swedish logging</i>                       |
| $C$                       | Katensi                                      |
| $C_d$                     | Koefisien aplikasi defleksi                  |
| $C_I$                     | Indeks kompresi                              |
| $C_s$                     | Hambatan geser selimut tang                  |
| $C_p$                     | Koefisien turgor                             |
| $C_u$                     | Katensi Undrained                            |
| $D, d$                    | Diameter tang                                |
| $D_e$                     | Defleksi mati                                |
| $D_v$                     | Kepadatan relatif                            |
| $E$                       | Modulus elastisitas                          |
| $E_c$                     | Angka pori                                   |
| $E_g$                     | Efisiensi kelengkapan tang                   |
| $E_p$                     | Modulus elastisitas tang                     |
| $E_s$                     | Defleksi gempa arah x                        |
| $E_y$                     | Defleksi gempa arah y                        |
| $F$                       | Tahanan tarik                                |
| $F_a$                     | Percepatan pada getaran periode pendek       |
| $F_c$                     | Kuat tekan beton                             |
| $F_R$                     | Faktor keamanan                              |
| $F_v$                     | Percepatan pada getaran periode 1 detik      |
| $I$                       | Isirut volume tanah                          |
| $I_s$                     | Isirut volume basah                          |
| $I_v$                     | Isirut volume kering                         |
| $G_c$                     | Isirut jenuh tanah                           |

|                |                                   |
|----------------|-----------------------------------|
| $V_{w0}$       | Isi air volume pond               |
| $V_v$          | Isi air volume air                |
| $ie$           | Faktor kekohesian gabung          |
| $\theta$       | Sudut geser dalam                 |
| $K$            | Nila pemrosokan                   |
| $k$            | Koefisien karakteristik tanah     |
| $K_r$          | Tahanan tanah dalam keadaan diam  |
| $L$            | Ketebalan fondasi                 |
| $L_1$          | Tebal badan                       |
| $L_2$          | Tebal alas                        |
| $L_3$          | Tebal badan atap                  |
| $N$            | Jumlah tiang dalam kelompok       |
| $N_c^*, N_q^*$ | Faktor daya dukung                |
| $N_{SPI}$      | Nila $N_{SPI}$                    |
| $P$            | Kaliling penampang tiang          |
| $p_c$          | Tahanan overburden tanah          |
| $P_L$          | Isi air plastis                   |
| $P_L$          | Isi air plastis                   |
| $q$            | Tegangan vertikal efektif tanah   |
| $Q_g$          | Isi air realisasi kelompok tiang  |
| $Q_p$          | Isi air dukung ujung tiang        |
| $Q_s$          | Isi air dukung selimut tiang      |
| $Q_u$          | Isi air dukung ultimat tiang      |
| $Q_{up}$       | Isi air yang dukung ujung tiang   |
| $Q_{us}$       | Isi air yang dukung selimut tiang |
| $R$            | Koefisien modifikasi respon       |
| $R$            | Tebal lapisan                     |
| $R_0$          | Relatif densitas                  |
| $S$            | Pemrosesan elastis awal           |
| $S$            | Jarak minimum antara tiang        |
| $\Sigma$       | Tegangan tanah                    |
| $\Delta I$     | Pemrosesan akhir deformasi        |
| $\Delta I$     | Pemrosesan dari ujung tiang       |

|                |                                           |
|----------------|-------------------------------------------|
| SV             | Peraturan saku beton yang dilubikan       |
| St             | <i>Spectrum response</i> dasar            |
| Sc             | Peraturan komokkan                        |
| SH             | Peraturan spektral dasar periode 1 detik  |
| SDCB           | Design Kebutuhan                          |
| SHS            | Peraturan spektral dasar periode pendek   |
| Sp             | Angka komunan ( <i>agely Factor</i> )     |
| Sg             | Peraturan ring kelompok                   |
| SL             | Salin surat                               |
| SPT            | <i>Standard Penetration Test</i>          |
| SV             | Tegangan vertikal efektif tanah           |
| T              | Periode                                   |
| UDN            | Universitas Islam Negeri                  |
| UDCS           | <i>Unified Soil Classification System</i> |
| v              | Angka Poisson                             |
| Vs             | <i>Shear Wave Velocity</i>                |
| w              | Kadar air                                 |
| W              | Salinan angon                             |
| Q <sub>s</sub> | Faktor kuat lebih umum                    |
| δ              | Sudut gesek rasul - rang                  |
| $\frac{I}{L}$  | Koefisien dari <i>Zone Factor</i>         |
| φ              | Sudut dilatasi                            |

**Planning for The Foundation of The Pile Dock in  
Bassarua District, Dunggala Regency**  
Rachmad M. Subianto, Nurdin, Sri Lili Chetrisanti

**ABSTRACT**

*The transfer of passenger port functions to Dunggala City aims to improve the quality of marine transportation services, while also being able to spur local economic growth through increased trade, tourism, and community mobility. For the condition of the port, the piles must reach the hard soil depth beneath the seamount, usually using precast concrete piles. This study aims to obtain a pile foundation design that meets the requirements of S460-2017 and the interaction between the soil and the port pile foundation using the PLAXIS 3D application. Data on seismic loads, lateral loads, and live loads were obtained from the L&P 2000 application. A comparison of results shows the ultimate bearing capacity ( $Q_{ul}$ ) of PLAXIS 3D is 330.00 tons, while from the Lucrenti Dersart method it is 210.03 tons. The settlement of the foundation from PLAXIS 3D is 5.5 mm, while the Dersart method shows a maximum settlement of 25 mm.*

**Keywords:** *Pile Foundation, Bearing Capacity, PLAXIS 3 Dimension, Settlement*

**Perencanaan Fondasi Tiang Pancang Pelabuhan  
di Kecamatan Bawean Kabupaten Donggala**

Rudiyand M, Sukirman, Nuridin, Tati Ida Oktayana

**ABSTRAK**

Transfer fungsi pelabuhan perampang ke Kota Donggala bertujuan untuk meningkatkan kualitas layanan transportasi laut, sekaligus mampu mendukung pertumbuhan ekonomi lokal melalui peningkatan perdagangan, pariwisata, dan mobilitas masyarakat. Untuk kondisi pelabuhan, tiang pancang harus mampu menahan tanah beton di bawah air laut, biasanya menggunakan tiang beton pracetak. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan desain fondasi tiang yang memenuhi persyaratan 8400/2017 dan standar umum tanah dan fondasi tiang pelabuhan menggunakan aplikasi PLAXIS 3D. Data tentang beban aksial, beban lateral, dan beban tumpu diperoleh dari aplikasi SAP 2000. Perbandingan hasil menunjukkan kapasitas dukung ultimate (QU) dan PLAXIS 3D adalah 379,29 ton, sementara dari metode Lateral Dearth adalah 210,01 ton. Perencanaan fondasi dari PLAXIS 3D adalah 5,5 run, sementara metode Dearth menunjukkan penentuan maksimum sebesar 33 run.

**Kata kunci:** Fondasi Tiang, Kapasitas Dukung, PLAXIS 3 Dimensi, Perencanaan.

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. LATAR BELAKANG

Pelabuhan merupakan salah satu infrastruktur vital dalam mendukung kegiatan transportasi laut, yang berperan penting dalam menunjang mobilitas masyarakat dan distribusi barang. Di wilayah Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah, pelabuhan memiliki fungsi strategis sebagai gerbang masuk dan keluar barang maupun barang. Khususnya dalam mendukung wilayah pesisir dengan daerah-daerah lainnya di Indonesia.

Selama beberapa dekade, Pelabuhan Perikanan Donggala beroperasi di wilayah Tipe yang secara geografis maupun alamiah lambat laun dinilai kurang optimal dalam menunjang aktivitas pelayanan perikanan. Beberapa faktor seperti keterbatasan ruang, adanya polutan fungsi di pelabuhan juga. Dimana Kabupaten Donggala telah di prioritaskan sebagai pusat distribusi laut barang Kora Pala menjadi alasan utama untuk melakukan evaluasi terhadap lokasi pelabuhan yang ada.

Selain itu, perkembangan tata ruang wilayah Donggala serta meningkatnya kebutuhan layanan transportasi laut mendorong pemerintah daerah dan pihak terkait untuk melakukan kembali efektivitas dan efisiensi pelayanan pelabuhan perikanan. Dalam hal ini, Donggala kota muncul sebagai alternatif lokasi yang lebih strategis. Secara topografis dan administratif, Donggala kota memiliki keunggulan yang mendukung operasional pelabuhan secara lebih maksimal, baik dari sisi pelayanan, kemudahan, maupun pengurangan ke depan.

Perencanaan fungsi pelabuhan perikanan ke Donggala kota diharapkan tidak hanya meningkatkan kualitas layanan transportasi laut, tetapi juga mampu mendukung pertumbuhan ekonomi lokal melalui peningkatan aktivitas perdagangan, pariwisata, dan mobilitas masyarakat. Proses ini tentu memerlukan perencanaan yang matang serta koordinasi antar pemangku kepentingan agar tujuan jangka panjangnya tercapai secara berkelanjutan.

Tung pancing baru melancarkan perburuannya hingga menjadi dua yolla tung pancing beton puzent dan tung pancing beton air di tempat. Untuk kembali pelabuhan dimana tung pancing baru mencapai akhir kelakannya tanah kritis meresapi

se-lain biasanya digunakan tiang pancang beton presetak. Standar tiang pancang beton yang digunakan SNI 8460:2017.

Pelabuhan Donggala di Kabupaten Kabupaten Kecamatan Bontona Kabupaten Donggala dibangun untuk keperluan transportasi laut khusus penumpang yang menghubungkan area Sulawesi Tengah.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, pokok permasalahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merencanakan fondasi tiang pancang pelabuhan di Kabupaten Donggala berdasarkan Peraturan Perancangan Geoteknik SNI 8460:2017?
2. Bagaimana interaksi antara tanah dengan fondasi tiang pancang pelabuhan menggunakan aplikasi PLAXIS 3D?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menetapkan Perencanaan fondasi tiang pancang pelabuhan di Kabupaten Donggala yang memenuhi Peraturan Perancangan Geoteknik SNI 8460:2017.
2. Mengetahui hasil interaksi tanah dengan fondasi tiang pancang pelabuhan menggunakan aplikasi PLAXIS 3D?

## 1.4. Manfaat Penelitian

1. Sebagai perencanaan fondasi tiang pada pelabuhan.
2. Memberikan acuan untuk peningkatan wawasan bagi Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tadulako terutama di bidang Geoteknik.

## 1.5. Batasan Masalah

Adapun Tujuan Permasalahan dalam penelitian Tugas Akhir ini memiliki batasan sebagai parameter untuk menyelesaikan masalah, meliputi:

1. Data tanah yang digunakan yaitu hasil penyelidikan tanah berupa SPT (*Standard Penetration Test*) diperoleh dari PT. Nusantara Terminal Energi.
2. Melakukan perencanaan fondasi tiang yang memenuhi peraturan Perancangan Geoteknik SNI 8460:2017.

3. Melakukan analisis timbangan antara timbangan yang panjang dan tanah pada area Penelitian Dengan Keluasan Kawasan Kuli Kecamatan Hutan Kabupaten Donggala dengan menggunakan aplikasi PLANN 3D
4. Langkah perencanaan timbangan yang panjang dengan membandingkan dimensi kedalaman, serta menghitung nilai daya dukung tanah dan pemetaan yang terjadi.

## BAB II

### GAMBARAN UMUM LOKASI DAN DATA PERENCANAAN

#### 2.1. Lokasi Perencanaan

Pada penelitian ini mengambil Lokasi proyek Pelabuhan Dugayulu terletak di Kelurahan Kabonga Kecil, Kecamatan Hamawa, Kabupaten Dugayulu Provinsi Sulawesi Tengah.



Gambar 2.1 Lokasi Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Dugayulu  
Sumber: Google Earth

#### 2.2. Data Perencanaan

Data yang digunakan dalam perencanaan ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT. Wajaya Karya (Persero), Tbk. terkait berupa data boring, SPT (*Standard Penetration Test*), data parameter tanah  $\gamma$ , dan  $q$  dan data tang pascagagal Pelabuhan Dugayulu digunakan data boring 001.01 dan 001.03.



Gambar 2.2 Lokasi titik pengambilan sampel SPT  
Sumber: PT. Wajaya Karya (Persero)

**Tabel 2.1** Data Hand Life Working dan GFI 101.01

| Kejurang<br>No. | Jumlah Laki-laki (orang) |               | Deskripsi                    | 2<br>C<br>L<br>K | Jumlah Laki-laki<br>Jumlah<br>(orang) | Kejurangan<br>Berkas | N-SPT<br>(Klasik 10<br>cm) |
|-----------------|--------------------------|---------------|------------------------------|------------------|---------------------------------------|----------------------|----------------------------|
| 01.01           | 1.0                      | 0.00 - 1.00   | Lampung Marudu<br>dan Marudu | 0                | 0.00 - 1.00                           | -                    | -                          |
|                 | 2.0                      | 1.00 - 2.00   | Lampung Marudu<br>dan Marudu | 1                | 1.0                                   | Kepulauan<br>Berkas  | 25                         |
|                 | 3.0                      | 2.00 - 4.00   | Lampung Marudu<br>dan Marudu | 2                | 4.0                                   | Kepulauan<br>Berkas  | 30                         |
|                 | 4.0                      | 4.00 - 6.00   | Lampung Marudu<br>dan Marudu | 3                | 6.0                                   | Kepulauan<br>Berkas  | 37                         |
|                 | 5.0                      | 6.00 - 8.00   | Lampung Marudu               | 4                | 8.0                                   | Kepulauan<br>Berkas  | 38                         |
|                 | 6.0                      | 8.00 - 10.00  | Lampung Marudu               | 5                | 10.0                                  | Kepulauan<br>Berkas  | 38                         |
|                 | 7.0                      | 10.00 - 12.00 | Lampung Marudu<br>dan Marudu | 6                | 12.0                                  | Padang               | 37                         |
|                 | 8.0                      | 12.00 - 14.00 | Lampung Marudu               | 7                | 14.0                                  | Padang               | 41                         |
|                 | 9.0                      | 14.00 - 16.00 | Padang Berkas                | 8                | 16.0                                  | Padang Berkas        | 48                         |
|                 | 10.0                     | 16.00 - 18.00 | Padang Berkas                | 9                | 18.0                                  | Padang Berkas        | 48                         |
|                 | 11.0                     | 18.00 - 20.00 | Padang Berkas                | 10               | 20.0                                  | Padang Berkas        | 48                         |
|                 | 12.0                     | 20.00 - 22.00 | Padang Berkas                | 11               | 22.0                                  | Padang Berkas        | 48                         |

Tabel 1.2 Hasil Pengujian Laboratorium H01/01

| No        | Jenis Pengujian       | Parameter / Simbol   | Satuan            | Hasil            | Kondisi Sempai (m) | Kode Sempai   |
|-----------|-----------------------|----------------------|-------------------|------------------|--------------------|---------------|
| Semboke 1 |                       |                      |                   |                  |                    |               |
| 1.        | Kadar Air             |                      |                   |                  |                    |               |
|           | Kadar Air             | w                    | %                 | 18,793           | 04.45-05.00.00     | H01.01.1726-1 |
|           | Kadar Air             | w                    | %                 | 21,871           | 06.00-06.15.00     | H01.01.1726-2 |
|           | Kadar Air             | w                    | %                 | 15,386           | 14.45-15.00.00     | H01.01.1726-3 |
|           | Kadar Air             | w                    | %                 | 18,432           | 19.00-19.15.00     | H01.01.1726-4 |
| 2.        | Batas Jenuh           |                      |                   |                  |                    |               |
|           | Batas Jenuh           | G <sub>s</sub>       |                   | 2,463            | 04.45-05.00.00     | H01.01.1726-1 |
|           | Kadar Air             | G <sub>s</sub>       |                   | 2,464            | 06.00-06.15.00     | H01.01.1726-2 |
|           | Kadar Air             | G <sub>s</sub>       |                   | 2,464            | 14.45-15.00.00     | H01.01.1726-3 |
|           | Kadar Air             | G <sub>s</sub>       |                   | 2,418            | 19.00-19.15.00     | H01.01.1726-4 |
| 3.        | Analisa Sariayan      |                      |                   |                  |                    |               |
|           | Pemeriksaan Tertahan  | g/200                | %                 |                  | 04.45-05.00.00     | H01.01.1726-1 |
|           | Pemeriksaan Larutan   | g/200                | %                 | 000,00           |                    |               |
|           | Pemeriksaan Tertahan  | g/200                | %                 |                  | 06.00-06.15.00     | H01.01.1726-2 |
|           | Pemeriksaan Larutan   | g/200                | %                 | 000,00           |                    |               |
|           | Pemeriksaan Tertahan  | g/200                | %                 |                  | 14.45-15.00.00     | H01.01.1726-3 |
|           | Pemeriksaan Larutan   | g/200                | %                 | 000,00           |                    |               |
|           | Pemeriksaan Tertahan  | g/200                | %                 |                  | 19.00-19.15.00     | H01.01.1726-4 |
|           | Pemeriksaan Larutan   | g/200                | %                 | 000,00           |                    |               |
| 4.        | Batas-Batas Atterberg |                      |                   |                  |                    |               |
|           | Batas Cak             | LL                   | %                 | Non Plastic (NP) | 04.45-05.00.00     | H01.01.1726-1 |
|           |                       | PL                   | %                 |                  |                    |               |
|           |                       | Shrinkage Plasticity | %                 |                  |                    |               |
|           | Batas Plastis         | LL                   | %                 | Non Plastic (NP) | 06.00-06.15.00     | H01.01.1726-2 |
|           |                       | PL                   | %                 |                  |                    |               |
|           |                       | Shrinkage Plasticity | %                 |                  |                    |               |
|           | Batas Cak             | LL                   | %                 | Non Plastic (NP) | 14.45-15.00.00     | H01.01.1726-3 |
|           |                       | PL                   | %                 |                  |                    |               |
|           |                       | Shrinkage Plasticity | %                 |                  |                    |               |
|           | Batas Plastis         | LL                   | %                 | Non Plastic (NP) | 19.00-19.15.00     | H01.01.1726-4 |
|           |                       | PL                   | %                 |                  |                    |               |
|           |                       | Shrinkage Plasticity | %                 |                  |                    |               |
| 5.        | Gecek Lapangan        |                      |                   |                  |                    |               |
|           | K <sub>sat</sub> (cm) | g                    | g/cm <sup>3</sup> | 0,004            | 04.45-05.00.00     | H01.01.1726-1 |
|           |                       | g                    | "                 | 52,083           |                    |               |
|           | K <sub>sat</sub> (cm) | g                    | g/cm <sup>3</sup> | 0,037            | 06.00-06.15.00     | H01.01.1726-2 |
|           |                       | g                    | "                 | 24,332           |                    |               |
|           | K <sub>sat</sub> (cm) | g                    | g/cm <sup>3</sup> | 0,029            | 14.45-15.00.00     | H01.01.1726-3 |
|           |                       | g                    | "                 | 20,142           |                    |               |
|           | K <sub>sat</sub> (cm) | g                    | g/cm <sup>3</sup> | 0,031            | 19.00-19.15.00     | H01.01.1726-4 |
|           |                       | g                    | "                 | 25,302           |                    |               |

**Tabel 2.3** Data Hasil Uji Borong dan SPT Borehole

| Boring No. | Soil Test Number (mm) | Description   | Test No. | Soil Test Number (mm) | Comments Data No. | N-SPT (Blows 30 cm) |
|------------|-----------------------|---------------|----------|-----------------------|-------------------|---------------------|
| Borehole   | 1.0                   | 0.00 – 1.00   | 1        | 0.00 – 1.00           | -                 | -                   |
|            | 2.00                  | 1.00 – 2.00   | 2        | 1.0                   | Profil            | 18                  |
|            | 4.00                  | 3.00 – 4.00   | 3        | 3.0                   | Kepulauan Nelayan | 30                  |
|            | 6.00                  | 4.00 – 6.00   | 4        | 4.0                   | Kepulauan Nelayan | 25                  |
|            | 8.00                  | 6.00 – 8.00   | 4        | 6.0                   | Profil            | 48                  |
|            | 10.00                 | 8.00 – 10.00  | 5        | 10.0                  | Profil            | 47                  |
|            | 12.00                 | 10.00 – 12.00 | 5        | 12.0                  | Profil            | 50                  |
|            | 14.00                 | 12.00 – 14.00 | -        | 14.0                  | Sangat Profil     | 55                  |
|            | 16.00                 | 14.00 – 16.00 | 6        | 16.0                  | Sangat Profil     | 58                  |
|            | 18.00                 | 16.00 – 18.00 | 6        | 18.0                  | Sangat Profil     | 60                  |
|            | 20.00                 | 18.00 – 20.00 | 10       | 20.0                  | Sangat Profil     | 60                  |
|            | 22.00                 | 20.00 – 22.00 | 11       | 22.0                  | Sangat Profil     | 60                  |

Tabel 1.4 Hasil Pengujian Laboratorium B6.0.0.0

| No              | Jenis Pengujian     | Parameter (Satuan) | Isolasi | Hasil          | Kekakuan Sampel (N) | Kode Sampel    |
|-----------------|---------------------|--------------------|---------|----------------|---------------------|----------------|
| Kontrol 1       |                     |                    |         |                |                     |                |
| 1.              | Kontrol Air         |                    |         |                |                     |                |
|                 | Katrol Air          | u                  | %       | 11,198         | 14.41-15.88 cm      | B6.0.0.1.026-1 |
|                 | Katrol Air          | u                  | %       | 14,178         | 10.88-10.51 cm      | B6.0.0.1.026-2 |
|                 | Katrol Air          | u                  | %       | 16,190         | 14.41-15.88 cm      | B6.0.0.1.026-3 |
| Katrol Air      | u                   | %                  | 16,196  | 10.88-10.51 cm | B6.0.0.1.026-4      |                |
| 2.              | Kontrol Jenuh       |                    |         |                |                     |                |
|                 | Kontrol Jenuh       | 0u                 |         | 2,164          | 14.41-15.88 cm      | B6.0.0.1.026-1 |
|                 | Katrol Air          | 0u                 |         | 2,163          | 10.88-10.51 cm      | B6.0.0.1.026-2 |
|                 | Katrol Air          | 0u                 |         | 2,170          | 14.41-15.88 cm      | B6.0.0.1.026-3 |
| Katrol Air      | 0u                  |                    | 2,168   | 10.88-10.51 cm | B6.0.0.1.026-4      |                |
| 3.              | Analisa Varietas    |                    |         |                |                     |                |
|                 | Prevarious Varietas | 4200               | %       | 95,60          | 14.41-15.88 cm      | B6.0.0.1.026-1 |
|                 | Prevarious Varietas | 4200               | %       | 9,48           |                     |                |
|                 | Prevarious Varietas | 4200               | %       | 17,80          | 10.88-10.51 cm      | B6.0.0.1.026-2 |
|                 | Prevarious Varietas | 4200               | %       | 2,20           |                     |                |
|                 | Prevarious Varietas | 4200               | %       | 95,20          | 14.41-15.88 cm      | B6.0.0.1.026-3 |
|                 | Prevarious Varietas | 4200               | %       | 1,18           |                     |                |
|                 | Prevarious Varietas | 4200               | %       | 95,20          | 10.88-10.51 cm      | B6.0.0.1.026-4 |
|                 | Prevarious Varietas | 4200               | %       | 1,18           |                     |                |
| 4.              | Batas-Batas Adhesi  |                    |         |                |                     |                |
|                 | Batas Cat           | 11                 | %       | New Plate (NP) | 14.41-15.88 cm      | B6.0.0.1.026-1 |
|                 | Batas Plastik       | 15                 | %       |                |                     |                |
|                 | Induksi Plastik     | 18                 | %       |                |                     |                |
|                 | Batas Cat           | 11                 | %       | New Plate (NP) | 10.88-10.51 cm      | B6.0.0.1.026-2 |
|                 | Batas Plastik       | 15                 | %       |                |                     |                |
|                 | Induksi Plastik     | 18                 | %       |                |                     |                |
|                 | Batas Cat           | 11                 | %       | New Plate (NP) | 14.41-15.88 cm      | B6.0.0.1.026-3 |
|                 | Batas Plastik       | 15                 | %       |                |                     |                |
|                 | Induksi Plastik     | 18                 | %       |                |                     |                |
|                 | Batas Cat           | 11                 | %       | New Plate (NP) | 10.88-10.51 cm      | B6.0.0.1.026-4 |
|                 | Batas Plastik       | 15                 | %       |                |                     |                |
|                 | Induksi Plastik     | 18                 | %       |                |                     |                |
| Induksi Plastik | 18                  | %                  |         |                |                     |                |
| 5.              | Group Lapangan      |                    |         |                |                     |                |
|                 | Katrol              | u                  | Isolasi | 6,080          | 14.41-15.88 cm      | B6.0.0.1.026-1 |
|                 | Katrol Grese        | g                  | "       | 11,471         |                     |                |
|                 | Katrol              | u                  | Isolasi | 6,080          | 10.88-10.51 cm      | B6.0.0.1.026-2 |
|                 | Katrol Grese        | g                  | "       | 17,470         |                     |                |
|                 | Katrol              | u                  | Isolasi | 6,180          | 14.41-15.88 cm      | B6.0.0.1.026-3 |
|                 | Katrol Grese        | g                  | "       | 22,501         |                     |                |
|                 | Katrol              | u                  | Isolasi | 6,080          | 10.88-10.51 cm      | B6.0.0.1.026-4 |
|                 | Katrol Grese        | g                  | "       | 11,471         |                     |                |

### 2.1.1. Data Penyelidikan Tanah

Penyelidikan Tanah yang dilakukan yaitu pengujian bor inti SPI (*Standard Penetration Test*). Data tanah hasil pengujian SPI dan data sampel bor inti yang dilakukan oleh PT. Nusantara Terminal Energi.

### 2.1.2. Data Pengujian Laboratorium Tanah

Hasil Pengujian di laboratorium memperoleh nilai parameter tanah yaitu *Analisa* sarung, berat jenis tanah ( $G_s$ ), kadar air ( $w$ ), *shrinkage*, dan uji geser langsung ( $c$  &  $\phi$ ). Untuk sampel pengujian tanah dengan 4 titik yang di uji tekan bor inti SPI dengan 4 sampel tanah yang berbeda pada masing-masing lapisan kedalaman tanah sampai pada kedalaman tanah kurang atau kedalaman maksimum pengujian bor inti SPI yaitu 24 meter.

### 2.1.3. Data Struktur Bangunan

Pelabuhan Dunggala terbagi menjadi 2 dermaga yaitu, dermaga kargo (Dermaga 4) : 20 m x 140 m (2 segmen) dan dermaga penumpang (Dermaga 3) : 20 m x 140 m (2 segmen). Kedua dermaga adalah dermaga dengan konstruksi beton bertulang dengan sistem *deck on pile*. Sistem *deck on pile* merupakan konstruksi lantai di atas balok yang ditumpu oleh pondasi tang panjang baja atau beton dimana semua balok-balok dan pondasi akan dihubungkan dengan kepala tang *pile cap*.



