

TUGAS AKHIR

ANALISA DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI BOREDPILE MENGGUNAKAN METODE *MEYERHOF*, *REESE & WRIGHT*, *POULOS & DAVIS* DAN PROGRAM *PLAXIS*

**(STUDI KASUS : PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL SOLO –
YOGYAKARTA- NYIA KULON PROGO PAKET 1.1)**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan
Pendidikan Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Sipil - Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang**



Oleh:

Ariz Aryaji

30.2021.00.239

Rizal Rafi Darmawan

30.2021.00250

**FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
JANUARI 2024**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI BOREDPILE MENGGUNAKAN METODE *MEYERHOF, REESE & WRIGHT, POULOS & DAVIS* DAN PROGRAM *PLAXIS*



Ariz Aryaji

NIM : 30202100239



Rizal Rafi Darmawan

NIM : 30202100250

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 29 Januari 2024

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D

NIDN: 0627115501

2. Ir. Gata Dian Asfari, MT

NIDN: 0628055801

3. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng

NIDN: 0605016802

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

NIDN: 06-2505-9102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 02 / A-2 / SA-T/x11 / 2022

Pada hari ini tanggal 31 - 1 - 2024 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Prof. Ir. H. Pratikso, M.ST., Ph.D
Jabatan Akademik : Guru Besar
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Ir. Gata Dian Asfari, MT
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Ariz Aryaji
NIM : 30202100239

Rizal Rafi Darmawan
NIM : 30202100250

Judul : Analisa Dayai Dukung Dan Penurunan Pondasi Boredpile Menggunakan Metode Meyerhof, Reese & Wright, Poulos & Davis Dan Program Plaxis

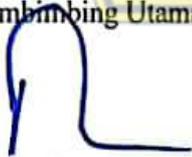
Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	15 Desember 2022	ACC
2	Seminar Proposal	21 Agustus 2023	
3	Pengumpulan data	Agustus 2023	
4	Analisis data	Agustus 2023	
5	Penyusunan laporan	Agustus-Desember 2023	
6	Selesai laporan	5 Desember 2023	

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Pendamping


Prof. Ir. H. Pratikso, M.ST., Ph.D


Ir. Gata Dian Asfari, MT

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil


Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Kami yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ariz Aryaji
NIM : 3020210239
Nama : Rizal Rafi Darmawan
NIM : 3020210250
Judul Tugas Akhir :

Analisa Dayai Dukung Dan Penurunan Pondasi Boredpile Menggunakan Metode Meyerhof, Reese & Wright, Poulos & Davis Dan Program Plaxis.

Benar bebas dari plagiasi, apabila pernyataan tersebut diketahui tidak benar, maka kami bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan.

Demikianlah pernyataan ini dibuat untuk digunakan semestinya.

Semarang, 29 Januari 2024

Yang membuat pernyataan 1

Yang membuat pernyataan 2

Ariz Aryaji

Rizal Rafi Darmawan

NIM : 30202100239

NIM : 30202100250

PERNYATAAN KEASLIAN

Kami yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ariz Aryaji
NIM : 30202100239
Nama : Rizal Rafi Darmawan
NIM : 30202100250
Judul Tugas Akhir :

ANALISA DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI BOREDPILE MENGGUNAKAN METODE MEYERHOF, REESE & WRIGHT, POULOS & DAVIS DAN PROGRAM PLAXIS.

Sesungguhnya menyatakan Tugas Akhir ini adalah murni hasil dari penelitian, pemikiran dan pemaparan asli kami sendiri. Kami tidak mencantumkan bahan-bahan yang dipublikasikan maupun ditulis orang lain, termasuk bahan yang diajukan untuk mendapat gelar atau ijazah di Universitas Islam Sultan Agung Semarang maupun perguruan tinggi lainnya.

Kami bersedia menerima sanksi akademik sesuai peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung, apabila diketahui penyimpangan dan ketidakbenaran pernyataan ini dikemudian hari.