**Gambar 2.1** Tampak Perspektif Pelabuhan Dunggala  
Sumber: Laporan Akhir NHHM, 2023

## Dermaga Penumpang

### A. Data Kapal

- Ukuran kapal rencana maksimum : 3.340 DWT

### B. Data Dermaga

- Total area Dermaga adalah 20m x 100m terbagi dalam 3 segmen masing-masing 60m
- Area apron penumpang adalah 22m x 100m
- Elevasi rencana lantai dermaga : +2.70 m LWS
- Draft kolam dermaga : -8.11 m LWS
- Saran tambat : Holland 30 Ton
- Saran turibuk : Fender tipe Case 1000H dan Fender tipe NY 400S (500).
- Jenis tang pondasi :
  - Tiang pancang pipa baja (*Steel Pipe Pile*) dia. 813mm T.12.5mm (*pile steel*) dan dia. 511 mm T.13.9 mm (*cast dermaga*)
  - *Deepile* baja, untuk dinding talud

### C. Data Penbebanan

#### 1. Beban Vertikal

- Beban hidup terbagi rata : 1 t/m<sup>2</sup>
- Beban truk mati : 1.2t
- Beban *mobile crane* 25 Ton

#### 2. Beban Horizontal

- Beban tarik-tarik tender : sesuai kapasitas berthing dengan tender pada dokumen spesifikasi teknis
- Beban tarik-tarik *berlayar* : 35 Ton atau sesuai spesifikasi teknis *berlayar*

#### 3. Beban Gempa : Analisis gempa dengan metode respon spektra yang mengacu pada SNI 03-1726-2019, "Standar Penetapan Kewakaran Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung"

#### 4. Beban Lingkungan : gelombang, arus, angin, cuaca dengan Laporan Survey

#### 5. Beban Temperatur : Rentang Temperatur 20 s/d 40°C

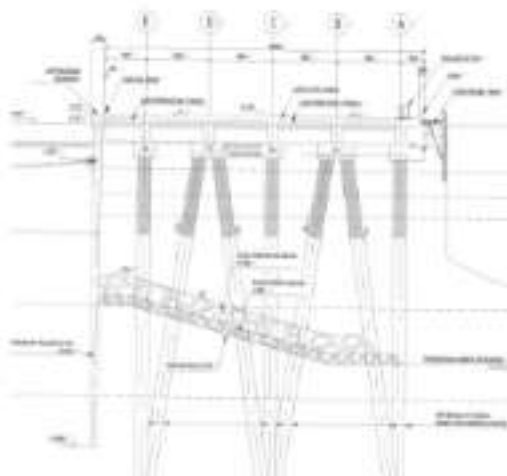
## Dermaga Kargo

### A. Data Kapal

- Ukuran kapal rencana (maksimum) : 6000 DWT

### B. Data Dermaga

- Total area Dermaga adalah 20m x 140m terbagi dalam 2 segmen masing-masing 70m
- Elevasi rencana lantai dermaga : +5.20 m LWS
- Draft kolam dermaga : -8.0 m LWS
- Jumlah tambat : *Bollard* 15 Titik
- Sistem tarikan : *Slider* tipe Cane (1000) dan *Slider* tipe SY 6000-1500,
- Jenis tiang pondok : Tiang pancang pipa baja (*Steel Pipe Pile*) dia. 813 mm, T 15,9 mm untuk dermaga.



**Gambar 1.4** Rancangan Struktur Dermaga

Sumber : (PT. Wijaya Karya 2021)

## BAB III

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 3.1. Tinjauan Pustaka

##### 3.1.1. Pelabuhan

Utamiwuljo (2009) Pelabuhan (*port*) adalah daerah perairan yang terhubung terhadap perairan yang dilindungi dengan fasilitas terminal laut meliputi dermaga di mana kapal dapat bertambat untuk bongkar muat barang, kargo-kargo (*cargo*) untuk bongkar muat barang, gudang laut (*warehouse*) dan tempat-tempat penyimpanan di mana kapal menaruh barang muatannya, dan gudang-gudang di mana barang-barang dapat disimpan dalam waktu yang lama selama menunggu pengiriman ke daerah tujuan atau pengapalan. Terminal ini dilindungi dengan jalan kereta api dan jalan raya.

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2008 tentang Pelabuhan, pelabuhan adalah tempat yang terdiri atas dermaga dan/atau perairan dengan luas-luas tertentu sebagai tempat penempatan dan/atau kegiatan usaha yang digunakan sebagai tempat kapal berlabuh, naik turun penumpang, dan atau bongkar muat barang. Adapun fungsi pelabuhan sebagai berikut:

1. Fungsi Transportasi: sebagai simpul dalam jaringan transportasi laut dan menjadi penghubung antar wilayah, baik dalam negeri maupun luar negeri.
2. Fungsi Ekonomi: mendukung kegiatan ekonomi dan perdagangan dengan menyediakan sarana untuk ekspor dan impor barang. Keberadaan pelabuhan dapat mendukung pertumbuhan kawasan industri, logistik, dan pariwisata.
3. Fungsi Logistik: sebagai pusat distribusi dan konsolidasi barang, pelabuhan menyediakan layanan penyimpanan, bongkar muat, serta pengelolaan kontainer dan kargo.
4. Fungsi Sosial dan Wilayah: membantu mengembangkan wilayah terpedaol atau daerah kepulauan dengan membuka aksesibilitas dan konektivitas antarwilayah.
5. Fungsi Pertahanan dan Keamanan: berfungsi sebagai basis militer dan pengawasan wilayah laut dalam menjaga kedaulatan negara.

##### 3.1.2. Klasifikasi Pelabuhan

Pelabuhan dapat diklasifikasikan berdasarkan berbagai kriteria, antara lain fungsi, wilayah pelayanan, jenis layanan, skala operasional, dan letak geografis.

Memori Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2008 tentang Pelajaran, pendidikan dikelompokkan menjadi dua jenis berdasarkan fungsinya, yaitu pendidikan umum dan pendidikan khusus. Pendidikan umum diselenggarakan untuk melayani kepentingan umum, baik untuk kegiatan pemangung maupun belajar, sedangkan pendidikan khusus diselenggarakan untuk kepentingan sendiri oleh instansi pemerintah atau swasta seperti industri, pemerintahan, dan militer (UU RI No. 17 Tahun 2008).

Dari segi wilayah pelayanannya, pendidikan diklasifikasikan menjadi pendidikan internasional, nasional, regional, dan lokal. Klasifikasi ini diatur dalam Peraturan Menteri Pendidikan Republik Indonesia Nomor PM 31 Tahun 2017 tentang Penyelenggaraan Pendidikan. Pendidikan internasional berfungsi untuk melayani pelayanan antarnegara dan kegiatan ekspor-impor, sedangkan pendidikan nasional melayani pelayanan antarnelayah dalam negeri. Pendidikan regional dan lokal melayani daerahnya dalam lingkup provinsi dan kabupaten/kota (Peraturan No. PM 31 Tahun 2017).

Berdasarkan jenis layanan yang diberikan, pendidikan juga dapat dibedakan menjadi pendidikan pemangung, pendidikan barang (logistik), pendidikan perikanan, dan pendidikan energi. Pendidikan pemangung dirancang untuk memelihara dan merawat pemangung, biasanya dilengkapi dengan terminal pemangung. Pendidikan barang digunakan untuk bongkar muat muatan seperti kontainer dan barang carak, sedangkan pendidikan perikanan melayani kegiatan kapal nelayan, distribusi ikan, dan fasilitas pengolahan hasil laut. Selain itu, pendidikan energi melayani bongkar muat bahan bakar seperti BBM, LNG, dan batubara (Triandono, 2009).

Dari segi skala operasional dan kapasitasnya, pendidikan dibedakan menjadi pendidikan utama, pendidikan pengumpul, dan pendidikan pengumpul regional dan lokal. Pendidikan utama melayani kapal-kapal besar berskala internasional dan nasional, dengan fasilitas lengkap dan kompleksitas tinggi. Sementara itu, pendidikan pengumpul dan pengumpul berfungsi sebagai tingkat distribusi untuk muatan dan dan ke pendidikan besar (Hjien Huda, 2020).

Terkait berdasarkan bentuk geografisnya, pendidikan diklasifikasikan menjadi pendidikan laut (seaport), pendidikan sungai (river port), dan pendidikan darat (inland port). Pendidikan laut umumnya terletak di garis pantai dan melayani kapal-kapal laut dalam, sedangkan pendidikan sungai dan darat beroperasi di perairan terlampau seperti sungai besar atau danau dan lebih berfokus pada distribusi lokal (Triandono, 2009).

### 3.1.3. Infrastruktur Pelabuhan

Infrastruktur pelabuhan merupakan kumpulan unsur yang menunjang operasional pelabuhan secara keseluruhan. Infrastruktur ini dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu infrastruktur sisi laut (*marine side infrastructure*) dan infrastruktur sisi darat (*land side infrastructure*). Keduanya memiliki peran penting dalam kelancaran kegiatan bongkar muat, pelebaran kapal, distribusi barang, dan penampung.

#### A. Infrastruktur Sisi Laut (*Sea Side Infrastructure*)

Infrastruktur sisi laut adalah fasilitas yang berkaitan langsung dengan kegiatan kapal di perairan pelabuhan. Komponen utamanya meliputi:

- **Alur pelayaran (*shipping channel*):** Jalur masuk dan keluar kapal menuju ke area pelabuhan yang harus memiliki kedalaman dan lebar tertentu agar aman dilayari.
- **Kalan pelabuhan (*harbor basin*):** Area perairan tenang di sekitar dermaga tempat kapal berlabuh dan beranda.
- **Breakwater (*pemecah gelombang*):** Struktur pelindung pelabuhan dari gelombang laut, menjaga stabilitas air di dalam kalan pelabuhan.
- **Dermaga (*wharf/berth-quay*):** Tempat kapal berlabuh untuk melakukan kegiatan bongkar muat.
- **Dolfin dan Jender:** Struktur tambahan untuk membantu penempatan kapal dan menahan tambahan saat kapal berlabuh.

#### B. Infrastruktur Sisi Darat (*Land Side Infrastructure*)

Infrastruktur sisi darat mencakup seluruh fasilitas di daratan pelabuhan yang mendukung kelancaran logistik dan operasional. Komponennya antara lain:

- **Lapangan penampungan (*container yard*):** Area untuk penyimpanan sementara peti kemas yang akan dimuat atau baru dibongkar dari kapal.
- **Gudang pelabuhan (*warehouse*):** Fasilitas penyimpanan barang sebelum didistribusikan ke tujuan akhir.
- **Terminal penampung:** Fasilitas untuk menerima rak hasil penampung, dilengkapi ruang tunggu dan pelayanan kargo.
- **Alat bongkar muat (*large handling equipment*):** Seperti *gantry crane*, *reach stacker*, *forklift*, dan *conveyor* untuk memindahkan barang darat ke kapal.
- **Jalan internal dan akses transportasi:** Untuk kelancaran arus kendaraan

logistik, seringkali terhubung dengan jalan nasional, dll karena api, dan fasilitas multimoda.

- Gedung pertemuan dan pengelola pelatihan: tempat operasional urusan pelatihan dan badan usaha pelatihan.
- Sistem IT dan keamanan pelabuhan: Terutama sistem pelacakan barang, kontrol lalu lintas kapal, serta keamanan parganas dan sistem napsak.

#### 3.1.4. Tanah

(Das, 1983) Tanah didefinisikan sebagai suatu bahan yang terdiri dari kumpulan butiran mineral yang tidak saling terikat secara kimia satu sama lain dan juga dari bahan organik yang masih memiliki yang memiliki partikel padat, ditembak dengan cairan dan gas yang mengisi ruang kosong diantara partikel-partikel padat itu.

Tanah pada umumnya tersusun atas material sedimen seperti pasir, lempur, lempung liat, dan endapan laut yang masih muda (*recent marine deposit*). Setiap jenis tanah ini memiliki karakteristik fisik dan mekanik yang berbeda. Pasir pada umumnya memiliki permeabilitas tinggi, namun daya dukutnya relatif rendah, sehingga tidak memenuhi persyaratan untuk dibiak akibat gelombang dan arus laut. Lempur (cl) memiliki ukuran butir yang lebih halus dari pasir dan dapat menyimpan air dalam jumlah besar, menyebabkan kekuatan geser tanah menjadi rendah. Lempung liat dan endapan laut sering kali dalam kondisi jenuh air, memiliki struktur yang lepas, serta plastisitas tinggi. Akibatnya, jenis tanah ini menunjukkan komposisi yang signifikan ketika diberi beban, serta memiliki nilai kohesi dan tahanan geser dalam ( $c$ ) yang rendah. Sifat-sifat ini sangat mempengaruhi stabilitas dan daya dukung tanah dalam konstruksi fondasi laut atau penera (Tunaghi et al., 1996).

Untuk memahami kondisi tanah secara akurat sebelum perencanaan dan konstruksi, diperlukan penyelidikan tanah lapangan dengan metode-metode geoteknik yang sesuai. Beberapa metode yang umum digunakan adalah *Standard Penetration Test* (SPT), *Cone Penetration Test* (CPT), dan *bor log* (*borerole logging*). SPT digunakan untuk mengukur nilai ketahanan tanah dengan cara memukul utas *split spoon* ke dalam tanah, menghasilkan nilai  $N_{SPT}$  sebagai indikator kekuatan tanah. Metode ini banyak diterapkan dalam tanah pasir dan lempung. CPT dilakukan dengan menekan *cone penetrometer* ke dalam tanah secara kontinu, menghasilkan data ukuran tegang ( $q$ ) dan geseran selubung ( $f_s$ ) yang lebih rinci dan akurat untuk identifikasi lapisan tanah dan interpretasi parameter geoteknik. Sementara itu, *bor log* digunakan untuk mengambil contoh tanah asli (*undisturbed sample*) yang akan dianalisis di laboratorium

guna membandingkan sifat fisik dan mekanik seperti rumah *Stueberg*, kultur air, dan leguminas. Kontribusi ketiga metode ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi tanah dasar di daerah pantai (Herdias, 1996).

Dalam kondisi pantai, struktur seperti dinding pemisah tanah, dermaga, dan tanggul pancing harus mampu menahan beban lateral yang berasal dari tekanan tanah aktif, air laut, dan gaya gelombang. Tanah di wilayah pantai, terutama tanah jenis seperti lempung liat, dan endapan organik, memiliki kemampuan rendah dalam menahan beban lateral karena kemampuannya menahan geser dan besarnya deformasi. Beban lateral dapat menyebabkan pergeseran atau runtuh pada elemen struktur, terutama pada tanggul fondasi yang diletakkan sebagian dalam tanah. Dalam perencanaan, analisis beban lateral dilakukan menggunakan pendekatan elastis-plastis seperti metode *Terzaghi* atau metode *p-y curve* untuk memperkirakan kapasitas defleksi, momen, dan gaya geser sepanjang panjang tiang (Das, 2010). Perilaku tanah yang tidak kaku menimbulkan pengaruh pemindahan tiang yang lebih besar agar struktur dapat berfungsi secara stabil terhadap beban horizontal.

Tanah pantai sangat dipengaruhi oleh kondisi jenuh akibat kondisi langsung dengan air laut. Paparan ini dapat menyebabkan dipudai kekuatan tanah, baik secara fisik maupun kimia. Air laut yang mengandung garam mempengaruhi perilaku tanah, menurunkan kohesi dan meningkatkan pemisahan, terutama pada lempung yang mengandung mineral *non-smecton*. Rendahnya ketegapannya menyebabkan lempung dan lumpur kehilangan kekuatan geser dan meningkatkan potensi konsolidasi. Selain itu, pelarutan bahan semen alami dalam tanah (seperti karbonat) oleh air asin dapat menyebabkan penurunan kapasitas struktural buatan tanah. Dalam jangka panjang, fenomena ini meningkatkan risiko *settlement* berlebih dan stabilitas lereng dasar laut. Oleh karena itu, analisis ketahanan tanah terhadap medium air laut perlu diperhatikan secara khusus dalam desain pemondasi pantai (Craig, 2004).

### 3.1.2. Properti Fondasi

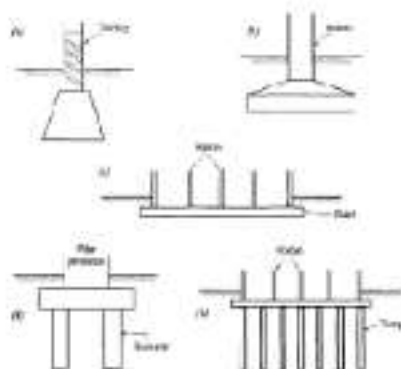
Fondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang bertugas menahan bangunan dan mentransfer beban bangunan atau (*upper structure*) ke struktur tanah yang cukup kuat mendukungnya. Untuk tujuan ini fondasi bangunan harus diperhitungkan dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap beban seismik, beban-beban bangunan dan gaya-gaya luar, seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain, dan tidak boleh terjadi pemrosesan fondasi seperti atapnya pemrosesan fondasi yang memata lebih dari rumah tertentu. (Gurawan,1991)

### 3.1.4. Macam - Macam Tipe Fondasi

Fondasi sebuah bangunan memiliki peran untuk menyalurkan beban dari bangunan ke tanah. Peran ini dapat berjalan dengan baik jika fondasi stabil terhadap geseran, guncangan, pemusatan, dan lokalisasi tanah bisa menghindarinya. Walaupun kondisi tanah sangat bervariasi, ini memerlukan banyak pertimbangan dalam merancang fondasi.

Arus fondasi yang dipilih sebagai penyanggah bawah dipengaruhi oleh berbagai hal, seperti kondisi tanah, ketahanan lapisan keras, beban yang ditanggung fondasi, biaya, dan cara pelaksanaannya. Menurut Hardjantoro (2011), fondasi dibagi menjadi dua kategori, yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Fondasi dangkal adalah fondasi yang langsung menanggung bebannya, seperti fondasi tiapak, fondasi sumbu, dan fondasi rakit. Di sisi lain, fondasi dalam adalah fondasi yang menerima beban bangunan ke lapisan tanah keras atau batuan yang terletak lebih dalam, contohnya adalah fondasi sumbu dan fondasi tiang. Berbagai contoh jenis fondasi dapat dilihat dalam gambar.

- a) Fondasi tiapak adalah jenis fondasi yang berdekatan untuk menanggung beban kolom.
- b) Fondasi sumbu merupakan fondasi yang dipakai untuk menyanggah struktur dinding yang panjang atau mendukung dinding kolom yang terdapat berdekatan, sehingga jika menggunakan fondasi tiapak, tiang-tiangnya akan berantakan satu sama lain.
- c) Fondasi rakit adalah jenis fondasi yang digunakan untuk mendukung bangunan di atas tanah yang berair atau dipakai ketika kolom-kolom diturunkan sangat dekat satu sama lain, sehingga jika menggunakan fondasi tiapak, tiang-tiang akan berantakan.
- d) Fondasi sumbu atau tiang, yang merupakan pemindahan semua fondasi dangkal dan tiang, digunakan ketika lapisan tanah yang kuat berada pada kedalaman yang cukup dalam.



**Gambar 3.1** Macam – macam Fondasi (a) Fondasi tiang pancang, (b) Fondasi telapak, (c) Fondasi titik, (d) Fondasi sumbu, (e) Fondasi tiang

Sumber: (Dharmawan, 2013)

### 3.1.7. Fungsi Fondasi Tiang Pancang

Menurut Haidhyaturo (2018), tiang fondasi dimanfaatkan untuk berbagai tujuan, antara lain:

- 1) Untuk menyebarkan beban struktur yang berada di atas area air atau tanah yang tidak stabil, seperti lapisan tanah yang lebih lunak.
- 2) Untuk memindahkan beban ke lapisan tanah yang semakin dalam hingga ke kedalaman tertentu, sehingga pondasi bangunan dapat memberikan dukungan yang memadai melalui interaksi gesek tiang dengan tanah di sekitarnya.
- 3) Untuk menstabilkan struktur yang terpengaruh oleh fenomena anggot akibat tekanan air atau gerakan gelombang.
- 4) Untuk menahan gaya-gaya horizontal dan gaya yang memiliki arah miring.
- 5) Untuk menyebarkan beban terpusat, sehingga daya dukung tanah tersebut meningkat.
- 6) Untuk memberikan dukungan pada fondasi bangunan yang berada di area permukaan tanah yang terus menerus mengalami erosi.



#### 6. Tang Kerasot

Beberapa kombinasi bahan tang panjang ada tang bor dengan tang panjang dapat digunakan untuk mengatasi masalah - masalah pada kondisi tertentu.

### 3.1.9. Alat Pemang

Ada tiga tipe alat pemang yang dapat dipakai untuk memanaskan tang panjang. Namun, beberapa tipe alat tersebut kini jarang digunakan untuk memanaskan tang panjang beton. Contohnya adalah palu sap tunggal, palu sap ganda, dan palu sap differential yang kini dipakai dengan mempertimbangan aspek keamanan dan kemudahan penggunaannya. Selain itu, karena besarnya kebutuhan generator mesin sap ada atau yang perlu disediakan di setiap lokasi. Alat tersebut terutama digunakan dalam proses pemasangan tang tubung baja dan dinding penahan. Demikian pula palu jangk yang memiliki tiga pukulan rendah sehingga tidak akan digunakan kecuali untuk sejumlah tang yang terbatas. Di samping itu palu jangk ideal untuk proyek yang terpecah, jumlah tang yang sedikit, serta waktu penyelesaian bukanlah faktor utama. Berikut adalah beberapa tipe alat pemang yang sering dipakai:

#### 1) Palu jangk

Palu jangk terdiri dari blok pembuat yang dipukulkan dari atas. *Porter* ini dianggap sangat terjangkau untuk dan kemudian digunakan hingga menghancurkan tang. Pemukul (palu) diarah ke atas menggunakan kabel dengan drum hingga mencapai ketinggian jangk yang diinginkan, lalu pemukul tersebut jatuh bebas menuju kepala tang panjang. Untuk mencapai kecepatan akibat gravitasi ini, di kepala tang dipasang semacam tali atau penutup sebagai penahan energi atau *shock absorber*. Energi akan menarik palu jangk bisa berasal dari motor atau mesin sap. Palu palu jangk yang diarah oleh motor, ketinggian jatuhnya berkisar antara 1 hingga 1,5 meter, dengan frekuensi pukulan mencapai 4 kali per menit, dan penyusutan setelah 30 kali pukulan. Sementara, palu jangk yang diarah oleh mesin sap juga memiliki ketinggian jangk yang sama, yakni antara 1 hingga 1,5 meter.

#### 2) *Drum hammer*

Memiliki mobilitas tinggi, ketahanan bahan bakar rendah, efisien dipindahkan pada site mudah, bebannya ringan, dan dimensinya kecil. Dapat digunakan dengan baik pada tanah keras/ atau lapisan sangat padat dan tidak dapat dipisahkan dengan baik pada tanah lunak. *Drum hammer* merupakan

pengembangan dari *steam hammer*, sebagai pengganti hammer adalah campuran gas dan cairan. *Special diesel hammer* adalah:

- a. Berat hammer 1,5 sampai dengan 2,5 ton
- b. Tinggi jatuh 0,9 sampai dengan 1 meter
- c. Frekuensi pukulan 40 sampai dengan 50 kali per menit
- d. Kalendring setiap 10 kali pukulan

#### 2) *Vibrator Motor*

Alat ini terdiri dari tung dengan giras sehingga dapat menggetarkan giras pemampatan, menggetarkan kelengkapan, dan mempunyai kemampuan perataan yang bagus. Alat ini baik digunakan pada tanah run leherif, agar bagian pada tanah berlonjong dan beraturan. Secara khusus efektif digunakan pada tanah run leherif jenis air dan baik digunakan pada tanah pasir kering atau tanah tanah leherif yang tidak mempunyai getaran. (Gitaris yang dibangkitkan untuk memampatkan pasir yang berjenis arena (200 VPM s.d 2400 VPM (vibrasi per menit)).

#### 4) *Hydraulic Jacking-In Pile*

Menggunakan Teknik menggunakan dan mendaki atas rumah, setelah kelengkapan dan giras. Selain itu sangat cocok digunakan di area yang terbatas ruang geraknya. Penggunaan sangat lebih efisien dan *single, double, differential, swing, dan diesel hammer*. Cara kerja *Hydraulic Jacking-In Pile*:

- a. Tiang pancang diangkat dan dimasukkan perlahan ke dalam lubang tung yang disebut *grip*, kemudian sistem *jack-in* akan naik dan mengikat atas menegangi tiang tersebut. Ketika tiang sudah ditegang oleh *grip*, maka tiang mulai ditahan.
- b. Alat ini memiliki ruang kontrol kabin yang dilengkapi dengan *oil pressure* atau *hydraulic* yang mempunyai *pila pressure* yang kemudian akan di konversikan ke *pressure force* dengan menggunakan tabel yang sudah ada.
- c. Jika *grip* hanya mampu menahan tiang pancang sampai bagian pengkil lubang mesin saja, maka pembebanan diberikan dan *grip* bergerak naik keatas untuk mengontrol tiang pancang selanjutnya yang telah disuplai.
- d. Tiang pancang selanjutnya kemudian diangkat dan dimasukkan ke dalam *grip*. Setelah itu sistem *jack-in* akan naik dan mengikat atas menegangi tiang tersebut. Ketika tiang sudah ditegang oleh *grip*, maka tiang mulai ditahan kemudian tiang pancang diberes.

6. Perakitan dilakukan sejajar satu bidang yang sudah ditentukan. Hal ini dilakukan guna mempermudah penyambungan ke dan yang panjang dengan cara pengelasan.
7. Untuk menyambung tang pertama dan tang kedua digunakan sistem pengelasan. Agar proses pengelasan berlangsung dengan baik dan sempurna, maka ke dua ujung tang panjang diberi plat besi besar – besar tanpa rangka. Pengelasan harus dilakukan dengan teliti karena kecerobohan dapat berakibat fatal, yaitu bahan tidak terlas sempurna. Apabila sudah perakitan tang panjang dapat dilanjutkan, demikian seterusnya.

### 3.1.10. Langkah – Langkah dalam Perancangan Foudeni Tang Panjang

Pada prinsipnya, dalam perancangan fondasi tang panjang secara umum dapat dilakukan dengan cara berikut:

- 1) Menghitung daya dukung tanah dasar bangunan dan menghitung beban yang bekerja struktur atas bangunan kelas fondasi.
- 2) Menghitung daya dukung ini fondasi (q<sub>d</sub>) untuk satu tang, yang bekerja pada arah gaya tekan atau tarik tang dengan arah vertikal atau horizontal.
- 3) Setelah mendapatkan daya dukung ini untuk satu tang, maka daya dukung seluruh tang harus diperiksa. Daya gesek pada dinding tang adalah daya dukung yang diberikan untuk fondasi tang.
- 4) Berdasarkan ukuran dan jumlah tang yang diperkirakan semula, beban – beban yang bekerja pada masing – masing tang dapat dihitung dan kemudian diperiksa apakah beban ini masih termasuk dalam batas daya dukung yang diperkirakan. Jika melampaui daya dukung yang diberikan, perlakuan tumpang tindih, jumlah tang dan ukuran tang harus diganti.
- 5) Jika detail perancangan telah tang telah selesai, rencana harus diperiksa berdasarkan rasio pada kepala tang.
- 6) Hal – hal yang berkaitan dengan bangunan yang khusus, misalnya pengisian (*reaming*) kepala tang atau penarikan alat penghubung (*snagging*) dapat dituangkan selanjutnya.

#### 3.1.11. Basi Torsi Perangkai Lensa Fleksi

Planis 3D adalah software yang digunakan untuk spesifik untuk merencanakan ruang pada 3d di bidang geometrik. Ruang yang dirangkai tersebut adalah profil analisis perilaku tanah dan struktur di bawah beban. Perangkat lunak ini

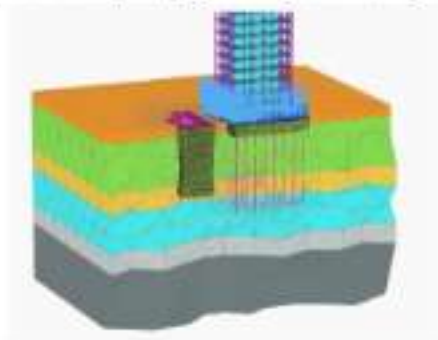
mempertimbangkan untuk membuat sebuah perencanaan yang lebih tepat, akurat, dan aman dalam tiap proyek rekayasa sipil yang mereka bangun. Contohnya seperti fondasi bangunan, dinding penahan, tanggul sungai, *basement*, dan lain-lain.

Plaxis 3D dirancang untuk memiliki keakuratan dalam memodelkan tanah dan struktur dalam bentuk tiga dimensi. Keunggulan tersebut dapat memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan software perisidatis dua dimensi yang biasa lebih sederhana. Adanya kemampuan menampilkan bentuk tiga dimensi tersebut, membuat proses permasalahan geoteknik yang bisa saja muncul dapat diidentifikasi secara komprehensif dan diselesaikan dengan cepat.

Model Mohr-Coulomb adalah model elastis – plastis yang terdiri dari lima buah parameter, yaitu  $E$  dan  $\nu$  untuk memodelkan elastisitas tanah,  $\phi$  dan  $c$  untuk memodelkan plastisitas tanah dan  $\psi$  sebagai sudut dilatensi.

Model Mohr-Coulomb merupakan suatu pendekatan “orde pertama” dari perilaku tanah atau batuan. Model ini disarankan untuk digunakan dalam analisis awal dari masalah yang dihadapi. Setiap lapisan dimodelkan dengan sebuah nilai kekuatan tarik = nilai yang konstan (Bissegger, 2007).

Di samping model Mohr-Coulomb, plaxis menawarkan berbagai permasalahan tanah lebih maju. Termasuk sebuah model anisotropis yang umum, yaitu model elastoplastis dan model hiperbolik, yang di sebut sebagai ‘model *Hardening Soil*’.



Gambar 2.3 Prinsip PLAXIS 3D

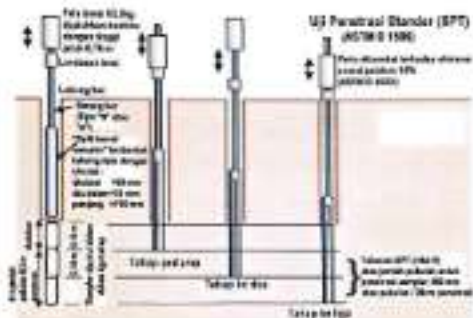
Sumber: PLAXIS 3D Bentley.com, 2021

## 3.2. Landasan Teori

### 3.2.1. Uji Penetrasi Standar (SPT)

Uji penetrasi standar (SPT) merupakan salah satu pengujian tanah lapangan yang dilakukan untuk memperoleh parameter fisik maupun behavior tanah. Pada uji SPT akan diperoleh sampel tanah pengujian tanah dan juga nilai  $N$ . Nilai  $N$  merupakan jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk penetrasi tiang belah standar sedalam 30,48 cm (Hardyatussalam, 2017). Pada perencanaan fondasi, nilai  $N$  dapat dipakai sebagai indikasi kemampuan model keruntuhan fondasi yang akan terjadi (Terzaghi dan Peck, 1948).

Data hasil uji SPT yang diperoleh merupakan data primer yang akan dipertanyakan menjadi profil jenis tanah dan kemudian dapat diturunkan parameter Kapaditas Relatif ( $R_f$ ), Modulus Elastisitas ( $E$ ) untuk tanah berpasir, dan Indeks Konsistensi ( $CI$ ) untuk tanah liyang untuk menghasilkan grafik dan tabel  $\rightarrow$  tabel yang diperoleh berasal dari studi literatur.



Gambar 3.4 Skema Urutan Uji Penetrasi Standar (SNI 4133:2010)

Sumber: Kumpulan Kertas Parameter Geoteknik dan Fondasi 2009

#### (i) Koneksi $N$ -SPT dengan Kapaditas Relatif (Dry Tanah Pasir)

Terzaghi dan Peck (1967) memberikan hubungan koefisien hubungan antara nilai  $N$ -SPT dengan kapasitas relatif pada tanah pasir pada Tabel 3.1. Housel (1907) juga menghasilkan nilai empiris antara nilai  $N$ -SPT hubungan dengan kapasitas relatif, sudut geser dalam serta berat volume pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.1** Deretgo Kualitas Kapasitas Relatif Tanah Pasir (Grazzaghi dan Peck, 1967)

| N-SPT    | Kategori Relatif, Dr |
|----------|----------------------|
| 0 - 4    | Sangat Lemah         |
| 4 - 10   | Lemah                |
| 10 - 30  | Menengah             |
| 30 - 50  | Padat                |
| Dasar 50 | Sangat Padat         |

Sumber: Kumpulan Rumus Parameter Geoteknik dan Pondasi, 2019

**Tabel 3.2** Hubungan antara Parameter Tanah untuk Tanah Pasir (Terzaghi, 1962)

| Kondisi Kapadatan            | Relative Density (Kapadatan Relatif) $K_d$ | Perkiraan Marga N-SPT | Perkiraan Marga $\phi$ ( $^\circ$ ) | Perkiraan Berat Volume Jenuh, $\gamma_{sat}$ ( $kN/m^3$ ) |
|------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Very Loose (Sangat Ringgung) | 0% - 15%                                   | 0 - 4                 | 0 - 24                              | < 1,40                                                    |
| Loose (Ringgung)             | 14% - 35%                                  | 4 - 10                | 25 - 30                             | 1,50 - 2,0                                                |
| Medium (Menengah)            | 35% - 65%                                  | 10 - 30               | 30 - 36                             | 1,75 - 2,10                                               |
| Dense (Rapat)                | 65% - 85%                                  | 30 - 50               | 36 - 41                             | 1,75 - 2,25                                               |
| Very Dense (Sangat Rapat)    | 85% - 100%                                 | > 50                  | 41*                                 |                                                           |

\*Geddes dan Martin (2000)

- 2) Korelasi N-SPT dengan koefisien *andresen* ( $C_u$ ) untuk tanah Lempung

Brady dan Varza (1978) memberikan korelasi antara Indeks Konsistensi ( $C_u$ ),  $N$  dan  $C_u$  pada **Tabel 3.3**

**Tabel 3.3** Kandungan unsur Cl, S, dan Cu (Kondry dan Vargas, 1978)

| N       | Cl         | Kontaminasi        | Cu (gN/m <sup>2</sup> ) |
|---------|------------|--------------------|-------------------------|
| <2      | <0,5       | Sangat<br>Lemah    | <12,5                   |
| 2 - 8   | 0,5 - 0,75 | Lemah ke<br>Sedang | 12,5 - 40               |
| 8 - 15  | 0,75 - 1,0 | Kata               | 40 - 75                 |
| 15 - 30 | 1,0 - 1,5  | Sangat<br>Kata     | 75 - 200                |
| >30     | >1,5       | Keras              | >200                    |

Sumber: Kelompok Kerja Perairan Cangklok dan Perairan, 2019

### 3) Kandungan Terhadap Angka Polusi

**Tabel 3.4** Angka Polusi untuk Berbagai Jenis Tanah

| Material                                  | Angka Pendek | Angka Panjang |
|-------------------------------------------|--------------|---------------|
| Pasir, kerikil, dan tanah non-kohesi?     | 0,3          | 0,3           |
| Tanah dengan PI rendah (PI < 12%)         | 0,35         | 0,25          |
| Tanah dengan PI menengah (12% < PI < 22%) | 0,4          | 0,3           |
| Tanah dengan PI tinggi (22% < PI < 32%)   | 0,45         | 0,35          |
| Tanah dengan PI sangat tinggi (PI > 32%)  | 0,45         | 0,4           |

Sumber: National Fire and Protection Association (Distribution of Firearm Incidents, 1999)

### 4) Kandungan Terhadap Modulus Elastisitas

**Tabel 3.5** Parameter fisika dari Berbagai Jenis Tanah

| Tipe        | Deskripsi    | Modulus Elastisitas, E (Mpa) |                |
|-------------|--------------|------------------------------|----------------|
|             |              | Jangka Pendek                | Jangka Panjang |
| Pasir halus | Lepas        | 5 - 10                       |                |
|             | Medan        | 10 - 25                      |                |
|             | Padat        | 25 - 50                      |                |
| Lempung     | Lemah        | < 10                         | < 8            |
|             | Kata         | 10 - 20                      | 8 - 15         |
|             | Keras        | > 20                         | > 15           |
| Lempung     | Sangat Lemah | < 3                          | < 2            |
|             | Lemah        | 3 - 7                        | 2 - 5          |
|             | Medan        | 8 - 12                       | 4 - 8          |
|             | Kata         | 10 - 25                      | 7 - 20         |
|             | Sangat Kata  | 25 - 50                      | 15 - 35        |
|             | Keras        | 40 - 80                      | 30 - 60        |

Sumber: Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables (Ladd, 2007)

### 3.2.2. Berat Isi ( $\gamma$ )

Berat isi adalah perbandingan antara berat sampel dengan volume, biasanya dalam satuan  $\text{K}/\text{m}^3$ . Berat ini adalah tabel isi kering ( $\gamma_d$ ) untuk beberapa material tanah dalam kondisi alam.

Moore dan Wightman (2006) untuk menentukan nilai berat isi jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) dan berat isi basah ( $\gamma_b$ ) dapat menggunakan persamaan:

$$\gamma_{sat} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e} \quad (3.1)$$

$$\gamma_b = \frac{G_s \gamma_w (1 + w)}{1 + e} \quad (3.2)$$

Keterangan:

$\gamma_{sat}$  = Berat isi jenuh ( $\text{K}/\text{m}^3$ )

$\gamma_w$  = Berat isi air ( $\text{K}/\text{m}^3$ )

$\gamma_b$  = Berat isi basah ( $\text{K}/\text{m}^3$ )

$G_s$  = Berat jenis

$w$  = Kadar air (%)

$e$  = Angkarpori

### 3.2.3. Sudut Gesek ( $\phi$ )

Sudut gesek merupakan nilai yang diperoleh dari percobaan gesek langsung (*direct shear test*) atau triaksial (*triaxial test*).

Mayne (1999) mengasalkan sudut gesek dalam  $\phi$  tanah pasir yang didasarkan pada beberapa pengamatan lapangan, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3.6 pengamatan ini didasarkan pada beberapa metode gesek langsung, kapasitas relatif dan hasil dari pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) dan tambahan kerucut statis atau Semati.

Tabel 3.6 Nilai nilai Kaprovenit Sudut Gesek Tanah,  $\phi$

| Kondisi            | Kerapatan Relatif ( $D_r$ ) | Nilai SPT (N) | Nilai modulus kerucut statis (modul) ( $qc$ ) ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) | Sudut gesek dalam ( $\phi$ ) |
|--------------------|-----------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Sangat tidak Padat | < 0,2                       | < 4           | < 20                                                                      | < 10°                        |
| Tidak padat        | 0,2 - 0,4                   | 4 - 10        | 20 - 40                                                                   | 10° - 30°                    |
| Agak padat         | 0,4 - 0,6                   | 10 - 30       | 40 - 120                                                                  | 30° - 40°                    |
| Padat              | 0,6 - 0,8                   | 30 - 50       | 120 - 200                                                                 | 40° - 45°                    |
| Sangat padat       | > 0,8                       | > 50          | > 200                                                                     | > 45°                        |

Sumber: Hidayatun, 2012

### 3.2.4. Kohesi (c)

Kohesi adalah gaya tarik normal antara partikel dalam tanah, dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Nilai Kohesi (c) diperoleh dari pengujian laboratorium yaitu Pengujian Kisi Geser Langsung (*Direct Shear Strength Test*) dan Pengujian Triaxial (*Triaxial Test*). Kohesi merupakan parameter kisi geser tanah yang menentukan tahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa Gerakan lateral tanah.

### 3.2.5. Parameter PLAXIS

Pemodelan tanah yang PLAXIS digunakan Model Mohr-Coulomb (MC). Dalam Model Mohr-Coulomb membutuhkan beberapa parameter tanah terdiri dari lima buah parameter, yaitu  $\phi$ ,  $\psi$ ,  $q$ ,  $c$  dan  $\nu$ , selain parameter tersebut ada juga parameter lain yang dimasukkan yaitu sebagai berikut:

#### 1) Parameter Kekakuan Tanah

Parameter kekakuan untuk tanah elastis linear digunakan Model Mohr-Coulomb.

#### 2) Tetapan Shear

Dalam suatu analisis dengan PLAXIS, tegangan awal ini perlu dihitung terlebih dahulu oleh pengguna. Terdapat dua hasil pertimbangan untuk menentukan tegangan.

##### a. $P_{vertical} = K_v \cdot \sigma_v$

Penyesuaian/perbedaan tegangan awal saat proses input dibutuhkan untuk mendapatkan koefisien tekanan tanah arah lateral,  $K_v$ .

Dalam praktik, nilai  $K_v$  untuk tanah terkonsolidasi relatif seragam, dan diberikan berdasarkan hubungan langsung dengan sudut geser dengan persamaan empiris berikut:

$$K_v = 1 - 45 \phi \quad (3.3)$$

Pada tanah yang terkonsolidasi berlebih (*over-consolidated*)  $K_v$  umumnya lebih tinggi dari nilai yang diberikan oleh persamaan ini.

##### b. *Gravity Loading*

Itu digunakan prosedur perhitungan *gravity/gravity loading*, maka tegangan awal (yaitu tegangan yang diberikan pada tahap awal/*initial phase*) adalah nol. Tegangan awal kemudian dihitung dengan memodelkan berat sendiri tanah dalam tahap perhitungan pertama. Saat menggunakan

tanah plastis – seperti seperti model *Moisture Content*, nilai lebih dari  $w_L$ , sangat tergantung pada ukuran dari angka *poisson*.

#### b) Permodelan Undrained

Dalam kondisi undrained, tidak terjadi ada pergerakan air sehingga menimbulkan tekanan air pori berlebih tertimbak. Analisis *undrained* adalah seperti jika:

- a. Permeabilitas adalah nilai jika permeabilitas tinggi.
- b. Perilaku jangka pendek harus ditinjau.

Sistem permodelan yang berbeda dimungkinkan dalam PLAXIS untuk memodelkan perilaku tanah *undrained*. Pada tingkat bahwa dalam analisis tak-terdrainase pada perangkat lunak PLAXIS, angka poisson yang dimasukkan adalah tetap angka poisson untuk analisis jangka panjang. Hal ini dikarenakan perangkat lunak PLAXIS sendiri yang akan mengkonversikanya agar sesuai dengan analisis tak-terdrainase.

Untuk tanah lempung dengan kondisi tak terdrainase, angka poisson yang digunakan pada perangkat lunak PLAXIS harus kurang dari atau sama dengan 0,25. Apabila angka poisson yang lebih besar dari 0,25 digunakan, maka terpacitlah kondisi dimana air tidak cukup bisa mengalir melalui kerangka tanah.

Sama seperti pada angka poisson, pada juga dapat bahwa dalam analisis tak-terdrainase pada perangkat lunak PLAXIS, modulus elastisitas yang dimasukkan adalah modulus elastisitas untuk analisis jangka panjang.

### 3.2.6. Pembebanan

(Ceng, 2004; dan, 2010) Dalam perancangan struktur pembebanan, salah satu aspek penting yang harus dianalisis adalah pembebanan yang bekerja pada elemen-elemen struktur seperti dinding, dinding penahan tanah, tangkai penyangga, dan platform pembebanan. Beban yang terjadi di pembebanan secara umum dapat diklasifikasikan menjadi beban mati, beban hidup, beban lingkungan, dan beban dinamis dari aktivitas operasional pembebanan.

#### 1) Beban mati

Beban mati merupakan beban permanen yang berasal dari berat sendiri struktur seperti slab beton, balok, tiang, dan elemen konstruksi lainnya yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari konstruksi itu.

#### 2) Beban hidup

Beban hidup pada pelat beton berasal dari aktivitas pelat beton seperti kendaraan berat, alat berat (*heavy machinery*), serta beban dari muatan kendaraan atau barang yang diturunkan dan diangkat. Beban hidup ini bersifat total tetap dan sangat bergantung pada jenis pelat beton (largo, menengah, peti kecil) serta tata letak operasi di atas dermaga.

3) Beban Lingkungan (*Environmental Loads*)

Beban lingkungan yang meliputi beban gelombang, angin laut, angin, dan pasang surut. Beban gelombang dapat menghasilkan tekanan lateral pada dinding dermaga dan gaya dinamis pada struktur kapal pantai. Beban angin laut dan pasang surut dapat menyebabkan gaya geser dan gaya angkat pada struktur bawah air. Pada struktur tang perantara, beban lateral dari gelombang dan arus menjadi sangat penting untuk dianalisis karena mempengaruhi kestabilan struktur dan kapasitas lateral tang.

4) Beban Dinamis

Beban dinamis juga termasuk dalam permasalahan pelat beton, khususnya akibat manuver kapal yang berakumulasi atau bertabrakan dengan dermaga. Beban dari gaya tumbuk dan gaya tarikan (*berthing and mooring forces*) harus diperhitungkan sesuai dengan sistem kapal pelat beton yang akan menggunakan pelat beton tersebut. Menurut PIANC (*Permanent International Association of Navigation Congresses*), standar beban tarikan kapal tergantung pada displacement kapal, kecepatan beranda, serta sistem fender yang digunakan.

5) Beban gempa

Gempa bumi terdiri dari gerakan – gerakan lapisan bumi ke arah horizontal dan vertikal, dimana besarnya gerakan vertikalnya lebih kecil, sehingga pengaruh komposisi vertikal dan gerakan gempa bumi tidak perlu dirincas. Pengaruh beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019, *Tetapan Analisis Respon Spektrum* sesuai Kurva SNI Gempa 1726:2019 adalah sebagai berikut:

a) Tentukan kategori risiko bangunan gedung

Menentukan kategori bangunan gedung sesuai jenis pemanfaatan bangunannya berdasarkan **Tabel 2.7**



Lejurnal Tabel 3.7 Kategori risiko bangunan gedung dan anugrah untuk kelas gempa

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <p>jenis bangunan lainnya memiliki nilai batas yang diberikan oleh peraturan yang bersangkutan yang harus ditetapkan bahwa bagi bangunan jika terjadi bencana.</p> <p>Gedung dan anugrah yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, namun, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan bangunan non-arsip</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan</li> <li>- Rumah sakit</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas Kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pelayanan kesehatan, ambulasi, dan kamar poliklinik serta gawat darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin topan, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas busway darurat, komersial, pusat operasi dan fasilitas lainnya yang tanggap darurat</li> <li>- Pusat pemerintahan energi dan fasilitas publik lainnya yang disediakan pada saat keadaan darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk tangga tambahan, tangga penyelamatan dalam bahaya, tangga penyalang, struktur mesin listrik, tangga air pemadam kebakaran atau struktur tangga atau struktur penyalang air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disediakan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan anugrah yang disediakan untuk memperlakukan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV</p> | IV |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

Sumber: SNI 1726:2010, 2018

- 18) Tentukan faktor ketahanan gempa (lihat Tabel 3.8)

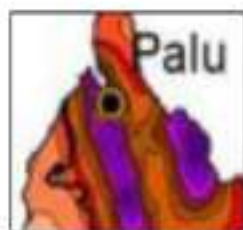
**Tabel 3.8** Faktor Ketahanan Gempa.

| Kategori Risiko | Faktor Ketahanan Gempa, $I_e$ |
|-----------------|-------------------------------|
| I (atau II)     | 1,0                           |
| III             | 1,25                          |
| IV              | 1,5                           |

- 19) Tentukan Parameter Partisipasi Tanah ( $S_s$  dan  $S_1$ )

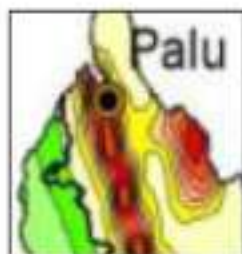
Peta Respon Spektrum dengan periode 0,2 detik ( $S_s$ ) dan periode 1 detik.

- ( $S_1$ ) dapat dilihat pada Gambar 3.5 dan Gambar 3.6



**Gambar 3.5** Respons percepatan gempa di bagian dasar untuk periode pendek (0,2detik)

**Sumber:** Peta Sumber dan Bahaya Gempa Bumi Indonesia Tahun 2007



**Gambar 3.6** Respons percepatan gempa di bagian dasar untuk periode 1 detik

**Sumber:** Peta Sumber dan Bahaya Gempa Bumi Indonesia Tahun 2007

di) Tindakan klasifikasi situs ( $N_A - 50\%$ )

Moment 596, 1728-2019 untuk mendapatkan percepatan maksimum dan rasio spektral digunakan untuk desain lokasi bangunan, terlebih dahulu

perlu dilakukan klasifikasi atas jenis tanah). Klasifikasi atas harus didasarkan untuk lapisan setebal 30 m yang dibatasi oleh kondisi hasil penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium. Diberikan untuk menggunakan setidaknya 2 data jenis penyelidikan tanah yang berbeda dalam klasifikasi atas ya. Nilai klasifikasi atas dapat dilihat pada **Tabel 3.9**.

**Tabel 3.9** Klasifikasi Atas

| Kelas atas                                                                                                     | $C_u$ (kg/detik)                                                                                                                                                                                                                                                                              | $P_{max}/Q_u$ | $S_u$ kPa     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|
| <b>24</b> (tanah lempung)                                                                                      | $> 1500$                                                                                                                                                                                                                                                                                      | N/A           | N/A           |
| <b>25</b> (tanah)                                                                                              | 250 sampai<br>1500                                                                                                                                                                                                                                                                            | N/A           | N/A           |
| <b>26</b> (tanah lempung, sangat pekat dan sangat lemas)                                                       | 150 sampai<br>750                                                                                                                                                                                                                                                                             | $< 10$        | $\geq 100$    |
| <b>27</b> (tanah lempung)                                                                                      | 175 sampai<br>350                                                                                                                                                                                                                                                                             | 15 sampai 30  | 50 sampai 100 |
| <b>28</b> (tanah lemas)                                                                                        | $< 175$                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $< 15$        | $< 50$        |
|                                                                                                                | Atas setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 5 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:<br>1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ .<br>2. Rasio air, $w \geq 740\%$ .<br>3. Nilai gesek efektif $S_u < 25$ kPa                                                                          |               |               |
| <b>29</b> (tanah lemas, yang menunjukkan perilaku gesekan negatif dan analisis respon dinamis yang signifikan) | Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:<br>- Rumus dan hubungan gagal atau rumus akibat beban gesek menunjukkan klasifikasi, lumpur sangat lemas, tanah memutar, lemas<br>- Lumpuran sangat organik dan atau gembur (kondisi $PI > 100$ ) |               |               |

Sumber: SNI 1726:2019, 2019

- a) Tentukan faktor koefisien atas ( $F_a$ ,  $F_v$ )

Menurut SNI 1726:2019 untuk penentuan respon spektral percepatan gempa MCEK di permukaan tanah, diberikan suatu faktor amplifikasi untuk jeda periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi untuk percepatan yang mewakili getaran 1 detik ( $F_v$ ). Koefisien atas  $F_a$  dapat dilihat pada **Tabel 3.10**.

Tabel 3.10 Koefisien  $\alpha$  dan  $F_a$ 

| KELAS<br>SIKUS | PARAMETER RESPONS SPECTRAL<br>PERCEPATAN GEMPA (SIKUS) TERPETAJAN<br>PADA PERIODE PENDEK, $T=0.1$ DETIK, $\alpha$ |             |              |             |              |              |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
|                | $S_I \leq 0.25$                                                                                                   | $S_I = 0.5$ | $S_I = 0.75$ | $S_I = 1.0$ | $S_I = 1.25$ | $S_I \geq 2$ |
| SA             | 0.3                                                                                                               | 0.3         | 0.3          | 0.3         | 0.3          | 0.3          |
| SB             | 0.9                                                                                                               | 0.9         | 0.9          | 0.9         | 0.9          | 0.9          |
| SC             | 1.3                                                                                                               | 1.3         | 1.2          | 1.2         | 1.2          | 1.1          |
| SD             | 1.6                                                                                                               | 1.4         | 1.2          | 1.1         | 1            | 1            |
| SE             | 1.4                                                                                                               | 1.7         | 1.1          | 1.1         | 0.9          | 0.8          |
| SF             | 22 <sup>nd</sup>                                                                                                  |             |              |             |              |              |

Sumber: SNI 1726:2019, 2019

Reduksikan faktor amplifikasi yang terkait percepatan yang memiliki periode pendek ( $F_a$ ) dapat dilihat pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11 Koefisien  $\alpha$  dan  $F_b$ 

| KELAS<br>SIKUS | PARAMETER RESPONS SPECTRAL<br>PERCEPATAN GEMPA (SIKUS) TERPETAJAN<br>PADA PERIODE PENDEK, $T=0.1$ DETIK, $\alpha$ |             |             |             |             |                |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
|                | $S_I \leq 0.1$                                                                                                    | $S_I = 0.2$ | $S_I = 0.3$ | $S_I = 0.4$ | $S_I = 0.5$ | $S_I \geq 0.8$ |
| SA             | 0.8                                                                                                               | 0.8         | 0.8         | 0.8         | 0.8         | 0.8            |
| SB             | 0.8                                                                                                               | 0.8         | 0.8         | 0.8         | 0.8         | 0.8            |
| SC             | 1.5                                                                                                               | 1.3         | 1.5         | 1.5         | 1.3         | 1.4            |
| SD             | 2.4                                                                                                               | 1.2         | 1           | 1.2         | 1.3         | 1.7            |
| SE             | 4.2                                                                                                               | 3.3         | 2.3         | 2.4         | 1.2         | 1              |
| SF             | 22 <sup>nd</sup>                                                                                                  |             |             |             |             |                |

Sumber: SNI 1726:2019, 2019

f) Hitung Parameter percepatan desain ( $S_{DS}$ ,  $S_{D1}$ )

Moment SNI 1726:2019 parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek,  $S_{DS}$  dan pada periode 1 detik,  $S_{D1}$  harus ditentukan melalui persamaan berikut ini:

$$S_{DS} = F_a \cdot Z_a \quad (3.4)$$

$$S_{D1} = F_v \cdot Z \quad (3.5)$$

$$S_{DS} = \frac{1}{2} S_{DS1} \quad (3.6)$$

$$S_{D1} = \frac{1}{2} S_{D11} \quad (3.7)$$

g) Menentukan kategori desain seismik

Menurut SNI 1726:2019 struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang ditetapkan berdasarkan kategori risikonya dan parameter respon spektral percepatan desainya,  $S_{DS}$  dan  $S_{Eh}$ . Berikut ini nilai kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode pendek dapat dilihat pada Tabel 3.12.