Demikian pernyataan ini kami buat.

Semarang, 29 Januari 2024

Yang membuat pernyataan 1

Yang membuat pernyataan 2

The image shows two handwritten signatures in black ink. Between the signatures is a rectangular stamp with a red and yellow border. The stamp features the Garuda Pancasila emblem at the top, the text 'METERAI TEMPEL' in the center, and the alphanumeric code 'EF0ALX023179315' at the bottom.

Ariz Aryaji

NIM : 30202100239

Rizal Rafi Darmawan

NIM : 30202100250

MOTTO

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا إِذَا قِيلَ لَكُمْ تَفَسَّحُوا فِي الْمَجَالِسِ فَافْسَحُوا
يَفْسَحِ اللَّهُ لَكُمْ وَإِذَا قِيلَ انشُرُوا فَانشُرُوا يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا
مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ

Artinya: “Hai orang-orang beriman apabila dikatakan kepadamu: “Berlapang-lapanglah dalam majelis”, maka lapangkanlah niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu. Dan apabila dikatakan: “Berdirilah kamu”, maka berdirilah, niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan.” (QS. Surat Al-Mujadalah : 11).

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ
عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ آمَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ
لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِنْهُمُ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمْ
الْفَاسِقُونَ ﴿١١٠﴾

Artinya: “Kamu (Umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena Kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya ahli kitab beriman, tentulah lebih baik bagi mereka. Diantara mereka ada yang beriman , namun kebanyakan mereka orang – orang fasik.” (Q.S. Ali – ‘Imran ayat 110)

“Tiada kekayaan yang lebih utama dari pada akal. Tiada keadaan lebih menyedihkan daripada kebodohan. Tiada warisan yang lebih baik daripada pendidikan. Dan tiada pembantu yang lebih baik dari pada musyawarah.”

-Ali bin Abi Thalib

“Mahkota seseorang adalah akalnya. Derajat seseorang adalah agamanya. Sedangkan kehormatan seseorang adalah budi pekertinya.”

-Umar bin Khattab

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua dan keluarga besar saya yang telah memberikan dukungan secara mental, moril hingga materi.
2. Sahabat - Sahabat (Afida, Dini, Talitha, Dika, Habatul, Aliya, Raihan, Rizki Desi, Ilham, Mada) yang selalu memberi dukungan secara moril sehingga laporan ini bisa terselesaikan.
3. Putri Prasasti yang sudah menemani dan mendukung saya selama 5 tahun ini.
4. Teman-teman kelas transfer Teknik Sipil Unissula yang sudah banyak membantu dan menyemangati selama proses pembuatan Tugas Akhir.



Ariz Aryaji

NIM : 30202100239

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya yang telah memungkinkan penulis menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini disajikan dengan penuh dedikasi untuk:

1. Kedua orang tua dan keluarga besar saya yang telah memberikan dukungan secara mental, moril hingga materi.
2. Sahabat - Sahabat yang selalu memberi dukungan secara moril sehingga laporan ini bisa terselesaikan.
3. Teman-teman kelas transfer Teknik Sipil Unissula yang sudah banyak membantu dan menyemangati selama proses pembuatan Tugas Akhir.



Rizal Rafi Darmawan

NIM : 30202100250

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya yang tak terhingga. Berkat karunia-Nya, penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “ Analisa Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Boredpile Menggunakan Metode Meyerhof, Reese & Wright, Poulos & Davis Dan Program Plaxis” Ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dari Program Studi Teknik Sipil di Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis sadar akan keterbatasan dan kekurangan yang ada. Dalam perjalanan menyelesaikan skripsi ini, penulis mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Dengan tulus, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang terelah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Bapak Prof. Ir. H. Pratikso, M.ST., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan telah memberikan arahan serta dorongan dalam penulisan skripsi ini.
4. Ibu Ir. Gata Dian Asfari, MT. selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan telah memberikan arahan serta dorongan dalam penulisan skripsi ini.
5. Terimakasih Kepada Dosen Penguji, yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran selama sidang berlangsung.
6. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah berbagi pengetahuan dan ilmu mereka kepada penulis.
7. Kedua orang tua kami yang telah memberikan doa, semangat dan dukungan.
8. Rekan seperjuangan Teknik Sipil kelas transfer angkatan 2021.