**Tabel 3.12** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode pendek

| Nilai $S_{DS}$             | Kategori risiko    |    |
|----------------------------|--------------------|----|
|                            | I atau II atau III | IV |
| $S_{DS} < 0,167$           | A                  | A  |
| $0,167 \leq S_{DS} < 0,33$ | B                  | C  |
| $0,33 \leq S_{DS} < 0,66$  | C                  | D  |
| $S_{DS} \geq 0,66$         | D                  | D  |

Sumber: SNI 1726:2019, 2019

Sehingga berdasarkan  $S_{DS}$  struktur juga ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang ditetapkan berdasarkan SDC. Berikut ini nilai kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode 1 detik dapat dilihat pada Tabel 3.13.

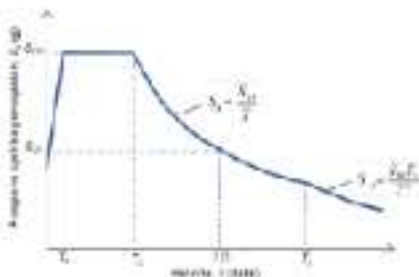
**Tabel 3.13** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode 1 detik

| Nilai $S_{DS}$             | Kategori risiko    |    |
|----------------------------|--------------------|----|
|                            | I atau II atau III | IV |
| $S_{DS} < 0,167$           | A                  | A  |
| $0,167 \leq S_{DS} < 0,33$ | B                  | C  |
| $0,33 \leq S_{DS} < 0,66$  | C                  | D  |
| $S_{DS} \geq 0,66$         | D                  | D  |

Sumber: SNI 1726:2019, 2019

h) Menentukan Spektrum Respon Desain

Respon spektrum adalah nilai yang menggambarkan respon maksimum dari sistem derajat kebebasan tunggal (SDOF) pada berbagai frekuensi alami (periode alami) terhadap akibat suatu guncangan tanah. Untuk kebutuhan praktis, maka respon spektrum percepatan dibuat dalam bentuk respon spektrum yang sudah dinormalisasikan.



**Gambar 3.7** Spektrum Respon Desain  
**Asas:** SNI 1726:2019, 2019

- ✓ Untuk periode lebih kecil dari  $T_u$ , respon spektra percepatan,  $S_d$  didapatkan dari persamaan berikut:

$$S_d = SDS \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_u} \right) \quad (3.7)$$

- ✓ Untuk periode lebih besar atau sama dengan  $T_u$  dan lebih kecil atau sama dengan  $T_s$ , respon spektra percepatan,  $S_d$  adalah sama dengan  $SDS$ .

- ✓ Untuk periode lebih besar dari  $T_s$  respon spektra,  $S_d$  didapat dari persamaan berikut:

$$S_d = \frac{SDS}{\gamma} \quad (3.8)$$

Dengan:

$$T_u = 0,2 T_s \quad (3.9)$$

$$T_s = \frac{SDS}{SDS} \quad (3.10)$$

#### g) Perhitungan sistem struktur

Menurut SNI 1726:2019 sistem peralihan gaya gempa vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan dalam **Tabel 3.7**, pembagian setiap tipe berdasarkan pada elemen vertikal yang digunakan untuk transfer gaya gempa lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan lintasan sistem struktur dan lintasan ketangguhan struktur yang ditunjukkan dalam **Tabel 3.8**. Koefisien modifikasi respon yang sesuai,  $R$ , faktor kuat lebih sistem,  $DS$ , dan koefisien aplikasi defleksi,  $CD$ , harus digunakan dalam persamaan gaya

dasar, gaya dalam elemen, dan simpangan antar lantai. Tingkat desain.

6) **Beban Lateral**

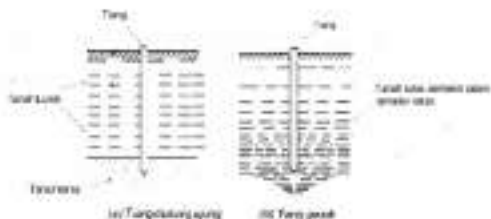
Beban lateral pada fondasi tiang pancang adalah beban yang bekerja secara horizontal pada tiang pancang, yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti:

- Angin: Beban lateral akibat tekanan angin pada struktur di atas permukaan tanah, seperti bangunan atau dermaga.
- Gelombang dan Arus: Di perairan, beban lateral juga dapat berasal dari gelombang laut dan arus yang dapat memberikan tekanan horizontal pada tiang pancang.
- Gempa dan Guncap: Beban lateral dapat terjadi akibat gempa dari aktivitas seismik atau guncan dari kendaraan dan peralatan berat yang beroperasi di dekatnya.
- Medan Magnetis: Beban yang disebabkan oleh pergerakan kendaraan, crane, dan peralatan lain yang beroperasi di atas dermaga.
- Jalar: Semua beban yang bekerja pada suatu gubung atau bagian gubung yang disebabkan oleh adanya dalam sistem akan.

### 3.2.7. Teori Kapasitas Dukung Fondasi

Menurut Hantipatno (2018), jika dilihat dari cara mendukung beban, tiang dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- 1) **Tiang dukung ujung (*end bearing pile*)** adalah tiang yang kapasitasnya ditentukan oleh daya dukung pada ujung tiang. Umumnya tiang ini dimasukkan di atas lapisan tanah keras yang berada di atas tanah lunak. Tiang-tiang ini dipancang hingga mencapai lapisan batuan atau tanah keras lainnya yang mampu menahan beban tanpa menyebabkan penurunan berlebihan. Kapasitas tiang ditentukan sepenuhnya oleh daya dukung lapisan keras yang terletak di bawah ujung tiang. (**Gambar 3. 3a**)
- 2) **Tiang gesek (*friction pile*)** adalah tiang yang kapasitasnya lebih ditentukan oleh gaya gesekan antara dinding tiang dengan tanah di sekitarnya. (**Gambar 3. 3b**) Daya gesek dan pengaruh pemukiman tanah di bawah tiang dimasukkan dalam perhitungan kapasitas tiang.



**Gambar 3.3** Tiang Didukung Dari Cara Mendukung Keduanya

Sumber: Budhuwan (2018)

Secara umum untuk menghitung daya dukung ultimate tiang dapat digunakan persamaan berikut (Das, 2011) :

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (3.11)$$

dimana

$Q_u$  = Daya dukung ultimate tiang (kg)

$Q_p$  = Daya dukung ujung tiang (kg)

$Q_s$  = Tahanan gesek tiang (kg)

### 3.2.1. Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang dari Hasil SPT (Standard Penetration Test)

*Standard Penetration Test (SPT)* adalah pembebanan lapangan dengan menggunakan suatu alat yang dinamakan *spt hammer* ke dalam tanah, tujuannya untuk mendapatkan laju penetrasi relatif *N<sub>s</sub>* (*Relative Density*), waktu gesek dalam tanah (*g*) serta jumlah pukulan nilai *N* dari tanah tersebut (Budhuwan, 2011). Perhitungan daya dukung tiang pancang berdasarkan hasil *spt* (*Standard Penetration Test*) menggunakan dua metode, yaitu:

- (1) Meyerhoff (1974) dan Barnara (1967)

Nilai *NSPT* yang diperoleh di lapangan tidak langsung bisa digunakan untuk menentukan fondasi. Nilai tersebut harus diperbaiki terlebih dahulu terhadap kandungan muka air tanah dan rasio *overburden* yang ada.

Perbaikan terhadap kandungan muka air tanah hanya dilakukan untuk jenis tanah pasir halus, pasir berlemak, dan pasir berlempung yang berada di bawah muka air tanah, serta hanya jika nilai *N* lebih besar dari 12.

$$\text{(Berdasarkan Terzaghi \& Peck, 1960) } N_1 = 1 + \gamma (N + 12) \quad (3.12)$$

$$\text{(Berdasarkan Barnara, 1967) } N_1 = 0,5 N \quad (3.13)$$

Sementara itu, untuk jenis tanah lempung, lumpur, pasir kasar, dan tanah dengan nilai  $N$  kurang dari atau sama dengan 13, tidak perlu dilakukan koreksi. Jadi, nilai  $N_1 = N$ . Setelah dilakukan koreksi pertama ( $N_1$ ), nilai tersebut kemudian dikoreksi lagi untuk memperhitungkan pengaruh tekanan vertikal efektif (*effective pressure*) pada lapisan tanah di rumus nilai  $N$  diperoleh.

Nilai  $N_2$  harus kurang dari atau sama dengan  $2 \times N_1$ . Bila hasil koreksi menunjukkan  $N_2$  lebih besar dari  $2 \times N_1$ , maka perlu dilakukan penyempatan lebih lanjut.

Setelah nilai  $N$ -SPT telah diperbaiki, selanjutnya dapat dihitung daya dukung tanah untuk tiang pancang menggunakan persamaan Meyerhoff, yaitu:

$$Q_{ultim} = Q_{stat} + Q_{dinam} \dots \dots \dots (3.14)$$

$$Q_{ultim} = C_u \cdot A_p + \sum C_u \cdot A_u \dots \dots \dots (3.15)$$

Dimana:

$C_u$  = Hambatan geser selimut tiang pada segmen  $i$

$f(u)$  =  $f_u$ , dimana:

–  $N/2 \text{ ton/m}^2$  untuk tanah lempung atau lumpur

–  $N/3 \text{ ton/m}^2$  untuk tanah pasir

$A_u$  = Luas Selimut Tiang pada segmen ke- $i$  =  $D_i \times h_i$

$D_i$  = Keliling tiang

$C_u$  = 40 N

$A_p$  = Luas penampang dasar tiang ( $\text{m}^2$ )

## 2) Bowles (1988)

Kapasitas atau daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kemampuan tanah untuk menahan beban yang bekerja padanya melalui pondasi. Kapasitas dukung tanah bisa  $q_u = q_{ult} = \text{ultimate bearing capacity}$  adalah tekanan maksimum yang dapat diberikan oleh tanah akibat beban yang bekerja tanpa menyebabkan terjadinya kelongsoran geser pada tanah pendukung yang berada tepat di bawah dan di sekeliling pondasi.

Kapasitas dukung yang menggunakan data N-SPT Soudi menurut Bowles (1988) dihitung dengan persamaan:

$$q_u = \frac{\sum}{A} \times \left[ \frac{P \cdot A_u}{A} \right] \times K_d \dots \dots \dots (3.16)$$

$$K_d = 1 + (0,3) \frac{Z_u}{B} \dots \dots \dots (3.17)$$

Dengan:

- $q_f$  = tekanan kawat rata-rata pada dasar pondasi ( $\text{kg/cm}^2$ )
- $H$  = lebar pondasi (m)
- $K_d$  = faktor kedalaman, besarnya maksimum adalah 1,33
- $D_v$  = kedalaman pondasi (m)

### 3.2.8. Faktor Aman Tingg Pancang

Murmet Hachyatrio (2018), untuk memperoleh kapasitas tina tang, maka kapasitas ultimate tina dibagi dengan faktor aman tertentu.

Nilai besarnya faktor aman yang telah banyak digunakan untuk perancangan tina pancang:

$$Q_u = \frac{Q_n}{1,5} \quad (3.13)$$

Beberapa peneliti menyamakan faktor aman yang tidak sama untuk tahanan gesek dinding dan tahanan ujung. Kapasitas tina dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$Q_u = \frac{2\tau}{3} + \frac{Q_n}{1,5} \quad (3.19)$$

Penggunaan faktor aman  $F = 1,5$  untuk tahanan gesek dinding ( $Q_n$ ) yang lebih kecil dari faktor aman untuk tahanan ujung ( $Q_u$ ), karena nilai puncak dari tahanan gesek sat tina tang dicapai bisa tina tang memiliki pemuaian 2 – 7 mm, sedang tahanan ujung ( $Q_n$ ) membutuhkan pemuaian yang lebih besar agar tahanan ujungnya bekerja secara penuh. Jadi, makna penggunaan faktor – faktor aman tersebut adalah untuk menyamakan ketahanan tina terhadap kemungkinan tina dengan memperkecilkan pemuaian tina pada bahan kerja yang diterapkan. Disarankan oleh Terzaghi (1977), nilai  $Q_u$  dalam persamaan

Tabel 3.14 kisaran faktor aman dari analisis risiko

| Klasifikasi Struktur | Faktor Aman (F) |                |               |                      |
|----------------------|-----------------|----------------|---------------|----------------------|
|                      | Kontrol Baik    | Kontrol Normal | Kontrol Jelek | Kontrol Sangat Jelek |
| Ultimatis            | 2,5             | 3              | 3,5           | 4                    |
| Pemuaian             | 2               | 2,5            | 3,0           | 3,5                  |
| Seismik              | 1,8             | 2,0            | 2,3           | 2,5                  |

Sumber: Reese dan O'Neill, 1988

$N_{fsi}$  = nilai faktor aman yang disarankan oleh Reese dan O'Neill (1989) di sajikan di atas umumnya sering digunakan adalah 2 – 4, dan kebanyakan digunakan 3.

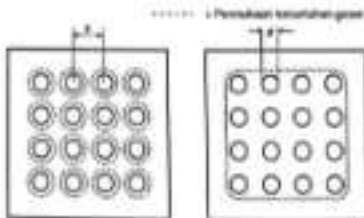
### 5.2.10. Fondasi Tiang Pancang Kelompok

Pada keadaan sebenarnya jarang sekali didapatkan fondasi tiang yang berdiri sendiri (*Single Pile*), akan tetapi kita sering mendapatkan fondasi tiang dalam bentuk kelompok (*Pile Group*) (biasanya merupakan tiang – tiang tersebut dalam satu kelompok tiang biasanya dalam tiang tersebut diberi pelat penyangg tiang (*Pile cap*). Dalam perhitungan *Pile cap* dianggap sebagai satu kesatuan, sehingga:

- a) Jika beban – beban yang bekerja pada kelompok tiang tersebut menimbulkan pemutar, maka setelah pemutaran bidang *pile cap* tetap merupakan bidang datar.
- b) Gaya yang bekerja pada tiang berbanding lurus dengan pemutaran tiang – tiang.

#### f) Daya dalam Kelompok dan Efisiensi Fondasi Tiang

Pada kelompok tiang yang dimuatnya beraturan pada lapisan lumpur lekat, faktor aman terhadap keruntuhan blok harus diperhitungkan, terutama untuk jarak tiang – tiang yang dekat.



**Gambar 3.9** Tipe Keruntuhan Dalam Kelompok Tiang:

(a) Tiang Tunggal, (b) Kelompok Tiang

**Sumber:** Coduto (1994: *Foundation Systems* (2011))

Kapabilitas blok kelompok tiang dengan memperhitungkan faktor efisiensi tiang dinyatakan dengan rumus sebagai berikut.

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_u \dots\dots\dots (5.20)$$

Dengan:

- $Q_g$  = beban maksimum kelompok tiang mengakibatkan keruntuhan (kg)
- $E_g$  = efisiensi kelompok tiang
- $n$  = jumlah tiang dalam kelompok
- $Q_u$  = beban ultimate tiang tunggal (kg)

2) *Isamu Fudouzi: Tang pada Tanah Keras*

Murata Gekko (1994), efisiensi tang bergantung pada beberapa faktor, yaitu:

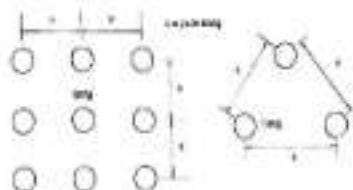
- a) Jenis, panjang, diameter, variasi dan jarak tang.
- b) Model transfer beban (tahanan gesek terhadap tahanan dalam ujung)
- c) Penerbit pola ukuran pemusatan tang
- d) Ukuran pemusatan tang
- e) Jenis tanah
- f) Waktu setelah pemusatan
- g) Interaksi antara pelat pondasi tang (*pile cap*) dengan tanah
- h) Arah dan beban yang bekerja

Beberapa persamaan efisiensi tang telah diusulkan untuk menghitung kapasitas kelompok tang, namun semuanya hanya bersifat pendekatan. Persamaan = persamaan yang dihasilkan didasarkan pada ukuran tang, dengan memperhatikan panjang tang, variasi bentuk tang yang bermacam, variasi sifat tanah dengan kedalaman dan pengaruh muka air tanah. Salah satu dari persamaan = persamaan efisiensi tang tersebut, yang diusulkan oleh Correns-Labrecq-Ferrado, sebagai berikut:

$$k_g = 1 - \theta \frac{n_1 - 1, n_2 + n_2 - 1, n_1}{n_1 + 1, n_2} \quad (3.21)$$

Dengan:

- $k_g$  = efisiensi kelompok tang  
 $n_1$  = jumlah baris tang  
 $n_2$  = jumlah tang dalam satu baris  
 $\theta$  =  $\tan^2 \alpha$ , dalam dengan:  $\alpha$  = jarak pusat ke pusat tang,  $\phi$  = diameter)



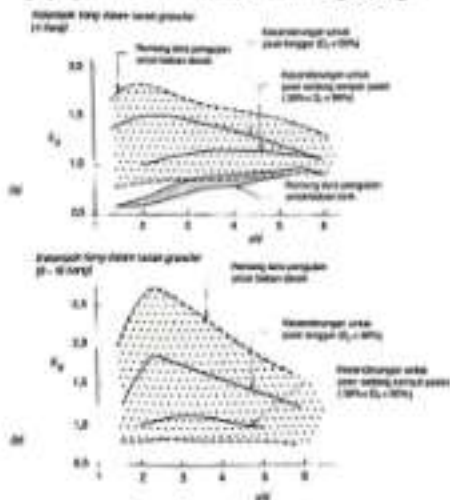
Gambar 3.19 Definisi Jarak & Dalam Hitungan Efisiensi Tang  
 Sumber: (Sudiputra, 2011)

### 3) Efisiensi Fondasi Tiang pada Tanah Granuler

Visir menyimpulkan bahwa efisiensi tumpuan (ukuran ruang dan tekanan gesek sisi tiang) cenderung  $> 1$ , kecuali jika tiang berada pada pasir sangat padat atau jarak yang relatif kecil. Efisiensi maksimum dapat mencapai 2, bila jarak tiang 2 sampai 3 kali diameter tiang.

O'Neil (1985) dalam Hantayanto (2011) mengemukakan beberapa data hasil pengujian kelompok tiang, hasilnya ditunjukkan dalam Gambar 3.18 dari diagram tersebut, O'Neil menyimpulkan bahwa:

- Dalam tanah granuler longgar, efisiensi ( $E_g$ ) selalu lebih besar dari 1 dan mencapai maksimum pada  $s/d = 2$ . Efisiensi berkurang bila jumlah tiang bertambah.
- Dalam tanah granuler padat, bila  $2 < s/d < 4$  (interval jarak tiang normal),  $E_g$  umumnya lebih besar dari 1, apakah tiang tidak di bor dengan atau penyempitan air atau tiang di bor terlebih dahulu (*grouting*).



Gambar 3.11 Efisiensi Kelompok Tiang dari Uji Nodal Kelompok Tiang Dalam Tanah Granuler  
Sumber: O'Neil (1985) dalam Hantayanto (2011)

### 5.2.11. Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

Besarnya pemertaan fondasi tergantung pada karakteristik tanah dan penyusutan tekadan fondasi ke tanah di bawahnya. Untuk mengoptimalkan besarnya pemertaan elastis pada fondasi tiang tunggal digunakan metode semi empiris dan untuk fondasi tiang kelompok digunakan metode Meyerhoff.

#### 1) Pemertaan Tiang Tunggal

Pemertaan jangka Panjang untuk fondasi tiang tunggal tidak perlu direvisi karena pemertaan tiang akibat kompresi dari tanah relatif kecil. Hal ini disebabkan karena pondasi tiang direncanakan terdapat kuat dukung yang dan kuat tahanan belahnya atau penjurutahan dari kedanya (Hardjantoro, 2002)

Metode semi empiris digunakan untuk menghitung pemertaan tiang tunggal. Pemertaan elastis fondasi tiang tunggal akibat beban vertikal yang bekerja dapat dihitung sebagai berikut:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 \quad (5.22)$$

Dengan:

$\delta$  = pemertaan elastis total fondasi tiang tunggal (mm)

$\delta_1$  = pemertaan akibat deformasi aksial tiang tunggal (mm)

$\delta_2$  = pemertaan dari ujung tiang (mm)

$\delta_3$  = pemertaan akibat beban yang diberikan sepanjang tiang (mm)

$$\delta = \frac{Q_{up} + f Q_{ms}}{A_p E_p} \quad (5.23)$$

Dengan:

$Q_{up}$  = beban yang diberikan ujung tiang (kg)

$Q_{ms}$  = beban yang diberikan selangut tiang (kg)

$E_p$  = modulus elastisitas tiang ( $\text{kg/cm}^2$ )

$L$  = panjang tiang (cm)

$A_p$  = luas penampang tiang ( $\text{cm}^2$ )

$f$  = koefisien dari *inter friction*.

Veal (1977) menyarankan nilai  $f = 0,3$  untuk distribusi gesekan yang berbentuk segitiga atau persegi  $f = 0,67$  untuk distribusi gesekan yang berbentuk segitiga.

$$\delta = \frac{Q_{up} + f Q_{ms}}{A_p E_p} \quad (5.24)$$

Dengan:

$C_p$  = koefisien angem (lihat Tabel 3.15)

$Q_{ap}$  = beban yang ditanggung angin tang (kg)

$q_p$  = tekanan angin tang ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

$D$  = diameter tang (cm)

Nilai koefisien angem, ( $C_p$ ) diberikan pada tabel berikut:

**Tabel 3.15** Nilai Koefisien angem,  $C_p$

| Jenis Tang                  | Tiang Puncung | Tiang Box   |
|-----------------------------|---------------|-------------|
| Pada bagian tinggi rendah   | 0,02 - 0,04   | 0,08 - 0,18 |
| Terpapar pada bagian rendah | 0,02 - 0,03   | 0,05 - 0,08 |
| Terpapar pada bagian tinggi | 0,03 - 0,05   | 0,09 - 0,12 |

Sumber: Das (1997)

$$JF = \frac{0,25}{L_{ap}} \dots\dots\dots (3.25)$$

Dengan:

$C_f$  = koefisien angem

$$= (0,9) - 0,16 \sqrt{L_1/D} \cdot C_p \dots\dots\dots (3.26)$$

$L_1$  = panjang tang (cm)

## 2) Perataan Tiang Kelompok

Perataan kelompok tang dimana lebih besar dibandingkan fondasi tang tunggal karena pengaruh inersia pada dasar yang lebih luas. Yous (1969) memberikan formula empiris yang sederhana untuk memperkirakan perataan tang kelompok sebagai berikut:

$$x_g = 2 \sqrt{\frac{a_g}{D}} \dots\dots\dots (3.27)$$

Dengan:

$x_g$  = perataan tang kelompok (m)

$a_g$  = perataan tang tunggal (m)

$H_g$  = lebar kelompok tang (m)

$D$  = diameter tang (m)

## 3) Perataan yang Diinginkan

Perataan yang diinginkan dari suatu bangunan bergantung pada beberapa faktor. Faktor = faktor tersebut meliputi: jenis, tinggi, luasnya, dan fungsi

bangunan, serta besar dan kecepatan penurunan serta distribusinya. Jika penurunan terjadi secara lambat, analisis besar kemungkinan struktur tidak memuaskan dan terhadap penurunan yang terjadi tanpa adanya kerusakan strukturnya oleh pengukur tingkat (*settle*). Penurunan ini akan berbeda jika bangunan dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 3.15** Penurunan Ijin Rata – rata untuk berbagai bangunan

| Jenis Bangunan                                                     | Penurunan Ijin<br>rata – rata |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|                                                                    | (mm)                          |
| Bangunan dengan dinding rata sederhana                             |                               |
| L.H ≤ 2,5                                                          | 80                            |
| L.H ≤ 1,5                                                          | 100                           |
| Bangunan dengan dinding batu yang diperkuat dengan beton bertulang |                               |
|                                                                    | 110                           |
| Bangunan rangka                                                    |                               |
|                                                                    | 100                           |
| Fondasi beton bertulang kokoh, merata dan seluruhnya               |                               |
|                                                                    | 100                           |

Sumber: Dns, 2001

### 3.2.12. Pelat Penutup Tang (Ple Cap) dan Jarak Tang

Pelat penutup tang (*ple cap*) berfungsi untuk menyebarkan beban dari kolom ke tang – tang. Analisis momen – tang dibuat satu pelat penutup tang umumnya 3 tang. Bila tang hanya berjumlah 2 tang dibuat 1 kolom, maka pelat harus dihubungkan dengan balok *slab* yang dihubungkan dengan kolom lain. Balok *slab* dibuat yang melintang pada arah tang – tang untuk tang harus dibuat tang (bagi harus pelat penutup tang). Demikian pula, bila pelat penutup tang hanya berjumlah 1 tang, maka dibuatkan balok *slab* yang menghubungkan kolom – kolom yang lain. Bila kolom dilayani hanya 1 tang besar, maka bisa tidak digunakan pelat penutup tang.

Tetapi pelat penutup tang dipengaruhi oleh tegangan gesar lain juga. Tegangan gesar harus dituang pada penulangan tersebut. Momen lentur pada pelat penutup tang harus dihitung dengan menganggap momen tersebut bekerja pada pusat tang ke permukaan kolom terdekat. Contoh momen tang – tang dibuat pelat penutup tang dapat dilihat pada Gambar 3.12. Bila kondisi memungkinkan, gesar samping tegangan pada pelat penutup tang yang telah besar, tang – tang sebaiknya dipasang dengan bentuk geometri yang baik.



**Gambar 3.12** Sistem Koneksi Tiang (Dalam Pelat Penutup Tiang)  
**Sumber:** Hadiyasa (2016)

Itu harus sama, tiang – tiang dalam kelompoknya akan mendukung beban axial yang sama. Dalam kelompok, tumpu diarah pelat penutup tiang dianggap tidak mendukung beban sama sekali.

Pemecahan pelat penutup tiang dilakukan dengan anggapan sebagai berikut (Tiang, 1962):

- Pelat penutup tiang sangat kaku.
- Tiang atas tiang menggantung pada pelat penutup tiang (*pile cap*). Karena itu, tidak ada momen lentur yang diakibatkan oleh pelat penutup ke tiang.
- Tiang merupakan kolom pendek dan elastis. Karena itu, distribusi regangan dan deformasi merata di seluruh tiang saja.

Pelat penutup tiang harus cukup besar sehingga jarak tiang vertikal dengan pinggir pelat beton minimum kiri + kiri 00 sampai 15 cm. Dimensi pinggir atas tiang minimum setinggi 15 cm pada pelat penutup tiang dan tumpuan beton ditakdirkan pada 7,5 cm diatas ujung tiang.

Ukuran pelat akan ditentukan oleh banyaknya tiang dalam satu kelompok, sehingga jarak tiang akan mempengaruhi dimensi pelat penutup tiang. Dalam praktik, tiang – tiang harus dipasang pada jarak tertentu. Jarak tiang minimum yang disarankan oleh Tiang (1962) ditunjukkan dalam **Tabel 3.17**.

**Tabel 3.17** Jarak Minimum Tang ( $d$  = diameter tang) (Teng, 1962)

| Pegasi Tang                            | Jarak sisi-sisi minimum (m) |
|----------------------------------------|-----------------------------|
| Tang dilengkupang dalam lapisan korosi | $2 + 2,5d$ atau 75 cm       |
| Tang dilengkupang pada bahan korosi    | $2d$ atau 60 cm             |
| Tang gesek                             | $3 + 3d$ atau 105 cm        |

Sumber: Fachrudin, 2014

Nilai-nilai dalam tabel hanya sebagai petunjuk awal. Secara umum, jarak antar tang berkisar antara 2 hingga 3 kali diameter tang ( $d$  = diameter tang). Jarak tang sebesar 2,5d dapat digunakan untuk tang dilengkupang yang pendek. Jarak ini hanya diperbesar untuk jenis tang yang bergantung pada gesekan sisi tang (tang gesek). Semakin panjang tangnya, semakin besar risiko terjadinya korosi selama proses pengelasan. Menurut standar tersebut, Indonesia (G086) menyarankan jarak minimal tang yang mencakup tinggi dan panjang tang:

$$s = 2,5d + 0,02L \quad (3.22)$$

Dengan:

- $s$  = jarak minimum antara tang (mm)
- $d$  = diameter atau lebar tang (mm)
- $L$  = kodilatan pemadatan tang (mm)

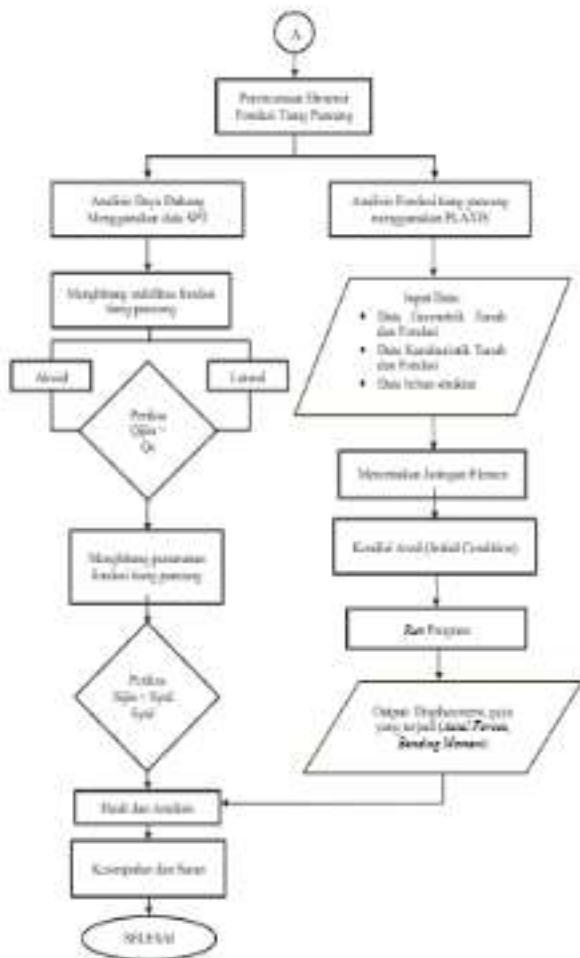
## BAB IV METODE PERENCANAAN

### 4.1. Sistemika Perencanaan

*Adapun tahap – tahap perencanaan dapat dilihat pada bagan alir di bawah ini*



**Gambar 4.1** Bagan Alir (Flowchart) Perencanaan Fasilitas Tiang Pompa



Gambar 4.2 Diagram Alir (Flowchart) Perencanaan Fungsi Tumpang Tindih (lanjutan)

## 4.2. Analisis Data

Berdasarkan studi literatur pada tahap awal perencanaan fondasi yang panjang, yang meliputi pada buku-buku, jurnal, dan literatur dengan permasalahan sejenis, serta setelah pengumpulan data-data perencanaan, maka tahap berikutnya adalah proses pengolahan data, yang mencakup:

### 1) Perhitungan

Berdasarkan gambar rencana tang fondasi Pelubuhan di Kecamatan Haurora, Kabupaten Donggala, dilakukan analisis perhitungan struktur untuk mendapatkan reaksi minimum menggunakan perangkat lunak SAP2000, dalam bentuk beban aksial dan lateral. Beban yang bekerja pada fondasi tang pemanggang dikumpulkan sebagai beban terpusat atau beban aksial ( $Q_k$ ) dan beban lateral ( $Q_{Lk}$ ). Adapun standar dan peraturan yang dijadikan acuan dalam perencanaan ini meliputi:

- a. SNI 1727-2023, Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk struktur lain (termasuk pelubuhan).
- b. SNI 1726-2019, Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung.
- c. Peta gempa 2007 (Hasan Spriatna Indonesia)
- d. SNI 6448-2017, Persyaratan perencanaan Geoteknik

Untuk menganalisis menggunakan SAP2000 digunakan data perhitungan struktur bangunan, yaitu beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*) beban gempa (*quake load*) yang mengacu pada SNI 1726-2019.

### 2) Hasil Pada Struktur

Moment Dewolvente, (2007) Tangpa adanya perhitungan, tidak akan timbul gaya-gaya internal dalam suatu struktur. Dengan kata lain, analisis struktur tidak diperlukan jika tidak ada beban yang bekerja. Perhitungan yang dimaksud di sini adalah:

- a) Gaya, yaitu beban yang secara langsung, berupa gaya terpusat atau merata pada suatu area elemen, dan beban merata pada batang.
- b) Deformasi, yaitu deformasi yang dimaksudkan yang dapat diberikan pada titik awal tumpuan. Misalnya, akibat pemvarian pondasi dan akan berpengaruh pada struktur menerus atau statis tak tentu.
- c) Temperatur, akibat perhitungan suhu, maka elemen akan mengalami deformasi, tetapi signifikan untuk struktur statis tak tertentu.

- d) Prategang, untuk memastikan adanya efek kaku prategang dan hanya diberikan pada elemen dan tidak pada nodal.

Sebelum analisis dilakukan harus dilakukan dengan memperhatikan berbagai kondisi perbatasan. Hal ini bisa dilakukan dalam proses penempatan penampang untuk memastikan kondisi yang paling kritis. Oleh karena itu, penting untuk mengidentifikasi beban berdasarkan jenisnya. Contohnya, beban mati seperti berat sendiri dan tembok, beban hidup seperti beban orang dan kendaraan, serta beban lateral seperti angin, gempa, dan gempa.

Dalam penentuan data tanah yang diambil berasal dari hasil pengujian bor SPT di lapangan. Data yang diperoleh meliputi nilai N-SPT yang berguna untuk menentukan tingkat kekerasan tanah. Klasifikasi tanah secara visual berdasarkan kondisi capaian, serta kandungan lapisan tanah keras. Sementara itu, parameter tanah seperti nilai sudut geser ( $\phi$ ) dan kohesi ( $c$ ) diperoleh dari pengujian laboratorium yang dilakukan pada sampel inti bor SPT yang diambil di lapangan.

### 3) Perhitungan

Setelah semua data – data yang dibutuhkan telah lengkap maka bisa proses perhitungan fondasi tung penampang.

- Menentukan dimensi fondasi tung penampang
- Menghitung daya dukung fondasi tung penampang berdasarkan hasil uji SPT
- Menentukan data SPT

#### a. Meyerhoff dan Hansen (dari **Persamaan 3.15**):

$$Q_{ultimate} = C_u \cdot A_p + 3C_1 \cdot A_s$$

Dimana:

- $C_1$  = Rata-rata geser selimut tung pada segmen i (kN)
- $f_u$ , dimana:
- $N/2 \text{ ton/m}^2$  untuk tanah berpasir atau lempung
  - $N/3 \text{ ton/m}^2$  untuk tanah pasir
- $A_s$  = Luas Selimut Tung pada segmen ke i = 0, c, h
- $C_u$  = Rata-rata tung
- $C_2$  = 40 N
- $A_p$  = Luas penampang dasar tung ( $\text{m}^2$ )

- b. Berilah TUGAS (lihat **Pertemuan 3.10 dan 3.11**)

$$q_0 = \frac{32}{22} \times \left( \frac{2+0.5}{2} \right) \times K_d$$

$$K_d = 1 - 0.11 \frac{20}{2}$$

Ditanya:

$q_0$  = ukuran limbah rata-rata pada dasar pondasi ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

$B$  = lebar pondasi (m)

$K_d$  = faktor kedalaman, besarnya maksimum adalah 1,11

$LF$  = kedalaman pondasi (m)

- c) Dari hasil perhitungan daya dukung fondasi Tunggal, akan diperoleh daya dukung ultimate,  $Q_u$  tiap pondasi yang direncanakan (lihat **Pertemuan 3.11**).

$$Q_u = Q_{y1} + Q_{y2}$$

- d) Untuk memperoleh daya dukung  $q_u$  tiap  $Q_u$ , maka daya dukung ultimate tiap  $q_u$  dengan faktor aman tertentu. (lihat **Pertemuan 3.10**)

$$Q_u = \frac{Q_u}{FS}$$

lelah besar dari bahan aksial yang terjadi pada kolom,  $Q_u$  maka perhitungan dapat dilanjutkan pada perhitungan pemrosesan tang Tunggal, 8.

Jika daya dukung  $q_u$  tiap  $Q_u$  lebih kecil dari bahan aksial yang terjadi pada tang kolom,  $Q_u$  maka perhitungan dilanjutkan dengan memisahkan fondasi tang kelompok.

- e) Menentukan jumlah tang fondasi kelompok dengan membandingkan bahan maksimum tang kelompok yang bekerja terhadap nilai  $Q_u$ .

- f) Menghitung daya dukung ultimate tang kelompok,  $Q_g$  pada tanah kohesif (lihat **Pertemuan 3.20**) lalu menghitung daya dukung  $q_u$  tiap kelompok kemudian dibagi dengan faktor aman tertentu dan dibandingkan terhadap nilai  $Q_u$ .

$$Q_g = q_g \times A \times Q_u$$

$$\text{Dimana, } Z_g = 1 + 0.5 \frac{q_u - q_{u1} + q_{u2} + q_{u3}}{q_u - q_{u1}}$$

$$Q_{ug} = Q_g / FS$$

- g) Menghitung pemrosesan tang Tunggal, 8 (lihat **Pertemuan 3.21**)

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

$$21 = \frac{2 \cdot 27 \cdot 40 \cdot 40}{40 \cdot 40}$$

$$22 = \frac{2 \cdot 27 \cdot 40}{2 \cdot 40}$$

$$23 = \frac{2 \cdot 27 \cdot 40}{1 \cdot 40}$$

- i) Menghitung pemertasan yang kelompok,  $g_2$  (lihat **Pernyataan 2.27**)

$$g_2 = 4 \sqrt{\frac{R_2}{2}}$$

- i) Menghitung nilai pemertasan yang terjadi terhadap pemertasan (lihat pada **Tabel 2.16** (lihat **BAB III**))  
 j) Merencanakan pelat penutup tang (pelat cap) dan jarak tang (lihat **BAB III**)  
 k) Menyimpulkan hasil perhitungan dan memberikan saran terhadap pemertasan selanjutnya.

#### 4.3. Pengoperasian PLAXIS

Pemodelan akan dilakukan dalam bentuk *Finite Element Model*. Model *Finite Element* ini digunakan untuk digunakan dalam analisis pemertasan awal terhadap perilaku tanah secara umum. Berikut Langkah – Langkah *Running PLAXIS 3D*

##### a) *NEW PROJECT*

Open > Start a New Project > Model



Gambar 4.3 Project Properties

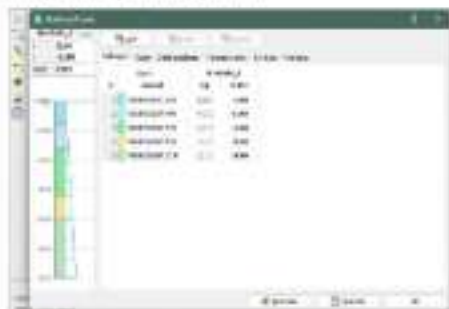


Gambar 4.4 Project Properties

#### b) SOIL

##### ... Create Borehole

Soil > Create Borehole > input Head (M.A.T) > Soil Layer > Add (Selanjut lapisan Tanah) > Water > Initial Condition > Drag & drop data lapisan tanah pada skala lapisan (tani)



Gambar 4.5 Input Borehole

- *Input Parameter Tanah*

Soil > Show Material > Set Type Soil and Interface > New > input data  
pada bar General, Parameter dan Ground Water



Gambar 4.6 Kotak Dialog Material's Data



Gambar 4.7 Kotak Dialog Input Parameter Tanah (Detail)



Gambar 4.8 Screenshot (Soil Parameters) Tanah (Parameter)



Gambar 4.9 Screenshot (Groundwater Parameters) Tanah (Ground Water)

#### g. STRUCTURES

##### - Membuat Pile Cap

- Drawings > Create Surfaces > Klik kanan pada surface yang telah dibuat
- > Create > Create Plane > Extrude > input nilai tebal pile cap pada Extrusion Vector Z



Gambar 4.10 Create Surface Plane



Gambar 4.11 Extrude Plane

- Minimize Material File Cap  
*From Materials > Plates > New > Input Data > Drag and drop to file cap yang telah dibuat*



Gambar 4.12 Menaklukkan Material Data



Gambar 4.13 Input Data File Cap

- Membuat Tiang Pancang

Create Point > Posisikan point tiang pada *Pile Cap* yang telah dibuat >  
 Select semua Point > *Extrude Object* > Input nilai kedalaman tiang pada  
*Extrusion Factor Z*



Gambar 4.14 Input Data Pile Cap

- Membuat Material Tiang

Klik kanan pada tiang > *Create* > *Create Section* > *Show Material* > *Set Type Section* > *New* > Input data Tiang sesuai jenis.



Gambar 4.15 Create Section



Gambar 4.16 Koneksi Menggunakan Material



Gambar 4.17 Input data Yang

- Input Beton

Create Point > Create Point Load > tentukan beton pada titik yang bekerja > klik Point beton > input nilai beton sesuai data yang tersedia



Gambar 4.15 Input Beton

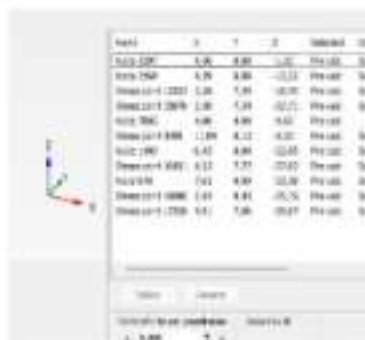
#### 4) MESH

- Membuat Mesh

Generate Mesh > Element Distribution > Ok > View Mesh > Select Point of Interest Coordinate > input nilai koordinat yang pada 2 > Search > Close > uncheck Node terdikat dari titik > Update



Gambar 4.19 Mesh Element Distribution



Gambar 4.20 Muncul Table

#### 4) STAGE CONSTRUCTION

- Member Phase
- *Initial Phase adalah fase hasil pada kondisi semula*  
 Add > Edit > Remove - stiffness tang  
 Add > Edit > Remove - stiffness gesir tang  
 Add > Edit > Remove - stiffness torsi



Gambar 4.21 Phase



## BAB V

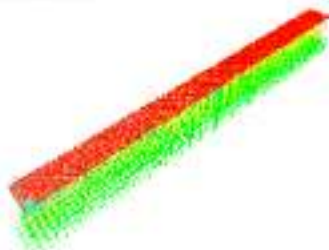
### PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1. Data Pembebanan

Perhitungan struktur mengacu pada SNI 1727:2013 (beban desain minimum) dan analisis gaya gempa berdasarkan metode *Response Spectrum* menurut SNI 1726:2014. Beban dari struktur atas seperti *dead* pelat beton, *floor*, gubung, dan struktur servis dipandang sebagai beban titik (P) yang ditransmisikan melalui kolom atas *frame* ke fondasi tiang. Tiang pancang kemudian menerima beban axial vertikal (*dead + live load*) dan beban lateral dari gelombang, arus, angin laut, serta gaya impuls akibat kapal yang karambar sesuai ketentuan SNI terkait.

Analisis lateral harus memperhitungkan interaksi tanah-tiang menggunakan metode *gry curve*, memperhitungkan ketebatan gravel tanah, kapasitas tiang, *click grip*, serta batas deformasi lateral yang diizinkan (maksudnya 12 mm untuk *gap*nya *resilient*) sebagaimana diatur dalam SNI 8486:2017. Kapasitas desain fondasi pun harus dievaluasi melalui uji pembebanan (*loading/unloading*) pada tiang, sesuai prosedur ASTM dan ketahanan uji horizontal/minimum  $\geq 200\%$  beban rencana seperti didefinisikan oleh SNI 8486:2017.

Untuk menghasilkan gaya titik (P, V, M) yang menjadi beban input desain fondasi, semua elemen ini diproses bersama dalam pemodelan 3D di SAP2008, mirip praktik di proyek gubung namun disesuaikan dengan karakteristik lingkungan pelabuhan dan kondisi tanah perairan. Struktur pelabuhan Kecamatan Bantorejo diuraikan terlihat pada Gambar 5.1



**Gambar 5.1** Model 3D Fondasi Tiang Pancang Pelabuhan Dunggala Kota V.1

Analisis beban dilakukan dengan menggunakan nilai maksimum hasil perhitungan pada kolom sebagai dasar dalam menentukan beban fondasi. Input pembebanan struktur untuk beban mati dan beban hidup mengikuti ketentuan SNI 1727, 2013.

Hasil output data primer dari perencanaan awal yang dianalisis menggunakan program SAP2000, diperoleh nilai maksimum beban aksial (*dead stress load*) sebesar 210,3 ton. Nilai ini kemudian digunakan sebagai acuan beban aksial ( $Q_D$ ) dalam perencanaan pembebanan fondasi.

Data tanah yang digunakan berasal dari PT. Sumatera Energi Energi, berdasarkan hasil survei tanah yang mencakup *Standard Penetration Test* (SPT) dan pengujian laboratorium pada tahun 2022. Survei ini dilakukan di lokasi proyek Pembangunan Pelabuhan Donggala Kota, yang berlokasi di Jalan Maritim, Kelurahan Kalengga Kecil, Kecamatan Binawa Selatan, Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah.

## 5.2 Data *Standard Penetration Test* (SPT)

Hasil output hasil bor ini SPT yang telah dilakukan dengan mencapai kedalaman 28 m. Adapun data N SPT pengujian di lapangan dan di laboratorium dengan identifikasi kedalaman tanah seperti dalam Tabel 5.1. dan Tabel 5.2.

**Tabel 5.1** Data Tanah Hasil Pengujian SPT di Lapangan

| Boring No. | Soal Tanah Nomor (meter) |               | Deskripsi                               | Unit | Soal Tanah Nomor (meter) | Consistency / Density | N-SPT (Blow/30 cm) |
|------------|--------------------------|---------------|-----------------------------------------|------|--------------------------|-----------------------|--------------------|
| BTL-01     | 1,0                      | 0,00 - 1,00   | Lempung berbutiran halus                | 0    | 0,00 - 1,00              | -                     | -                  |
|            | 2,0                      | 1,00 - 2,00   | Lempung berbutiran halus berpasir       | 1    | 2,0                      | Putih                 | 34                 |
|            | 4,0                      | 2,00 - 4,00   | Lempung berbutiran halus berpasir       | 2    | 4,0                      | Kepulauan Saling      | 50                 |
|            | 6,0                      | 4,00 - 6,00   | Lempung berbutiran halus                | 3    | 6,0                      | Kepulauan Saling      | 26                 |
|            | 8,0                      | 6,00 - 8,00   | Lempung berbutiran halus                | 4    | 8,0                      | Putih                 | 44                 |
|            | 10,0                     | 8,00 - 10,00  | Lempung berbutiran halus                | 5    | 10,0                     | Putih                 | 47                 |
|            | 12,0                     | 10,00 - 12,00 | Lempung berbutiran halus dan berbutiran | 6    | 12,0                     | Putih                 | 58                 |

**Tabel 5.1** Data Tanah Hasil Pengujian NPT di Lapangan (Lampung)

|  |      |                  |                                  |    |      |                 |    |
|--|------|------------------|----------------------------------|----|------|-----------------|----|
|  | 14.0 | 12.00 -<br>14.00 | Lempung<br>Berasa<br>dan Berhara | 7  | 14.0 | Sangat<br>Padat | 21 |
|  | 14.0 | 14.00 -<br>16.00 | Lempung<br>Berasa<br>dan Berhara | 8  | 14.0 | Sangat<br>Padat | 18 |
|  | 18.0 | 16.00 -<br>18.00 | Lempung<br>Berasa                | 9  | 18.0 | Sangat<br>Padat | 40 |
|  | 20.0 | 18.00 -<br>20.00 | Lempung<br>Berasa                | 10 | 20.0 | Sangat<br>Padat | 40 |
|  | 22.0 | 20.00 -<br>22.00 | Lempung<br>Berasa                | 11 | 22.0 | Sangat<br>Padat | 60 |

Sumber: PT. Nusantara Energy Group

**Tabel 5.2** Data Tanah Hasil Pengujian Laboratorium

| No         | Jenis Pengujian | Parameter / Simbol | Nilai  | Revisi | Modulus Elastisitas (ksi) | Metode Pengujian |
|------------|-----------------|--------------------|--------|--------|---------------------------|------------------|
| Bahan Baku |                 |                    |        |        |                           |                  |
| 1          | Kondisi Batuan  | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
| 2          | Kondisi Batuan  | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
| 3          | Kondisi Batuan  | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
| 4          | Kondisi Batuan  | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
| 5          | Kondisi Batuan  | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
| 6          | Kondisi Batuan  | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
| 7          | Kondisi Batuan  | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
| 8          | Kondisi Batuan  | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
| 9          | Kondisi Batuan  | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
| 10         | Kondisi Batuan  | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |
|            |                 | W                  | 11.000 | 11.000 | 100.000-100.000           | 100.00 (1000.0)  |

Sumber: PT. Nusantara Energy Group

## 5.5 Korelasi Data Tanah

Korelasi ini bertujuan untuk menginterpretasikan nilai karakteristik tanah yang belum diperoleh selama pengujian dengan pengambilan sampel di lapangan. Proses ini dilakukan dengan membandingkan nilai N-SPT yang kemudian dikaitkan menggunakan metode yang relevan.

Parameter tanah yang dibutuhkan dalam analisis ini meliputi nilai N-SPT dan berat volume jenis ( $\gamma_{so}$ ). Berikut ini adalah contoh perhitungan korelasi data menggunakan metode interpolasi tanah  $\gamma_{so}$  tanah pada kedalaman 10 m dengan nilai N-SPT = 21, digunakan **Tabel 3.2**.

$$\frac{x_2 - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

$$10y = 21 - 8,3,13$$

$$10y = 22,2$$

$$y = \frac{22,2}{10}$$

$$y = 2,22 \text{ (tak, } \gamma_{so} = 2,22 \text{ ton/m}^3 \text{)}$$

|             |       |                                                                      |
|-------------|-------|----------------------------------------------------------------------|
| Keterangan: | $x_1$ | = Harga N-SPT di kedalaman 20 m                                      |
|             | $x_2$ | = Harga N-SPT rendah pada range<br>(Derivaskan Tabel 3.2)            |
|             | $x_1$ | = Harga N-SPT tertinggi pada range<br>(Derivaskan Tabel 3.2)         |
|             | $y$   | = Nilai $\gamma_{so}$ yang dicari                                    |
|             | $y_1$ | = Nilai $\gamma_{so}$ rendah pada range<br>(Derivaskan Tabel 3.2)    |
|             | $y_2$ | = Nilai $\gamma_{so}$ tertinggi pada range<br>(Derivaskan Tabel 3.2) |

Hasil Korelasi antar hubungan parameter tanah, diperoleh hasil seperti disajikan dalam **Tabel 5.3** sebagai berikut:

**Tabel 5.3** Rangkuman Data Hasil Sondasi Tuntai

| Jarak | Test Unit  | N-SPT (Benda/B) | γ <sub>sat</sub>      |
|-------|------------|-----------------|-----------------------|
| No.   | Number (m) | (cm)            | (ton/m <sup>3</sup> ) |
| W0.03 | 1.00       | 34              | 2.17                  |
|       | 2.00       | 34              | 2.17                  |
|       | 3.00       | 30              | 2.10                  |
|       | 4.00       | 30              | 2.10                  |
|       | 5.00       | 25              | 2.01                  |
|       | 6.00       | 25              | 2.01                  |
|       | 7.00       | 44              | 2.33                  |
|       | 8.00       | 44              | 2.33                  |
|       | 9.00       | 47              | 2.18                  |
|       | 10.00      | 47              | 2.18                  |
|       | 11.00      | 50              | 2.29                  |
|       | 12.00      | 50              | 2.29                  |
|       | 13.00      | 53              | 2.33                  |
|       | 14.00      | 53              | 2.33                  |
|       | 15.00      | 58              | 2.22                  |
|       | 16.00      | 58              | 2.22                  |
|       | 17.00      | 60              | 2.29                  |
|       | 18.00      | 60              | 2.29                  |
|       | 19.00      | 60              | 2.29                  |
|       | 20.00      | 60              | 2.29                  |
|       | 21.00      | 60              | 2.29                  |
|       | 22.00      | 60              | 2.29                  |

#### 5.4. Kriteria Desain Tang Pancing

Fondasi pile sedang ini direkomendasikan memiliki fondasi tang pancang jenis grup pile produk dari PT. WBSA (Wijaya Karya) Beton

1. Tang pancang beton prastres (*prestressed concrete pile*) dengan bentuk penampang bulat.
2. Mutu beton tang pancang  $f'_c = 52 \text{ MPa}$  (Dens 600 kg/m<sup>3</sup>).

**Tabel 5.4** Ketinggian Puncung WKA Batan

| No. Stasiun<br>(2011-2012) | Tipe<br>Stasiun<br>(m) | Setor<br>Tinggi<br>(m) | Uraian<br>Tinggi<br>(m) | Jenis<br>Data | Ketinggian Puncung        |                           | Ketinggian<br>Tinggi<br>(m) | Ketinggian<br>Tinggi<br>(m) | Luas<br>Luas<br>(m <sup>2</sup> ) |
|----------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|---------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
|                            |                        |                        |                         |               | Luas<br>(m <sup>2</sup> ) | Luas<br>(m <sup>2</sup> ) |                             |                             |                                   |
| 001                        | 01                     | 101.00                 | 101.00                  | 01            | 101.00                    | 101.00                    | 101.00                      | 101.00                      | 101.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 101.00                    | 101.00                    | 101.00                      | 101.00                      | 101.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 101.00                    | 101.00                    | 101.00                      | 101.00                      | 101.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 101.00                    | 101.00                    | 101.00                      | 101.00                      | 101.00                            |
| 002                        | 02                     | 102.00                 | 102.00                  | 02            | 102.00                    | 102.00                    | 102.00                      | 102.00                      | 102.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 102.00                    | 102.00                    | 102.00                      | 102.00                      | 102.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 102.00                    | 102.00                    | 102.00                      | 102.00                      | 102.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 102.00                    | 102.00                    | 102.00                      | 102.00                      | 102.00                            |
| 003                        | 03                     | 103.00                 | 103.00                  | 03            | 103.00                    | 103.00                    | 103.00                      | 103.00                      | 103.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 103.00                    | 103.00                    | 103.00                      | 103.00                      | 103.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 103.00                    | 103.00                    | 103.00                      | 103.00                      | 103.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 103.00                    | 103.00                    | 103.00                      | 103.00                      | 103.00                            |
| 004                        | 04                     | 104.00                 | 104.00                  | 04            | 104.00                    | 104.00                    | 104.00                      | 104.00                      | 104.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 104.00                    | 104.00                    | 104.00                      | 104.00                      | 104.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 104.00                    | 104.00                    | 104.00                      | 104.00                      | 104.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 104.00                    | 104.00                    | 104.00                      | 104.00                      | 104.00                            |
| 005                        | 05                     | 105.00                 | 105.00                  | 05            | 105.00                    | 105.00                    | 105.00                      | 105.00                      | 105.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 105.00                    | 105.00                    | 105.00                      | 105.00                      | 105.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 105.00                    | 105.00                    | 105.00                      | 105.00                      | 105.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 105.00                    | 105.00                    | 105.00                      | 105.00                      | 105.00                            |
| 006                        | 06                     | 106.00                 | 106.00                  | 06            | 106.00                    | 106.00                    | 106.00                      | 106.00                      | 106.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 106.00                    | 106.00                    | 106.00                      | 106.00                      | 106.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 106.00                    | 106.00                    | 106.00                      | 106.00                      | 106.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 106.00                    | 106.00                    | 106.00                      | 106.00                      | 106.00                            |
| 007                        | 07                     | 107.00                 | 107.00                  | 07            | 107.00                    | 107.00                    | 107.00                      | 107.00                      | 107.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 107.00                    | 107.00                    | 107.00                      | 107.00                      | 107.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 107.00                    | 107.00                    | 107.00                      | 107.00                      | 107.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 107.00                    | 107.00                    | 107.00                      | 107.00                      | 107.00                            |
| 008                        | 08                     | 108.00                 | 108.00                  | 08            | 108.00                    | 108.00                    | 108.00                      | 108.00                      | 108.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 108.00                    | 108.00                    | 108.00                      | 108.00                      | 108.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 108.00                    | 108.00                    | 108.00                      | 108.00                      | 108.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 108.00                    | 108.00                    | 108.00                      | 108.00                      | 108.00                            |
| 009                        | 09                     | 109.00                 | 109.00                  | 09            | 109.00                    | 109.00                    | 109.00                      | 109.00                      | 109.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 109.00                    | 109.00                    | 109.00                      | 109.00                      | 109.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 109.00                    | 109.00                    | 109.00                      | 109.00                      | 109.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 109.00                    | 109.00                    | 109.00                      | 109.00                      | 109.00                            |
| 010                        | 10                     | 110.00                 | 110.00                  | 10            | 110.00                    | 110.00                    | 110.00                      | 110.00                      | 110.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 110.00                    | 110.00                    | 110.00                      | 110.00                      | 110.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 110.00                    | 110.00                    | 110.00                      | 110.00                      | 110.00                            |
|                            |                        |                        |                         |               | 110.00                    | 110.00                    | 110.00                      | 110.00                      | 110.00                            |

 Sumber: <https://www.orika-batan.co.id/indonesia/batan/>

Penentuan dimensi dan kedalaman tiang pancang didasarkan pada nilai  $N_{SPT}$  sebesar 58 pada kedalaman 16 meter. Berdasarkan Tabel 3.1, nilai ini menunjukkan bahwa kepadatan relatif tanah berada pada tingkat Sangat Padat. Sementara itu, menurut Tabel 3.2, kondisi kepadatan tanah tergolong sangat rapat, dan sesuai Tabel 3.3, konsistensi tanah di kedalaman tersebut dinyatakan Keras. Oleh karena itu, dipilih kedalaman tiang pancang 16 meter, karena pada kedalaman ini lapisan tanah sudah cukup padat dan mampu menopang beban dari struktur di atasnya. Selain itu, dua meter tanah di bawahnya menunjukkan konsistensi yang lebih keras, dengan nilai  $N_{SPT}$  sebesar 60, yang dapat memberikan daya dukung tambahan apabila terjadi penurunan tanah yang cukup ekstrim.

Dari **Tabel 5.4** untuk diameter tiang pancang digunakan diameter 900 mm dengan panjang tiang 16 meter, sehingga spesifikasi tiang yang digunakan adalah sebagai berikut.

Spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan

- Diameter Luar = 900 mm = 0,9 m
- Tebal Dinding = 120 mm
- Berat Tiang = 641 kg/m
- Kedalaman Tiang = 16 meter

## 5.5. Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang

Perhitungan daya dukung tanah berdasarkan data  $N_{SPT}$ . Adapun hasil perhitungan daya dukung tanah berdasarkan data  $N_{SPT}$  sebagai berikut.

### 5.5.1. Daya Dukung Tiang Dari Uji Penetrasi Standar (SPT)

Cara lain perhitungan mengacu pada buku asal maknanya. Adapun data – data penentuan tiang pancang adalah sebagai berikut:

- Diameter tiang pancang = 900 mm = 0,90 m
- Faktor keamanan diambil,  $FS = 3$
- Beban yang bekerja,  $Q_n = 2029,7 \text{ kN} = 210,00 \text{ Ton}$

#### 1. Menentukan perhitungan Meyerhoff dan Esensen

Ditentukan perhitungan fondasi tiang pancang pada kedalaman 16 m

- Digunakan tiang pancang dengan diameter = 0,90 m
- Nilai  $N_{SPT} = 58$  (Tanah Lempung Berpasir dan Berbatu)
- Koreksi nilai  $N_{SPT}$  terhadap pengaruh muka air tanah dan jenis tanah ( $N_1$ )
- $N_1 = N = 58$  (Karena tanah lempung berpasir maka tidak ada koreksi terhadap muka

air tanah)

- Berat jenis tanah ( $\gamma_{sat}$ )

$$\gamma_{sat} = 2,22 \text{ t/m}^3 \text{ (Kardani)}$$

- $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = 2,22 - 1 = 1,22 \text{ t/m}^3$

- Tekanan vertikal efektif bagian tanah ( $P_0$ )

$$\begin{aligned} P_0 &= IPO (\text{dasar}) + (\gamma' \cdot H) \\ &= 17,58 + (1,22 \cdot 1) \\ &= 19,20 \text{ t/m}^2 (= 7,5 \text{ kPa}) \end{aligned}$$

- Koefisien nilai N terdistribusi pergarah tekanan vertikal efektif/tanah ( $N_2$ )

$$N_2 = \frac{459}{329-0,1 \cdot 30} + \frac{1,02}{329-0,1 \cdot 4428} = 44,87$$

- $2N_1 = 2 \cdot 58 = 116$

- Nilai N koraksi

$$N_{kor} = 44,87 \text{ (dikali } N_2 \text{ karena } N_2 > 2N_1)$$

- Hambatan geser satuan tiap pada segmen ( $f_{si}$ )

$$\begin{aligned} f_{si} &= N_2 \text{ (nilai koreksi terpasir)} \\ &= \frac{64,87}{3} = 21,44 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

- Luas penampang

$$A_p = \pi \cdot D \cdot z \cdot D^2 = 10 \cdot 3,04 \cdot 0,30^2 = 0,26 \text{ m}^2$$

- Luas selimut tiap pada segmen ( $A_s$ )

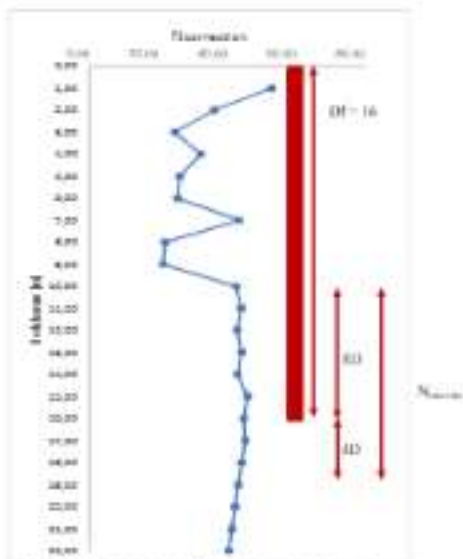
$$A_s = \pi \cdot z \cdot D \cdot h = \pi \cdot 0,30 \cdot 0,5 = 1,28 \text{ m}^2$$

- Tahanan selimut,  $Q_R$

$$R_{si} = f_{si} \cdot A_s = 21,44 \cdot 1,28 = 28,27 \text{ t}$$

$$QR_{si} = 16,57 + 28,27 = 44,84 \text{ t}$$

- $N_1$  = Rati → rata-rata N Rati di bawah sampai 5D di atas ujung tiang



**Gambar 5.2** Skema Nilai Momen dan Porewater Tinggi Puncak

$$4D = 4 \cdot 0,30 = 1,2 \text{ m } (16 - 1,2 = 14,7 \text{ m})$$

$$8D = 8 \cdot 0,30 = 2,4 \text{ m } (16 - 2,4 = 13,6 \text{ m})$$

$$\begin{aligned} \text{Momen} &= (42,61 + 41,11 + 42,91 + 44,71 + 43,04 + 45,96 + 44,98 + 45,37 + \\ &\quad 44,28 + 43,79)10 \\ &= 44,87 \end{aligned}$$

$$\text{Dapat Dikang Uraian Tinggi (Qs0)}$$

$$= Q_{\text{maks}} - Q_{\text{min}}$$

$$= 40\% \cdot A_p + 2Ks \cdot A_s$$

$$= 40 \cdot 44,87 \cdot 0,3 + 311,52 \cdot 1,20$$

$$= 1274,42 \text{ kN}$$

$$\text{Dapat Dikang Inis Tinggi (Qs1)}$$

$$Qs = Q_{\text{in}} / F_s$$

$$= 1274,42 / 3$$

$$= 424,81 > 210,93 \text{ kN}$$

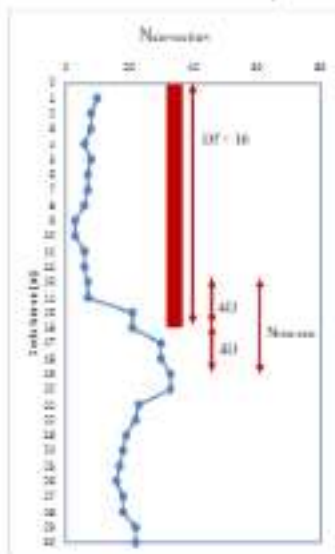
— AMMN



## 2. Menentukan Perhitungan Locust

Perhitungan frekuensi tang pancing pada lokustoran ini rumus:

- Dipasang tang pancing dengan diameter = 0,80 m
- Nilai NSPF = 30
- $N1 = N$  = 38 (ditema telah lengkap berupa mata tidak ada kemudi terhadap mata air tanah)
- $N_{cont}$  = 45
- $N_p$  = Rata-rata nilai N 40 di bawah sampai 40 diatas ujung tang



Gambar 5.3 Skema Nilai  $N_p$  Evandasi Tang Pancing

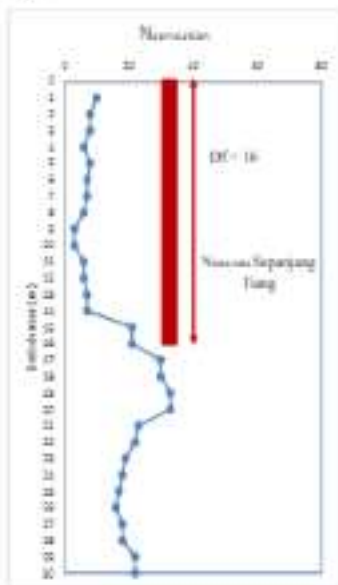
$$40 = 4 \cdot 0,80 + 3,2 \cdot m \cdot (16 + 3,2 = 19,2 \text{ m})$$

$$40 = 4 \cdot 0,80 + 3,2 \cdot m \cdot (16 + 3,2 = 19,2 \text{ m})$$

$$N_p = (44 + 43 + 46 + 45 + 44 + 43) / 7$$

$$= 44$$

- Koefisien karakteristik tanah ( $K_s$ )  
 $= 12 \text{ cm}^2$  (nilai lapangan)
- $A_p = 1,4 \cdot \pi \cdot D^2 = 1,4 \cdot 3,14 \cdot 0,3^2 = 0,39 \text{ m}^2$
- $N_6 =$  Nilai N60 rata-rata tiang yang tertanam ( $0 \rightarrow 16 \text{ m}$ )  
 $= 33,76$



Gambar 5.4 Skema Nilai  $N_6$  pada Tiang Pancang

- $A_s = \pi \cdot (x \cdot D) \cdot \text{Panjang tiang}$   
 $= (3,14 \cdot 0,30) \cdot 16$   
 $= 30,14$
- $\alpha = 1$  (nilai 3,14 koefisien dasar tiang,  $\alpha$ )

- $\beta = 1$  (total 1.14 koefisien distribusi  $\beta$ )
- $Q_{d0} = (Q_{dmax} + Q)_{min}$   
 $= [u \cdot (Sp \cdot E) \cdot Ag] + [E \cdot (\frac{29}{2} + 1) \cdot Ae]$   
 $= [1 \cdot (44 \cdot 12) \cdot 0.2] + [1 \cdot (\frac{29 \cdot 74}{2} + 1) \cdot 30.14]$   
 $= 104.78 + 369.315$   
 $= 674.09 \text{ ton}$
- $Q_d = Q_{d0} / F_s$   
 $= 674.09 / 1$   
 $= 211.89 \text{ ton} > 210.03 \text{ ton}$

AMAN

**Step 14** *Using Polymers to Make Polymers: Polymerization*

### 5.5.2. Penentuan Kedalaman Tiang Pancang

Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung tiang dan (j) Penetration Standar (SPT) serta dari parameter tanah seperti resistansi geser dalam ( $q$ ) dan kohesi ( $c$ ), dipilih kedalaman tiang pancang sebesar 16 meter. Kedalaman ini dianggap karena merupakan titik optimal yang sudah memenuhi efisiensi struktur tiang dan penjuruan jenis minimal 45 di bawah ujung tiang untuk menjamin kestabilan daya dukung.

#### Daya Dukung Tiang Dari *Standard Penetration Test* (SPT)

- a. Menurut Meyerhof dan Hansen

$$Q_u = 424,81 \text{ ton}$$

- b. Menurut Luciani Decourt

$$Q_u = 211,99 \text{ ton}$$

Perhitungan daya dukung tiang berdasarkan *Standard Penetration Test* (SPT) menggunakan metode Luciani Decourt dijadikan sebagai acuan utama dalam penentuan. Nilai daya dukung kritis yang diperoleh dari metode ini dipilih sebagai dasar dan seluruh perhitungan selanjutnya akan mengacu pada hasil analisis dari metode Luciani Decourt tersebut.

### 5.5.3. Perhitungan Jumlah Tiang Pada Pondasi Tiang Kelompok

Jumlah tiang fondasi dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Jumlah tiang (n)} = \frac{Q_r}{Q_u}$$

Dengan:

$Q_r$  = Beban yang bekerja pada kolom ( $\text{ton}$ )

$Q_u$  = Daya dukung rata ( $\text{ton}$ )

Jumlah tiang yang digunakan ditentukan berdasarkan beban yang bekerja pada masing-masing kolom. Untuk menghitung total tiang fondasi, nilai  $Q_u$  yang dijadikan acuan perancangan adalah nilai  $Q_u$  kritis, dengan rencana fondasi menggunakan tiang berdiameter 0,60 m dan kedalaman 16 m. Nilai daya dukung rata kritis ( $Q_u$ ) diperoleh dari perhitungan daya dukung tiang menggunakan metode Luciani Decourt berdasarkan *Standard Penetration Test* (SPT), yaitu sebesar 62,16 ton.

Maka, jumlah tiang untuk beban maksimum (*Ultimate Limit State*) yang bekerja pada kolom 20 adalah sebagai berikut:

$$Q_u = 211,99$$

$$Q_{y \text{ k20}} = 210,00$$

$$\text{Jumlah tiang (n)} = \frac{Q_r}{Q_u} = \frac{210,00}{211,99} = 0,99 \approx 1 \text{ tiang}$$

Unit: perhitungan jumlah tiang pada kolom dapat dilihat pada tabel

**Tabel 5.7** Perhitungan Jumlah Tiang pada Kolom berdasarkan Rata-rata yang berlaku

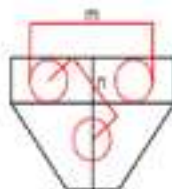
| Nomor Kolom | Kategori | Diameter Tiang Puncung<br>$m$ | Jarak Antar, $Q_0$<br>$m$ | Deep Dakang<br>lms, $Q_0$<br>$m$ | Jumlah Tiang Perkolom |
|-------------|----------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------|
|             | M        | $m$                           | $m$                       | $m$                              |                       |
| K1          | 10       | 0,60                          | 123,57                    | 62,16                            | 2                     |
| K2          | 10       | 0,60                          | 71,11                     | 62,16                            | 1                     |
| K3          | 10       | 0,60                          | 100,38                    | 62,16                            | 2                     |
| K4          | 10       | 0,60                          | 100,38                    | 62,16                            | 2                     |
| K5          | 10       | 0,60                          | 71,11                     | 62,16                            | 1                     |
| K6          | 10       | 0,60                          | 123,57                    | 62,16                            | 2                     |
| K7          | 10       | 0,60                          | 123,57                    | 62,16                            | 2                     |
| K8          | 10       | 0,60                          | 120,22                    | 62,16                            | 2                     |
| K9          | 10       | 0,60                          | 182,8                     | 62,16                            | 3                     |
| K10         | 10       | 0,60                          | 182,8                     | 62,16                            | 3                     |
| K11         | 10       | 0,60                          | 120,22                    | 62,16                            | 2                     |
| K12         | 10       | 0,60                          | 123,27                    | 62,16                            | 2                     |
| K13         | 10       | 0,60                          | 119                       | 62,16                            | 2                     |
| K14         | 10       | 0,60                          | 210,03                    | 62,16                            | 3                     |
| K15         | 10       | 0,60                          | 184,93                    | 62,16                            | 3                     |
| K16         | 10       | 0,60                          | 184,93                    | 62,16                            | 3                     |
| K17         | 10       | 0,60                          | 210,03                    | 62,16                            | 3                     |
| K18         | 10       | 0,60                          | 119                       | 62,16                            | 2                     |
| K19         | 10       | 0,60                          | 136,51                    | 62,16                            | 2                     |
| K20         | 10       | 0,60                          | 210,03                    | 62,16                            | 3                     |
| K21         | 10       | 0,60                          | 100,38                    | 62,16                            | 2                     |
| K22         | 10       | 0,60                          | 100,38                    | 62,16                            | 2                     |
| K23         | 10       | 0,60                          | 210,03                    | 62,16                            | 3                     |
| K24         | 10       | 0,60                          | 136,51                    | 62,16                            | 2                     |
| K25         | 10       | 0,60                          | 87,71                     | 62,16                            | 1                     |
| K26         | 10       | 0,60                          | 100,38                    | 62,16                            | 2                     |
| K27         | 10       | 0,60                          | 184,4                     | 62,16                            | 3                     |

**Tabel 5.8** Perhitungan Jumlah Tiang pada Kolom berdasarkan Batas yang berlaku (Lanjutan)

|      |    |      |        |       |   |
|------|----|------|--------|-------|---|
| 8,28 | 10 | 0,60 | 184,4  | 62,16 | 3 |
| 8,29 | 10 | 0,60 | 181,35 | 62,16 | 3 |
| 8,30 | 10 | 0,60 | 87,73  | 62,16 | 1 |
| 8,31 | 10 | 0,60 | 97,7   | 62,16 | 2 |
| 8,32 | 10 | 0,60 | 71,68  | 62,16 | 1 |
| 8,33 | 10 | 0,60 | 71,68  | 62,16 | 1 |
| 8,34 | 10 | 0,60 | 97,7   | 62,16 | 2 |
| 8,35 | 10 | 0,60 | 182,4  | 62,16 | 3 |
| 8,36 | 10 | 0,60 | 202,27 | 62,16 | 3 |
| 8,37 | 10 | 0,60 | 202,27 | 62,16 | 3 |
| 8,38 | 10 | 0,60 | 182,4  | 62,16 | 3 |
| 8,39 | 10 | 0,60 | 97,53  | 62,16 | 2 |
| 8,40 | 10 | 0,60 | 70,11  | 62,16 | 1 |
| 8,41 | 10 | 0,60 | 70,11  | 62,16 | 1 |
| 8,42 | 10 | 0,60 | 97,53  | 62,16 | 2 |

#### 5.5.4. Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok

Ukuran kelompok tiang digunakan untuk memperkirakan kemampuan daya dukung berdasarkan kelompok tiang. Pengaturan kelompok tiang menjadi sedemikian sehingga tiang tunggal tidak mampu menahan beban yang diberikan atau jika ukuran tiang tunggal terlalu besar.



**Gambar 5.5** Contoh Perencanaan Jumlah Batas Tiang

Contoh perhitungan efisiensi kelompok tiang ( $E_g$ ) untuk 3 tiang pada kolom K28:

- Jumlah basis tiang,  $n$  = 3
- Jumlah tiang dalam satu basis,  $x$  = 3
- Kedalaman = 10 m

- Diameter tang,  $D$  = 0,60 m
- Jarak antara pusat tang,  $s$  = 20  
= 2 . 0,60  
= 1,2 m
- $\phi$  = sudut  $D/s$   
= sudut  $45/60(1,2)$   
= 26,57°
- Efisiensi kelompok tang,  $E_g$  =  $1 - \phi \frac{(s^2 - 4) \cos(\phi) - 4/s}{32ms}$   
=  $1 - 26,57 \frac{(1,2^2 - 4) \cos(26,57) - 4/0,6}{32 \cdot 1,2}$   
= 0,80
- Befan efektif tang tunggal,  $Q_e$  = 186,48 ton
- Befan yang bekerja,  $Q_v$  = 210,00 ton

- Daya dukung kelompok tang ( $Q_g$ ) untuk 3 tang:

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_e$$

$$= 0,80 \cdot 3 \cdot 186,48$$

$$= 449,35 \text{ ton}$$

$$\text{Kontrol } Q_g > Q_v$$

$$449,35 > 210,00 \quad \text{--- AMAN}$$

**Tabel 5.5** Daya Dukung Kelompok Tang Perakitan

| Nomor<br>Kultur | Efisiensi<br>Kelompok<br>Tang, $E_g$ | Jumlah<br>Tang Per<br>Kelompok | Befan<br>Efektif Tang<br>Tunggal, $Q_e$ | Daya<br>Dukung<br>Kelompok<br>Tang, $Q_g$ | Befan yang<br>Bekerja, $Q_v$ | KONTROL     |
|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|-------------|
|                 |                                      |                                | ton                                     | ton                                       | ton                          | $Q_g > Q_v$ |
| K.1             | 0,80                                 | 2                              | 186,48                                  | 299,57                                    | 123,57                       | AMAN        |
| K.3             | 0,80                                 | 2                              | 186,48                                  | 299,57                                    | 101,35                       | AMAN        |
| K.4             | 0,80                                 | 2                              | 186,48                                  | 299,57                                    | 101,35                       | AMAN        |
| K.6             | 0,80                                 | 2                              | 186,48                                  | 299,57                                    | 123,57                       | AMAN        |
| K.7             | 0,80                                 | 2                              | 186,48                                  | 299,57                                    | 123,57                       | AMAN        |
| K.8             | 0,80                                 | 2                              | 186,48                                  | 299,57                                    | 126,22                       | AMAN        |

**Tabel 5.7** Daya Dukung Kalkunpuk Using Perforasi (**Langitua**)

|      |      |   |        |        |        |      |
|------|------|---|--------|--------|--------|------|
| K.9  | 0,80 | 1 | 186,48 | 449,35 | 182,8  | AMAN |
| K.10 | 0,80 | 1 | 186,48 | 449,35 | 182,8  | AMAN |
| K.11 | 0,80 | 2 | 186,48 | 259,57 | 135,22 | AMAN |
| K.12 | 0,80 | 2 | 186,48 | 259,57 | 123,57 | AMAN |
| K.13 | 0,80 | 2 | 186,48 | 259,57 | 139    | AMAN |
| K.14 | 0,80 | 1 | 186,48 | 449,35 | 210,03 | AMAN |
| K.15 | 0,80 | 1 | 186,48 | 449,35 | 184,95 | AMAN |
| K.16 | 0,80 | 1 | 186,48 | 449,35 | 184,95 | AMAN |
| K.17 | 0,80 | 1 | 186,48 | 449,35 | 210,03 | AMAN |
| K.18 | 0,80 | 2 | 186,48 | 259,57 | 139    | AMAN |
| K.19 | 0,80 | 2 | 186,48 | 259,57 | 136,51 | AMAN |
| K.20 | 0,80 | 1 | 186,48 | 449,35 | 210,03 | AMAN |
| K.21 | 0,80 | 2 | 186,48 | 259,57 | 181,35 | AMAN |
| K.22 | 0,80 | 2 | 186,48 | 259,57 | 180,35 | AMAN |
| K.23 | 0,80 | 1 | 186,48 | 449,35 | 210,03 | AMAN |
| K.24 | 0,80 | 2 | 186,48 | 259,57 | 136,51 | AMAN |
| K.25 | 0,80 | 2 | 186,48 | 259,57 | 180,35 | AMAN |
| K.27 | 0,80 | 1 | 186,48 | 449,35 | 184,4  | AMAN |
| K.28 | 0,80 | 1 | 186,48 | 449,35 | 184,4  | AMAN |
| K.29 | 0,80 | 2 | 186,48 | 259,57 | 180,35 | AMAN |
| K.31 | 0,80 | 2 | 186,48 | 259,57 | 97,7   | AMAN |
| K.34 | 0,80 | 2 | 186,48 | 259,57 | 97,7   | AMAN |
| K.35 | 0,80 | 1 | 186,48 | 449,35 | 182,4  | AMAN |
| K.36 | 0,80 | 1 | 186,48 | 449,35 | 202,27 | AMAN |
| K.37 | 0,80 | 3 | 186,48 | 449,35 | 202,27 | AMAN |
| K.38 | 0,80 | 1 | 186,48 | 449,35 | 182,4  | AMAN |
| K.39 | 0,80 | 2 | 186,48 | 259,57 | 97,33  | AMAN |
| K.42 | 0,80 | 2 | 186,48 | 259,57 | 97,33  | AMAN |

## 5.6 Perencanaan Dimensi Pelat Penutup Tiang (Pile Cap)

Dari **Gambar 3.17**, dapat digunakan dimensi pelat penutup tiang (pile cap) sebagai berikut:

- Diameter tiang pancang,  $d$   $= 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m}$
  - Jarak tiang dalam satu baris,  $s$   $= 7 \text{ tiang}$
  - Jarak antara pusat tiang,  $a$   $= 2,35$   
 $= 2,0,6 + 1,2 \text{ m}$
  - Lebar pile cap,  $b$   $= (n \cdot d + 10) + 30 \text{ cm}$   
 $= (3 \cdot 0,6 + 1 \cdot 0,6) + 0,30$   
 $= 2,7 \text{ m}$
  - Jarak pusat tiang ke tepi pile cap  $= (b - a) / 2$   
 $= (2,7 - 1,2) / 2$   
 $= 0,75 \text{ m}$
  - Beban yang bekerja pada kolom,  $P$  (beban maksimum pada kolom)  $= 21000 \text{ ton} = 210000 \text{ kg}$
  - Tebal pile cap minimum,  $h$   $= 0,5 \text{ m} = 50 \text{ cm}$
  - Berat beton pile cap,  $k$   $= 250 \text{ kg/cm}^3$
  - Tegangan tarik pile cap,  $t_{\text{tarik}}$   $= 0,85 \cdot k$   
 $= 0,85 \cdot 250$   
 $= 10,28 \text{ kg/cm}^2$
  - Tegangan pile cap,  $t$   $= \frac{P}{4 \cdot A (5 + 4 \cdot \frac{a}{b})}$   
 $= \frac{210000}{4 \cdot 40 (50 + 40 \cdot \frac{a}{b})}$   
 $= 4,57 \text{ kg/cm}^2$
- |          |      |     |                    |       |
|----------|------|-----|--------------------|-------|
| Kontrol: | $t$  | $<$ | $t_{\text{tarik}}$ |       |
|          | 4,57 | $<$ | 10,28              | —AMAN |

## 5.7. Perhitungan Pemrosesan Pondasi

### 5.7.1. Perhitungan Pemrosesan Pondasi Tiang Tunggol Mendek Sesi – Empiris

#### 1) Pemrosesan Segera Tiang Tunggol

Pemrosesan segera fondasi tiang tunggal menggunakan data perhitungan daya dukung tiang dari *Standard Penetration Test (SPT)* metode Lucas Hammer sebagai berikut:

Contoh perhitungan pemrosesan fondasi pada kolom K20:

- Diameter tiang panjang,  $D$  = 60 cm
- Kedalaman,  $L$  = 16 m = 1600 cm
- Daya dukung ujung,  $Q_p$  = 72,18 ton
- Daya dukung selaras,  $Q_s$  = 114,30
- Beban yang bekerja,  $Q_f$  K20 = 210,00
- Koefisien dari *skin friction*,  $\xi$  = 0,5 (untuk diameter gesekan yang berhemat digunakan akan berkurang)  
 $\approx 1,4 \cdot \pi \cdot D$   
 $= 1,4 \cdot 3,14 \cdot 1600$   
 $= 7238 \text{ cm}^2$
- Kuat tarik beton,  $F_c$  = 32 Mpa
- Modulus elastisitas tiang,  $E_p$   $\approx 4700 \cdot \sqrt{F_c}$   
 $= 4700 \cdot \sqrt{32}$   
 $= 11862,38 \text{ N/cm}^2$   
 $= 118,62 \text{ ton/cm}^2$
- Beban yang ditanggung ujung tiang ( $Q_{up}$ )  
 $= \frac{Q_p}{Q_p + Q_s} \cdot Q_f$   
 $= \frac{72,18}{72,18 + 114,30} \cdot 210,00$   
 $= 81,30 \text{ ton}$
- Beban yang ditanggung selaras tiang ( $Q_{ws}$ )  
 $= \frac{Q_s}{Q_p + Q_s} \cdot Q_f$   
 $= \frac{114,30}{72,18 + 114,30} \cdot 210,00$   
 $= 128,71 \text{ ton}$
- Pemrosesan akibat deformasi aksial tiang (SI)  
 $= \frac{Q_{up} - \xi \cdot Q_{ws} \cdot L}{40 + 40}$

$$= \frac{81,30 + 1,8 \cdot 118,73 \cdot 1400}{1216 + 1216}$$

$$= 0,10 \text{ cm}$$

- c. Penurunan dari rongga ruang (S7)

$$= \frac{Q_{S7}}{A_g} = \frac{81,30}{1216} = 0,03 \text{ mm/cm}^2$$

- d.  $C_p$

$$= 0,02 \text{ Ruang panjang (Tabel 3.38 nilai koefisien aspirasi, } C_p)$$

$$= \frac{Q_{S7} \cdot C_p}{2 \cdot A_g} = \frac{81,30 \cdot 0,02}{2 \cdot 1216} = 1,41 \text{ cm}$$

- e. Penurunan akibat beban yang diizinkan sepanjang ruang (S7)

$$= (0,95 + 0,16 \cdot L/D) \cdot C_p$$

$$= (0,95 + 0,16 \cdot 1600/60) \cdot 0,02$$

$$= 0,02$$

$$= \frac{Q_{S7} \cdot C_p}{2 \cdot A_g} = \frac{81,30 \cdot 0,02}{2 \cdot 1216} = 0,14 \text{ cm}$$

- f. Penurunan total ruang

$$= 110 \text{ cm}$$

- g. Penurunan vakua total ruang (S)

$$= S_1 + S_2 + S_3$$

$$= 0,10 + 1,81 + 0,18$$

$$= 1,903 \text{ cm}$$

$$= 16,03 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad \text{AMAN}$$

**Table 13** Multiple Regression Table (Step 1) (Model 1) (R=0.10)

| Model | Sum of Squares | Mean Square | F    | df1 | df2 | Sig. | Adjusted R Square | df1 | df2 | Sum of Squares | Mean Square | F    | Sig. |
|-------|----------------|-------------|------|-----|-----|------|-------------------|-----|-----|----------------|-------------|------|------|
| 1     | 1.00           | 1.00        | 1.00 | 1   | 10  | .33  | 0.00              | 1   | 10  | 1.00           | 1.00        | 1.00 | .33  |
| 2     | 1.00           | 1.00        | 1.00 | 1   | 10  | .33  | 0.00              | 1   | 10  | 1.00           | 1.00        | 1.00 | .33  |
| 3     | 1.00           | 1.00        | 1.00 | 1   | 10  | .33  | 0.00              | 1   | 10  | 1.00           | 1.00        | 1.00 | .33  |
| 4     | 1.00           | 1.00        | 1.00 | 1   | 10  | .33  | 0.00              | 1   | 10  | 1.00           | 1.00        | 1.00 | .33  |
| 5     | 1.00           | 1.00        | 1.00 | 1   | 10  | .33  | 0.00              | 1   | 10  | 1.00           | 1.00        | 1.00 | .33  |
| 6     | 1.00           | 1.00        | 1.00 | 1   | 10  | .33  | 0.00              | 1   | 10  | 1.00           | 1.00        | 1.00 | .33  |
| 7     | 1.00           | 1.00        | 1.00 | 1   | 10  | .33  | 0.00              | 1   | 10  | 1.00           | 1.00        | 1.00 | .33  |
| 8     | 1.00           | 1.00        | 1.00 | 1   | 10  | .33  | 0.00              | 1   | 10  | 1.00           | 1.00        | 1.00 | .33  |
| 9     | 1.00           | 1.00        | 1.00 | 1   | 10  | .33  | 0.00              | 1   | 10  | 1.00           | 1.00        | 1.00 | .33  |
| 10    | 1.00           | 1.00        | 1.00 | 1   | 10  | .33  | 0.00              | 1   | 10  | 1.00           | 1.00        | 1.00 | .33  |

### 5.7.2. Perhitungan Pemertan Pondasi Tiang Kelompok Merode Veric (1989)

#### 1). Pemertan Segera Tiang Kelompok

Cara: perhitungan pemertan tiang kelompok dengan jumlah tiang 2 buah pada kolom 120.

- Diameter tiang pancang,  $d$  = 60 cm = 0,60 m
- Pemertan tiang tunggal,  $s$  = 1,67 cm = 0,0167 m
- Jarak antara tiang (as ke as),  $a$  = 1,5 m
- Lebar kelompok tiang,  $B_g$  = 2,7 m

Maka, pemertan tiang kelompok ( $S_g$ ).

$$\begin{aligned} S_g &= s \sqrt{\frac{B_g}{2}} = 0,0167 \sqrt{\frac{2,7}{2}} = 0,015 \text{ m} \\ &= 15 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad \dots \text{AMAN} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan pemertan segera tiang kelompok diperoleh pemertan sebesar 15 mm, pemertan ini masih dalam batas pemertan yang diberikan yaitu < 150 mm. selanjutnya perhitungan pemertan segera tiang kelompok untuk variasi jumlah tiang dapat dilihat pada **Tabel 5.18**.



**Tabel 5.10** Perhitungan Pemunatan Sumbu Tiang Kelompok Perilaku (Langgata)

|      |      |       |   |     |     |       |    |      |
|------|------|-------|---|-----|-----|-------|----|------|
| K.34 | 0,60 | 0,016 | 2 | 1,6 | 2,7 | 0,034 | 14 | AMAN |
| K.35 | 0,60 | 0,017 | 2 | 1,6 | 2,7 | 0,035 | 15 | AMAN |
| K.36 | 0,60 | 0,017 | 2 | 1,6 | 2,7 | 0,035 | 15 | AMAN |
| K.37 | 0,60 | 0,017 | 2 | 1,6 | 2,7 | 0,035 | 15 | AMAN |
| K.38 | 0,60 | 0,017 | 2 | 1,6 | 2,7 | 0,035 | 15 | AMAN |
| K.39 | 0,60 | 0,016 | 2 | 1,6 | 2,7 | 0,034 | 14 | AMAN |
| K.42 | 0,60 | 0,016 | 2 | 1,6 | 2,7 | 0,034 | 14 | AMAN |

## 5.5 Metode Elemen Hingga PLAXIS 3D

Analisis dengan menggunakan PLAXIS 3D Versi 2023 bertujuan untuk menentukan posisi tiang yang menghasilkan desain fondasi paling efisien. Optimasi desain fondasi didasarkan pada besarnya deformasi, perantara, gaya aksial, dan momen lentur.

### 5.5.1. Desain Fondasi Tiang Pancang

Desain fondasi tiang pancang akan direvisikan dalam bentuk tipe desain menggunakan elemen dengan 10 node. Bahan yang dimasukkan berupa beton tdk (jenis kuat) yang terletak pada satu barisan sepanjang sumbu x. Bahan beton yang dimasukkan ke fondasi ini merupakan data primer diperoleh dari SAP200.

#### 1). Permodelan Tanah

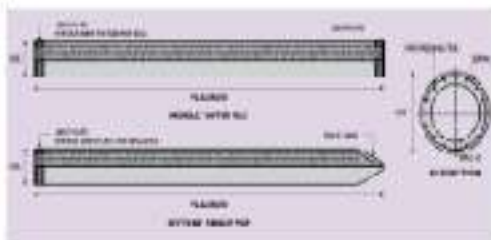
Sebelum jenis tanah akan direvisikan menggunakan model Mohr-Coulomb. Permodelan ini akan dilakukan berdasarkan perilaku terdruksi untuk tanah bergaris dan lurus, serta perilaku tak terdruksi untuk tanah lempung. Pada perilaku terdruksi, tekanan air pori berlebih tidak akan muncul secara instan. Parameter tanah dan fondasi tiang pancang yang digunakan dalam permodelan dengan PLAXIS 3D Versi 2023 dapat dilihat pada Tabel 5.11.



## 2) Permodelan Tiang Pancang

Tiang pancang yang digunakan tipe *Prestressed Concrete Pre-tension Spun*

PCs



Gambar 5.6 Tiang Pancang *Prestressed Concrete Pre-tension Spun Pile*

Sumber: <https://www.wika-helm.co.id/konvensional.html>

- Diameter,  $D$  = 300 mm = 0,3 m
- Panjang,  $P$  = 16 m
- Berat,  $W$  = 393 kg/m
- Tebal dinding,  $t$  = 100 mm = 0,1 m
- Luas Bang.  $A_p$ 

$$= (4 \cdot \pi \cdot D^2) - (\pi \cdot \pi \cdot D^2) - (\pi \cdot \pi \cdot t^2)$$

$$= (4 \cdot \pi \cdot 0,3^2) - (\pi \cdot \pi \cdot 0,1^2)$$

$$= 0,12 \pi^2$$
- Berat isi beton,  $\gamma$  = 24 kN/m<sup>3</sup>
- Modulus Beton = 52 MPa
- Modulus Elastisitas,  $E$ 

$$= 4700 \cdot f_c$$

$$= 4700 \cdot 52$$

$$= 246200 \text{ N/mm}^2$$

$$= 246,2 \text{ MPa}$$

### 3) Permodelan Pile Cap

- Panjang pile cap = 2,3 m
- Jarak antar kolom = 1,6 m
- Lebar pile cap = 1,1 m
- Tinggi pile cap = 0,5 m
- Jarak pusat tiang ke tepi = 0,33 m
- Mutu beton,  $f_c'$  = 24 MPa
- Modulus Elastisitas
  - $= 4700 \times E_c$
  - $= 4700 \times 24$
  - $= 11025,20 \text{ N/mm}^2$
  - $= 110,25 \text{ ton/cm}^2$

### 4) Pembebanan

Untuk pembebanan pada fondasi ring panjang diberikan beban maksimum yang bekerja pada kolom yaitu beban di kolom K29 dengan nilai beban 210.63 ton.

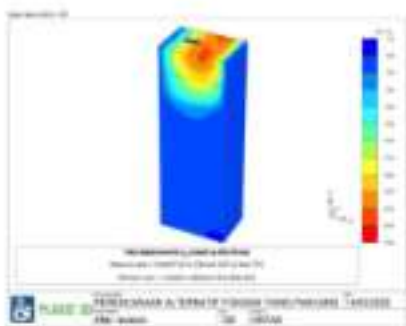
#### 5.8.1. Analisis Interaksi Fondasi Tiang Pancang dan Tanah menggunakan FLAXIS 3D

Berikut hasil analisis perpindahan tanah (*displacement*), *Axial Forces* dan *Bending Moment* menggunakan FLAXIS 3D versi 2023 untuk model yang telah dibuat:

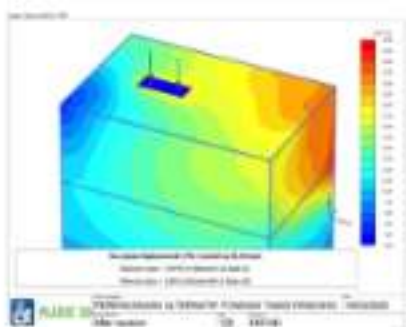
##### A. *Displacement*

###### (i) *Displacement Arak x*

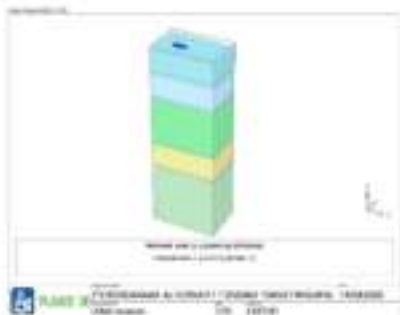
*Displacement* arah  $x$  adalah perpindahan nilai komponen pada fondasi ring panjang akibat pengaruh beban sepanjang sumbu  $x$ .



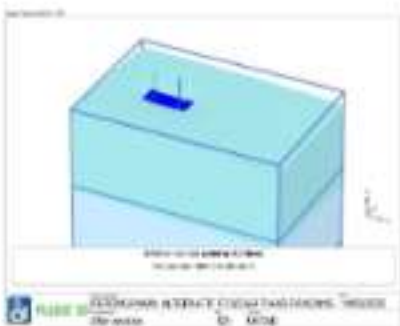
Gambar 5.7 Displacement Readings Finitasi Analis (PLAXIS 3D, 2025)



Gambar 5.8 Total Displacement Readings Finitasi Analis (PLAXIS 3D, 2025)



Gambar 5.9 Displacement Contour Foundation Analis (PLAXIS 3D, 2025)

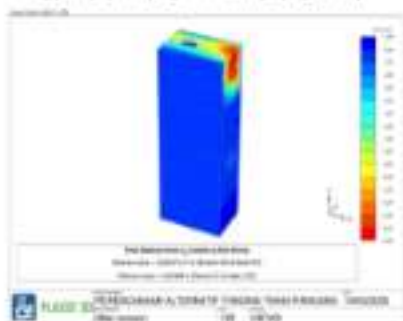


Gambar 5.10 Detail Displacement Contour Foundation Analis (PLAXIS 3D, 2025)

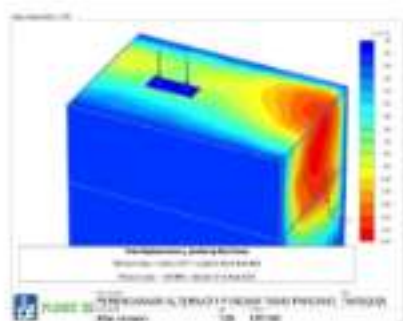
Titik yang ditunjuk pada displacement analis adalah titik yang mempunyai displacement terbesar yaitu ditunjuk nilai 0,04435 m (44,35 mm).

### 2) *Displacement Arak y*

*Displacement Arak y* adalah perpindahan titik terapan pada fondasi yang piringan akibat pengaruh beban sepanjang arah *y*.



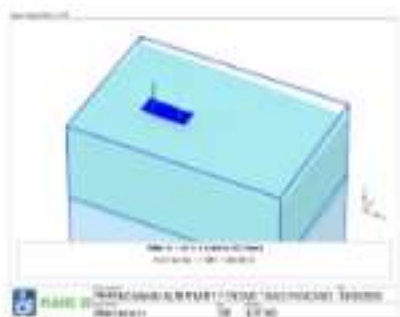
Gambar 5.11 *Displacement Results* Fondasi Arak *y* (PLAXIS 3D, 2025)



Gambar 5.12 *Detail Displacement Results* Fondasi Arak *y* (PLAXIS 3D, 2025)



Gambar 5.13 Displacement Contour Fondasi Arak y (PLAXIS 3D, 2023)

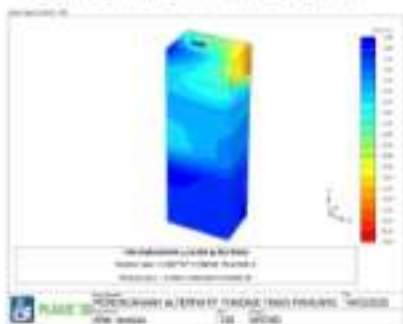


Gambar 5.14 Hasil Displacement Contour Fondasi Arak y (PLAXIS 3D, 2023)

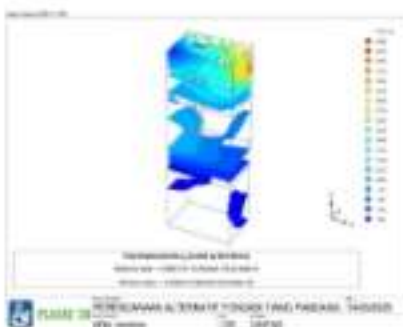
Titik yang ditinjau pada displacement arah y adalah titik yang mengalami displacement terbesar yaitu dengan nilai 0,04625 m (44,35 mm).

### 3) *Displacement Arak Z*

Displacement arah  $z$  adalah perpindahan titik komposisi pada fondasi yang panjangnya akibat pengaruh beban sepanjang sumbu  $z$ .



Gambar 5.15 Displacement Masing Masing Arah  $z$  (PLAXIS 3D, 2023)

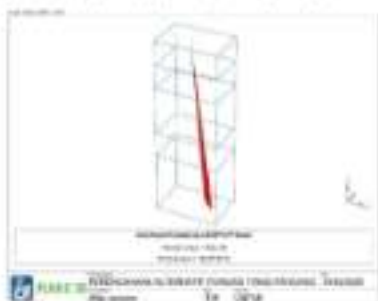


Gambar 5.16 Displacement ISO Masing Masing Arah  $z$  (PLAXIS 3D, 2023)

Titik yang berada pada perpendukan arah  $x$  menunjukkan nilai perpendukan terbesar sebesar 0,000990 m (0,990 mm). Dari hasil perpendukan belum tersebut, nilai maksimum pada arah  $x$  diambil sebagai nilai pemrosesan dari Analisis PLAXIS 3D, yaitu sebesar 0,000990 m (0,990 mm).

## B. Axial Force

Dari hasil analisis PLAXIS 3D didapatkan nilai **maximum Axial Force** yaitu Gaya Aksial yang bekerja pada tiang Pancang terhadap tanah.



Gambar 5.17 Maximum Axial Force (PLAXIS 3D, 2021)

Dari hasil analisis gaya di atas diambil nilai terbesar yaitu nilai **Maximum Axial Force** sebesar 518,2 kN (52,841 ton) sedangkan bentuk aksial yang bekerja pada kelentur sebesar 210,0 mm. Artinya bahwa tiang sangat aman terhadap gaya aksial yang bekerja.

### C. *Bending Moment*

Dari hasil analisis PLANS 3D didapatkan nilai *Bending Moment* arah X dan Y pada balok yang menjadi alat yang panjang yang menurut Gips Alind.



Gambar 5.15 *Bending Moment* arah X (PLANS 3D, 2022)



Gambar 5.16 *Bending Moment* arah Y (PLANS 3D, 2022)

Berdasarkan hasil analisis PLANS 3D, diperoleh nilai maksimum Momen Lentur (*Bending Moment*) pada arah X sebesar 213,4 kN dan pada arah Y sebesar 16,55 kN. Hal ini menunjukkan bahwa tumpuan panjang yang digunakan aman terhadap momen lentur, karena nilai maksimum tersebut masih di bawah batas maksimum yang diberikan menurut spesifikasi tumpuan panjang, yaitu nilai rentak (*swale*) sebesar 17 cm dan nilai patok (*swale*) sebesar 25,50 cm, seperti tercantum dalam bentuk Wika pada Tabel 5.4.

### 5.5.3. Perbandingan Hasil Analisis PLAXIS 3D dan Metode Perhitungan

Dimensi tangi panjang yang digunakan dalam perhitungan berdasarkan data SPT dan analisis PLAXIS 3D adalah diameter 0,6 m dengan kedalaman 16 m. Dari perhitungan data SPT, nilai daya dukung kritis ( $Q_{ult}$ ) yang digunakan adalah hasil metode Lucarec Decourt sebesar 62,16 ton. Oleh karena itu, daya dukung ultimate dari tangi dan perhitungan tersebut. Nilai pemertasan maksimum diambil dari kolom K-20 dengan lebar 35 cm (hasil perhitungan pemertasan segitiga pada kelompok tangi). Faktor keamanan (*Safety Factor*) yang diterapkan dalam perhitungan data SPT adalah 1,8. Untuk memastikan nilai daya dukung ultimate berdasarkan hasil analisis PLAXIS 3D, dapat dilakukan dengan mengkalikan aman before dan pemertasan.

$$Q_{ult} = \frac{Q_p}{FOS}$$

$$FOS = 1,8 \text{ (hasil Analisis faktor keamanan PLAXIS 3D)}$$

Jadi, daya dukung ultimate tangi ( $Q_{ult}$ ) adalah

$$Q_{ult} = \frac{1065}{1,8}$$

$$= 591,67 \text{ ton}$$

$$Q_{ult} > Q_p$$

$$1065,16 > 591,67 \dots \text{AMAN}$$

Perbandingan dari hasil analisis PLAXIS 3D dan metode perhitungan dapat dilihat pada

**Tabel 5.12.** Perbandingan Hasil Analisis PLAXIS 3D dan Metode Perhitungan

| Metode                                  | Daya Dukung Ultimate, $Q_{ult}$<br>(ton) | Pemertasan Total<br>(mm) | Faktor Aman<br>(FS) |
|-----------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------|---------------------|
| PLAXIS 3D                               | 591,67                                   | 3,3                      | —                   |
| Perhitungan SPT<br>(Lucarec<br>Decourt) | 106,5                                    | 30                       | 1,8                 |

## 5.9. Pembahasan

Pemecanan fondasi untuk Pelabuhan Kecamatan Hamara, Kabupaten Donggala menggunakan tiang pancang dengan penampang berbentuk lingkaran, yang didesain pada hasil penyelidikan tanah menggunakan *Standard Penetration Test* (SPT). Setelah mendapatkan nilai N-SPT, nilai tersebut digunakan untuk menentukan berat jenis tanah ( $\gamma_{sat}$ ) dan kelas tektonik ( $C_u$ ) melalui korelasi dengan metode empiris.

Pada pemecanan karakteristik tanah di lokasi perhitungan, jenis tanah pada setiap lapisan telah diidentifikasi. Lapisan 0 – 4 m terdiri dari lumpur berbutir dan berpasir, 4 – 10 m lumpur berpasir, 10 – 16 m lumpur berpasir dan berbutir, dan 16 – 22 m lumpur berpasir, berdasarkan data hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT).

Pemecanan fondasi pahlang Pelabuhan Kecamatan Hamara, Kabupaten Donggala menggunakan tiang pancang sebagai fondasi. Dimensi tiang pancang yang dipilih dalam perhitungan adalah diameter 9,6 m dan kedalaman 16 m, dengan daya dukung fondasi dihitung berdasarkan data dari *Standard Penetration Test* (SPT).

Perhitungan pembebanan dilakukan pada data primer yang diperoleh dari pemecanan struktur Pelabuhan Kecamatan Hamara, Kabupaten Donggala. Rasio reduksi dihitung menggunakan program SAP2000, yang menghasilkan output berupa beban aktual, beban yang bekerja pada fondasi tiang pancang dimasukkan sebagai beban titik atau beban aktual ( $Q_u$ ).

Contoh hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data SPT *Standard Penetration Test* dan Analisa PLAXIS 3D dapat dilihat pada **Tabel 5.13**.

**Tabel 5.13** Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang untuk Kedalaman 16 m dengan Diameter 9,60 m

| Jenis Data          | $Q_p$ (ton) | $Q_u$ (ton) | $Q_u$ (ton) | $Q_u$ (ton) |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| SPT                 |             |             |             |             |
| Mayrhoof dan Hamara | 184,47      | 39,10       | 243,58      | 81,15       |
| Lajana Derivat      | 12,18       | 114,50      | 186,48      | 62,16       |
| Analisa PLAXIS 3D   | -           | -           | 133,08      | -           |

Berdasarkan Tabel 5.13, terlihat bahwa nilai daya dukung ujung ( $Q_u$ ) dan daya dukung ulirnet ( $Q_s$ ) dengan dimensi dan kedalaman fondasi yang sama diperoleh dari perhitungan berdasarkan data SPT (*Standard Penetration Test*) serta analisis PLAXIS 3D. Karena alasan faktor keamanan, nilai terkecil yang berasal dari perhitungan data SPT menggunakan metode Lucareo Decourt dipilih sebagai acuan dalam pemenuhan.

Jumlah tiang fondasi ditentukan berdasarkan perbandingan antara beban yang bekerja pada setiap kolom ( $Q_v$ ) dengan nilai daya dukung per fondasi ( $Q_u$ ). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa fondasi yang digunakan adalah fondasi kelompok dengan dimensi diameter 0,6 m dan kedalaman 16 m. Jumlah tiang yang diperlukan didasarkan dengan beban yang diberikan oleh masing-masing kolom.

Nilai pemenuhan diperoleh dari kolom 820 karena di kolom ini beban maksimum bekerja. Pemenuhan segmen pada fondasi tiang tunggal sebesar 16,03 mm, sedangkan pada fondasi tiang kelompok sebesar 35 mm, dengan tiang berdiameter 0,6 m dan panjang 16 m. Jika dibandingkan dengan batas pemenuhan yang diberikan sebesar 150 mm, maka pemenuhan pada tiang tunggal maupun tiang kelompok masih berada dalam batas yang aman.

Perbandingan antara hasil analisis PLAXIS 3D dan perhitungan menggunakan data SPT menunjukkan bahwa nilai daya dukung ulirnet ( $Q_s$ ) dari analisis PLAXIS 3D adalah 110,09 mm, sedangkan berdasarkan metode Lucareo Decourt sebesar 210,01 mm. Untuk nilai pemenuhan, PLAXIS 3D menghasilkan 5,4 mm, sementara perhitungan dengan metode Lucareo Decourt menunjukkan pemenuhan maksimum sebesar 35 mm.

Perbandingan nilai analisis PLAXIS 3D versi 2023 terhadap perhitungan data SPT sebagai berikut:

a. Analisis PLAXIS 3D

- Daya dukung ulirnet ( $Q_s$ ) = 110,09 mm
- **Displacement Maximum** Nilai amb. B. = 44,35 mm < 150 mm

b. Metode Lucareo Decourt dengan data SPT (*Standard Penetration Test*)

- Daya dukung ulirnet ( $Q_s$ ) = 186,48 mm
- Pemenuhan sebesar = 35 mm < 150 mm

c. Berdasarkan data yang diperoleh diatas, disimpulkan bahwa nilai daya dukung ulirnet yang diperoleh dari analisis menggunakan PLAXIS 3D dan perhitungan dengan data SPT (*Standard Penetration Test*) metode Lucareo Decourt jauh

berbeda dengan nilai daya tahanan ultimat ( $Q_u$ ) pada analisis PLAXIS 3D lebih besar. Namun, terlihat tidak jauh berbeda untuk hasil pemampatan. Dimana nilai analisis metode PLAXIS 3D sedikit lebih besar dari metode Lusiato Decourt. Hal ini disebabkan oleh analisis yang dilakukan oleh Program PLAXIS 3D yang rata-ranya lebih memberikan nilai selnya masih di lapangan.

## BAB VI

### PENUTUP

#### 6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, maka diambil kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil SAP2000 didapatkan beban aksial ( $Q_v$ ) sebesar 201,03 ton sehingga digunakan sebagai beban aksial ( $Q_v$ ) pada pemecahan fondasi tang panjang.
  - a. Dari sisi fondasi tang panjang yang dimensikan serta telah menerima syarat akan berdasarkan hasil perhitungan daya dukung tanah dan pemecahan dengan data SPT (Standard Penetration Test) sebagai:
    - diameter tang (D) = 0,4 m
    - kedalaman (L) = 16 m
    - daya dukung tan Luceno Theoret = 62,16 ton
  - b. Hasil pemecahan yang terjadi pada fondasi tang panjang memiliki syarat keamanan yang berlaku yaitu:
    - Pemecahan segitiga fondasi tang tunggal = 16,03 mm < 150 mm
    - Pemecahan segitiga fondasi tang kelompok = 12 mm < 150 mmPemecahan keseluruhan fondasi tang tidak terjadi karena berdasarkan pengujian laboratorium tanah yang berada di proyek Pembangunan Pelabuhan Dwigala Kota berifat non-plastik.

2. Berdasarkan analisis struktur fondasi tang panjang dan tanah dengan PLAXIS 3D versi 2021 didapatkan nilai maksimum perpindahan beban (*displacement*) sebagai:
  - *Displacement Maximum Value* arah X = 44,35 mm < 150 mm
  - *Displacement Maximum Value* arah Y = 44,35 mm < 150 mm
  - *Displacement Maximum Value* arah Z = 0,900 mm < 150 mmNilai perpindahan beban (*displacement*) tersebut dari analisis PLAXIS 3D diambil sebagai nilai pemecahan yaitu nilai X dan Y sebesar 44,35 mm. Selain itu, didapatkan juga nilai faktor keamanan dan daya dukung ultimat ( $Q_u$ ) dari analisis PLAXIS 3D sebesar 139,09 ton.

Berdasarkan data yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa nilai daya

dituang ulang ( $Q_u$ ) yang dihitung menggunakan PLAXIS 3D jauh lebih besar dibandingkan dengan hasil perhitungan berdasarkan data SPT menggunakan metode Lunneken Decourt. Namun, untuk hasil penentuan, perbedaannya tidak terlalu signifikan di mana PLAXIS 3D memberikan hasil sedikit lebih besar. Perbedaan ini disebabkan karena analisis menggunakan PLAXIS 3D dianggap lebih akurat, karena mampu merepresentasikan kondisi tanah di lapangan dengan lebih baik.

## 6.2. **Saran**

Diperlukan data yang lengkap dan konsistensinya yang tinggi akan tidak cukup atau terapan konsistensinya dalam menentukan ranta fondasi guna mencapai nilai kapasitasnya dan terhadap hasil yang didapat. Lengkapnya data + data sekunder yang diperlukan maupun dan struktur sangat berpengaruh pemecahan dalam menentukan jenis fondasi yang tepat dan aman. Diperlukan juga konsistensi dalam penggunaan (tiori & praktik) aplikasi yang digunakan untuk pemecahan struktur guna mencapai keakuratan output dari aplikasi tersebut, karena kesalahan dalam perhitungan dapat berakibat fatal dalam realisasi pembangunan struktur sebuah bangunan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Harland, J. W., & Mitchell, J. M. (1999). *Piling and deep foundations: Proceedings of the International Conference on piling and deep foundations*. London, 1999. CRC Press.
- Howes, J. P. (1996). *Foundation Analysis and Design* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Craig, R. P. (2004). *Craig's Soil Mechanics* (7th ed.). CRC Press.
- Das, H. M. (1987). *Geotechnical Engineering Handbook*. J. Ross Publishing.
- Das, H. M. (2010). *Principles of Foundation Engineering* (7th ed.). Cengage Learning.
- Hardiyanto, H. C. (2002). *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyanto, H. C. (2006). *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyanto, H. C. (2011).  *Pondasi II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyanto, H. C. (2017).  *Pengujian Tanah di Lapangan dan Laboratorium*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyanto, H. C. (2018). *Teknik Pondasi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Lock, H. G. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. Taylor & Francis.
- Mochtar, D. (2009). *Geoteknik Terapan*. Bandung: ITI Press.
- Federal Highway Administration No. FHWA/IL/04-002. *Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods*.
- SNI 8401:2017. *Peraturan Perancangan Geoteknik*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1739:2019. *Tata Cara Perencanaan Struktur Gedung bertingkat Beraturan*.

Stacy, K., & Varga, J. (1981). *Foundation Failures*. Concrete publications.

Terzaghi, K., Peck, R. H., & Mohr, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (Inf ed.). Wiley.

Terzaghi, K., & Peck, R. H. (1944). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Wiley.

Hamwaja, H. (2009). *Perencanaan pelatukan*. Yogyakarta: Iain Offset.

Undang-Undang Republik Indonesia No. 17 Tahun 2008 tentang Pekerjaan.

Permenhub RI No. PM 51 Tahun 2013 tentang Penyelenggaraan Keperawatan.

Permenhub RI No. PM 17 Tahun 2008 tentang Tatautan Keperawatan Nasional.

# LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Tanah Hasil Pengujian SPT di Lapangan (001/01)

| Boring No. | Soil Unit Number (meter) | Description   | Σ C<br>Σ E<br>Σ R | Sub Soil Unit Number (meter) | Consistency / Quality | N-SPT (Blows/30 cm) |
|------------|--------------------------|---------------|-------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------|
| 001/01     | 1.0                      | 0.00 - 1.00   | 0                 | 0.00 - 1.00                  | -                     | -                   |
|            | 2.0                      | 1.00 - 2.00   | 1                 | 1.0                          | Kapukan Seling        | 22                  |
|            | 4.0                      | 2.00 - 4.00   | 2                 | 4.0                          | Kapukan Seling        | 26                  |
|            | 6.0                      | 4.00 - 6.00   | 3                 | 6.0                          | Kapukan Seling        | 17                  |
|            | 8.0                      | 6.00 - 8.00   | 4                 | 8.0                          | Kapukan Seling        | 26                  |
|            | 10.0                     | 8.00 - 10.00  | 5                 | 10.0                         | Kapukan Seling        | 28                  |
|            | 12.0                     | 10.00 - 12.00 | 6                 | 12.0                         | Padat                 | 33                  |
|            | 14.0                     | 12.00 - 14.00 | 7                 | 14.0                         | Padat                 | 47                  |
|            | 16.0                     | 14.00 - 16.00 | 8                 | 16.0                         | Sangat Padat          | 60                  |
|            | 18.0                     | 16.00 - 18.00 | 9                 | 18.0                         | Sangat Padat          | 60                  |
|            | 20.0                     | 18.00 - 20.00 | 10                | 20.0                         | Sangat Padat          | 60                  |
|            | 22.0                     | 20.00 - 22.00 | 11                | 22.0                         | Sangat Padat          | 60                  |

**Lampiran 2.** Data Tambak Basi Organik NPI di Lapangan (00-05)

| Baris No. | Soil Unit Number (mm) |               | Description                   | d <sub>10</sub> (mm) | Soil Unit Number (mm) | Consistency Density | N4PT (Baris 06 cm) |
|-----------|-----------------------|---------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|
| 001/5     | 1.0                   | 0.00 - 2.00   | Lempung Berbutir dan Berpasir | 0                    | 0.00 - 1.00           | -                   | -                  |
|           | 2.0                   | 1.00 - 2.00   | Lempung Berbutir dan Berpasir | 1                    | 2.0                   | Padat               | 34                 |
|           | 4.0                   | 2.00 - 4.00   | Lempung Berbutir dan Berpasir | 2                    | 4.0                   | Kapuk dan Selayang  | 30                 |
|           | 6.0                   | 4.00 - 6.00   | Lempung Berpasir              | 3                    | 6.0                   | Kapuk dan Selayang  | 25                 |
|           | 8.0                   | 6.00 - 8.00   | Lempung Berpasir              | 4                    | 8.0                   | Padat               | 48                 |
|           | 10.0                  | 8.00 - 10.00  | Lempung Berpasir              | 5                    | 10.0                  | Padat               | 47                 |
|           | 12.0                  | 10.00 - 12.00 | Lempung Berpasir dan Berbutir | 6                    | 12.0                  | Padat               | 51                 |
|           | 14.0                  | 12.00 - 14.00 | Lempung Berpasir dan Berbutir | 7                    | 14.0                  | Sangat Padat        | 52                 |
|           | 16.0                  | 14.00 - 16.00 | Lempung Berpasir dan Berbutir | 8                    | 16.0                  | Sangat Padat        | 50                 |
|           | 18.0                  | 16.00 - 18.00 | Lempung Berpasir              | 9                    | 18.0                  | Sangat Padat        | 49                 |
|           | 20.0                  | 18.00 - 20.00 | Lempung Berpasir              | 10                   | 20.0                  | Sangat Padat        | 49                 |
|           | 22.0                  | 20.00 - 22.00 | Lempung Berpasir              | 11                   | 22.0                  | Sangat Padat        | 49                 |

Lampiran 3. Data Tambahan Pengujian Laboratorium (III.01)

| No       | Tipe Pengujian      | Parameter /<br>Merkal | Satuan   | Hasil           | Kedalaman<br>Sampel (m) | Kode Sampel  |
|----------|---------------------|-----------------------|----------|-----------------|-------------------------|--------------|
| Berkas 1 |                     |                       |          |                 |                         |              |
| 1.       | Nadar Air           |                       |          |                 |                         |              |
|          | Kadar Air           | g                     | %        | 13.701          | 04.45-05.00.m           | III.01.125-1 |
|          | Kadar Air           | g                     | %        | 15.323          | 05.00-05.35.m           | III.01.125-2 |
|          | Kadar Air           | g                     | %        | 13.256          | 04.45-05.00.m           | III.01.125-3 |
|          | Kadar Air           | g                     | %        | 13.492          | 05.00-05.35.m           | III.01.125-4 |
| 2.       | Scori Jena          |                       |          |                 |                         |              |
|          | Scori Jena          | Ca                    |          | 2.640           | 04.45-05.00.m           | III.01.125-1 |
|          | Kadar Air           | Ca                    |          | 2.664           | 05.00-05.35.m           | III.01.125-2 |
|          | Kadar Air           | Ca                    |          | 2.664           | 04.45-05.00.m           | III.01.125-3 |
|          | Kadar Air           | Ca                    |          | 2.618           | 05.00-05.35.m           | III.01.125-4 |
| 3.       | Amilase Berangas    |                       |          |                 |                         |              |
|          | Procentase Terlarut | 2500                  | %        |                 | 04.45-05.00.m           | III.01.125-1 |
|          | Procentase Larut    | 4200                  | %        | 100.00          |                         |              |
|          | Procentase Terlarut | 4200                  | %        |                 | 05.00-05.35.m           | III.01.125-2 |
|          | Procentase Larut    | 4200                  | %        | 100.00          |                         |              |
|          | Procentase Terlarut | 4200                  | %        |                 | 04.45-05.00.m           | III.01.125-3 |
|          | Procentase Larut    | 4200                  | %        | 100.00          |                         |              |
|          | Procentase Terlarut | 4200                  | %        |                 | 05.00-05.35.m           | III.01.125-4 |
|          | Procentase Larut    | 4200                  | %        | 100.00          |                         |              |
| 4.       | Batas Mutu Adhesi   |                       |          |                 |                         |              |
|          | Batas Cat           | 11                    | %        | Pena Putih (NP) | 04.45-05.00.m           | III.01.125-1 |
|          | Batas Pleksi        | 8                     | %        |                 |                         |              |
|          | Isolasi Pleksi      | 19                    | %        |                 |                         |              |
|          | Batas Cat           | 11                    | %        | Pena Putih (NP) | 05.00-05.35.m           | III.01.125-2 |
|          | Batas Pleksi        | 8                     | %        |                 |                         |              |
|          | Isolasi Pleksi      | 19                    | %        |                 |                         |              |
|          | Batas Cat           | 11                    | %        | Pena Putih (NP) | 04.45-05.00.m           | III.01.125-3 |
|          | Batas Pleksi        | 8                     | %        |                 |                         |              |
|          | Isolasi Pleksi      | 19                    | %        |                 |                         |              |
|          | Batas Cat           | 11                    | %        | Pena Putih (NP) | 05.00-05.35.m           | III.01.125-4 |
|          | Batas Pleksi        | 8                     | %        |                 |                         |              |
|          | Isolasi Pleksi      | 19                    | %        |                 |                         |              |
| 5.       | Green Compang       |                       |          |                 |                         |              |
|          | Ketahanan           | g                     | Aggravat | 0.004           | 04.45-05.00.m           | III.01.125-1 |
|          | Salutur Gesso       | g                     | -        | 01.000          |                         |              |
|          | Ketahanan           | g                     | Aggravat | 0.007           | 05.00-05.35.m           | III.01.125-2 |
|          | Salutur Gesso       | g                     | -        | 04.592          |                         |              |
|          | Ketahanan           | g                     | Aggravat | 0.020           | 04.45-05.00.m           | III.01.125-3 |
|          | Salutur Gesso       | g                     | -        | 06.142          |                         |              |
|          | Ketahanan           | g                     | Aggravat | 0.001           | 05.00-05.35.m           | III.01.125-4 |
|          | Salutur Gesso       | g                     | -        | 01.001          |                         |              |

**Lampiran 4. Data Tambak Bauri Pengujian Laboratorium (III.03)**

| No                    | Jenis Pengujian     | Parameter / Simbol      | Satuan            | Hasil             | Ketahanan Sampel (g) | Kode Sampel    |              |
|-----------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------|--------------|
| Kanduk 1              |                     |                         |                   |                   |                      |                |              |
| 1.                    | Kadar Air           |                         |                   |                   |                      |                |              |
|                       | Kadar Air           | w                       | %                 | 15,000            | 04.45-05.00 mg       | III.03.13B-1   |              |
|                       | Kadar Air           | w                       | %                 | 16,500            | 05.00-05.35 mg       | III.03.13B-2   |              |
|                       | Kadar Air           | w                       | %                 | 18,100            | 04.45-05.00 mg       | III.03.13B-3   |              |
|                       | Kadar Air           | w                       | %                 | 18,300            | 05.00-05.35 mg       | III.03.13B-4   |              |
| 2.                    | Berat Jenuh         |                         |                   |                   |                      |                |              |
|                       | Berat Jenuh         | G <sub>b</sub>          |                   | 3,039             | 04.45-05.00 mg       | III.03.13B-1   |              |
|                       | Kadar Air           | G <sub>b</sub>          |                   | 2,611             | 05.00-05.35 mg       | III.03.13B-2   |              |
|                       | Kadar Air           | G <sub>b</sub>          |                   | 2,673             | 04.45-05.00 mg       | III.03.13B-3   |              |
|                       | Kadar Air           | G <sub>b</sub>          |                   | 2,698             | 05.00-05.35 mg       | III.03.13B-4   |              |
| 3.                    | Analisis Sarapan    |                         |                   |                   |                      |                |              |
|                       | Proteinasi Terlarut | <200                    | %                 | 95,48             | 04.45-05.00 mg       | III.03.13B-1   |              |
|                       | Proteinasi Terlarut | <200                    | %                 | 9,80              |                      |                |              |
|                       | Proteinasi Terlarut | <200                    | %                 | 97,48             | 05.00-05.35 mg       | III.03.13B-2   |              |
|                       | Proteinasi Terlarut | <200                    | %                 | 2,33              |                      |                |              |
|                       | Proteinasi Terlarut | <200                    | %                 | 98,39             | 04.45-05.00 mg       | III.03.13B-3   |              |
|                       | Proteinasi Terlarut | <200                    | %                 | 1,80              |                      |                |              |
|                       | Proteinasi Terlarut | <200                    | %                 | 98,39             | 05.00-05.35 mg       | III.03.13B-4   |              |
|                       | Proteinasi Terlarut | <200                    | %                 | 1,80              |                      |                |              |
|                       | 4.                  | Rasio Rasio Asidifikasi |                   |                   |                      |                |              |
| Rasio C <sub>10</sub> |                     | 11                      | %                 | Non Plate (NP)    | 04.45-05.00 mg       | III.03.13B-1   |              |
|                       |                     | Rasio C <sub>10</sub>   | 21                |                   |                      |                | %            |
|                       |                     | Rasio C <sub>10</sub>   | 19                |                   |                      |                | %            |
| Rasio C <sub>10</sub> |                     | 11                      | %                 | Non Plate (NP)    | 05.00-05.35 mg       | III.03.13B-2   |              |
|                       |                     | Rasio C <sub>10</sub>   | 21                |                   |                      |                | %            |
|                       |                     | Rasio C <sub>10</sub>   | 19                |                   |                      |                | %            |
| Rasio C <sub>10</sub> |                     | 11                      | %                 | Non Plate (NP)    | 04.45-05.00 mg       | III.03.13B-3   |              |
|                       |                     | Rasio C <sub>10</sub>   | 21                |                   |                      |                | %            |
|                       |                     | Rasio C <sub>10</sub>   | 19                |                   |                      |                | %            |
| Rasio C <sub>10</sub> |                     | 11                      | %                 | Non Plate (NP)    | 05.00-05.35 mg       | III.03.13B-4   |              |
|                       |                     | Rasio C <sub>10</sub>   | 21                |                   |                      |                | %            |
|                       |                     | Rasio C <sub>10</sub>   | 19                |                   |                      |                | %            |
| 5.                    |                     | Grease Laboratory       |                   |                   |                      |                |              |
|                       |                     | K <sub>100</sub>        | g                 | kg/m <sup>3</sup> | 0,648                | 04.45-05.00 mg | III.03.13B-1 |
|                       | K <sub>100</sub>    |                         | g                 | "                 | 11,407               |                |              |
|                       | K <sub>100</sub>    | g                       | kg/m <sup>3</sup> | 12,497            | 05.00-05.35 mg       | III.03.13B-2   |              |
|                       |                     | K <sub>100</sub>        | g                 | "                 |                      |                | 17,876       |
|                       | K <sub>100</sub>    | g                       | kg/m <sup>3</sup> | 0,100             | 04.45-05.00 mg       | III.03.13B-3   |              |
|                       |                     | K <sub>100</sub>        | g                 | "                 |                      |                | 12,381       |
|                       | K <sub>100</sub>    | g                       | kg/m <sup>3</sup> | 0,008             | 05.00-05.35 mg       | III.03.13B-4   |              |
| K <sub>100</sub>      |                     | g                       | "                 | 12,698            |                      |                |              |

Lampiran 9. Katalog Tiang Pancang WTK A. Hutan

| Gr. Thickness<br>(mm, inch) |      |         |         |      | Tens. Strength<br>(MPa) | Yield Strength<br>(MPa) | Tens. Elong. (mm) | Gr. Weight (kg) | Rolling Vector | Aluminum<br>(mg/cm²) | Zinc<br>(mg/cm²) | Length<br>(m) |
|-----------------------------|------|---------|---------|------|-------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------|----------------|----------------------|------------------|---------------|
|                             |      |         |         |      |                         |                         |                   |                 | Roll 1<br>(mm) | Roll 2<br>(mm)       |                  |               |
| 100                         | 100  | 100.00  | 100.00  | 100  | A1                      | 200                     | 1.00              | 10.00           | 10.00          | 10.00                | 10.00            | 10.00         |
|                             |      |         |         |      | A2                      | 200                     | 1.00              | 10.00           | 10.00          | 10.00                | 10.00            |               |
|                             |      |         |         |      | B                       | 200                     | 1.00              | 10.00           | 10.00          | 10.00                | 10.00            |               |
|                             |      |         |         |      | C                       | 200                     | 1.00              | 10.00           | 10.00          | 10.00                | 10.00            |               |
| 200                         | 200  | 200.00  | 200.00  | 200  | A1                      | 400                     | 1.00              | 20.00           | 20.00          | 20.00                | 20.00            |               |
|                             |      |         |         |      | A2                      | 400                     | 1.00              | 20.00           | 20.00          | 20.00                | 20.00            |               |
|                             |      |         |         |      | B                       | 400                     | 1.00              | 20.00           | 20.00          | 20.00                | 20.00            |               |
|                             |      |         |         |      | C                       | 400                     | 1.00              | 20.00           | 20.00          | 20.00                | 20.00            |               |
| 300                         | 300  | 300.00  | 300.00  | 300  | A1                      | 600                     | 1.00              | 30.00           | 30.00          | 30.00                | 30.00            |               |
|                             |      |         |         |      | A2                      | 600                     | 1.00              | 30.00           | 30.00          | 30.00                | 30.00            |               |
|                             |      |         |         |      | B                       | 600                     | 1.00              | 30.00           | 30.00          | 30.00                | 30.00            |               |
|                             |      |         |         |      | C                       | 600                     | 1.00              | 30.00           | 30.00          | 30.00                | 30.00            |               |
| 400                         | 400  | 400.00  | 400.00  | 400  | A1                      | 800                     | 1.00              | 40.00           | 40.00          | 40.00                | 40.00            |               |
|                             |      |         |         |      | A2                      | 800                     | 1.00              | 40.00           | 40.00          | 40.00                | 40.00            |               |
|                             |      |         |         |      | B                       | 800                     | 1.00              | 40.00           | 40.00          | 40.00                | 40.00            |               |
|                             |      |         |         |      | C                       | 800                     | 1.00              | 40.00           | 40.00          | 40.00                | 40.00            |               |
| 500                         | 500  | 500.00  | 500.00  | 500  | A1                      | 1000                    | 1.00              | 50.00           | 50.00          | 50.00                | 50.00            |               |
|                             |      |         |         |      | A2                      | 1000                    | 1.00              | 50.00           | 50.00          | 50.00                | 50.00            |               |
|                             |      |         |         |      | B                       | 1000                    | 1.00              | 50.00           | 50.00          | 50.00                | 50.00            |               |
|                             |      |         |         |      | C                       | 1000                    | 1.00              | 50.00           | 50.00          | 50.00                | 50.00            |               |
| 600                         | 600  | 600.00  | 600.00  | 600  | A1                      | 1200                    | 1.00              | 60.00           | 60.00          | 60.00                | 60.00            |               |
|                             |      |         |         |      | A2                      | 1200                    | 1.00              | 60.00           | 60.00          | 60.00                | 60.00            |               |
|                             |      |         |         |      | B                       | 1200                    | 1.00              | 60.00           | 60.00          | 60.00                | 60.00            |               |
|                             |      |         |         |      | C                       | 1200                    | 1.00              | 60.00           | 60.00          | 60.00                | 60.00            |               |
| 700                         | 700  | 700.00  | 700.00  | 700  | A1                      | 1400                    | 1.00              | 70.00           | 70.00          | 70.00                | 70.00            |               |
|                             |      |         |         |      | A2                      | 1400                    | 1.00              | 70.00           | 70.00          | 70.00                | 70.00            |               |
|                             |      |         |         |      | B                       | 1400                    | 1.00              | 70.00           | 70.00          | 70.00                | 70.00            |               |
|                             |      |         |         |      | C                       | 1400                    | 1.00              | 70.00           | 70.00          | 70.00                | 70.00            |               |
| 800                         | 800  | 800.00  | 800.00  | 800  | A1                      | 1600                    | 1.00              | 80.00           | 80.00          | 80.00                | 80.00            |               |
|                             |      |         |         |      | A2                      | 1600                    | 1.00              | 80.00           | 80.00          | 80.00                | 80.00            |               |
|                             |      |         |         |      | B                       | 1600                    | 1.00              | 80.00           | 80.00          | 80.00                | 80.00            |               |
|                             |      |         |         |      | C                       | 1600                    | 1.00              | 80.00           | 80.00          | 80.00                | 80.00            |               |
| 900                         | 900  | 900.00  | 900.00  | 900  | A1                      | 1800                    | 1.00              | 90.00           | 90.00          | 90.00                | 90.00            |               |
|                             |      |         |         |      | A2                      | 1800                    | 1.00              | 90.00           | 90.00          | 90.00                | 90.00            |               |
|                             |      |         |         |      | B                       | 1800                    | 1.00              | 90.00           | 90.00          | 90.00                | 90.00            |               |
|                             |      |         |         |      | C                       | 1800                    | 1.00              | 90.00           | 90.00          | 90.00                | 90.00            |               |
| 1000                        | 1000 | 1000.00 | 1000.00 | 1000 | A1                      | 2000                    | 1.00              | 100.00          | 100.00         | 100.00               | 100.00           |               |
|                             |      |         |         |      | A2                      | 2000                    | 1.00              | 100.00          | 100.00         | 100.00               | 100.00           |               |
|                             |      |         |         |      | B                       | 2000                    | 1.00              | 100.00          | 100.00         | 100.00               | 100.00           |               |
|                             |      |         |         |      | C                       | 2000                    | 1.00              | 100.00          | 100.00         | 100.00               | 100.00           |               |

**Lampiran 6.** Lokasi Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Dunggala



**Lampiran 7.** Lokasi Titik Pengambilan Sampel