Penulis menyadari akan adanya kekurangan dalam Tugas Akhir ini, baik dari segi konten maupun struktur penyajian. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat tidak hanya bagi penulis, tetapi juga bagi para pembaca yang akan mengeksplorasi hasil penelitian ini.

Semarang, 29 Januari 2023

Ariz Aryaji : 30202100239

Rizal Rafi Darmawan : 30202100250



DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO.....	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR BAGAN.....	xviii
ABSTRAK.....	xix
1. BAB I PENDAHULUAN.....	21
1.1. Latar Belakang	21
1.2. Rumusan Masalah	22
1.3. Maksud dan Tujuan.....	22
1.4. Batasan Masalah.....	23
1.5. Metode Pengumpulan Data	23
1.6. Sistematika Penulisan.....	23
2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	25
2.1. Tinjauan Umum.....	25
2.2. Definisi Tanah.....	25
2.3. Penyelidikan Tanah (<i>Soil Investigation</i>).....	26
2.3.1. Cone Penetration Test (CPT)/Sondir.....	27
2.3.2. Standard Penetration Test (SPT).....	32
2.4. Pengertian Pondasi	34
2.4.1. Fungsi Pondasi	34
2.4.2. Dasar Pemilihan Pondasi.....	35
2.4.3. Klasifikasi Pondasi.....	36
2.5. Pondasi Dalam.....	37

2.6.	Pondasi <i>Bored Pile</i>	40
2.7.	Metode Pelaksanaan Pondasi <i>Bored Pile</i>	45
2.8.	Pembebanan.....	51
2.8.1.	Beban Permanen.....	52
2.8.2.	Beban Lalu Lintas	52
2.8.3.	Beban Lingkungan	55
2.9.	Kapasitas Daya Dukung Pondasi <i>Bored Pile</i>	57
2.9.1.	Analisis Kapasitas Daya Dukung Meyerhof (1976)	57
2.9.2.	Analisis Daya Dukung Metode Reese & Wright (1977).....	59
2.9.3.	Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang.....	61
2.9.4.	Beban Lateral	65
2.9.5.	Metode Broms (1964)	66
2.9.6.	Penurunan Tiang	67
2.9.7.	Penurunan pada Tiang Tunggal.....	68
2.9.8.	Penurunan pada Tiang Kelompok.....	71
2.9.9.	Penurunan Tiang yang Diizinkan.....	71
2.9.10.	Faktor Keamanan	72
3.	BAB III METODOLOGI.....	74
3.1.	Pendahuluan	74
3.2.	Studi Literatur.....	75
3.3.	Pengumpulan Data	75
3.3.1.	Data Umum Proyek.....	75
3.3.2.	Data Teknik Proyek.....	76
3.4.	Tahapan Penelitian.....	77
3.4.1.	Tahap Analisis Daya Dukung Tiang.....	77
3.4.2.	Tahap Perhitungan Analisis Daya Dukung Pondasi Bored Pile dengan Metode Meyerhof (1976).....	78
3.4.3.	Perhitungan Analisis Daya Dukung Pondasi Bored Pile dengan Metode Reese & Wright 1977.....	80
3.4.4.	Tahap Perhitungan Penurun Pondasi Bored Pile.....	81
3.4.5.	Analisis Pondasi dengan Plaxis 8.2.....	83
4.	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	88
4.1.	Spesifikasi Teknis Jembatan.....	88
4.1.1.	Spesifikasi Umum Data Jembatan	88

4.1.2.	Perhitungan Beban Bangunan	88
4.2.	Analisa Daya Dukung Aksial Pondasi Bored Pile.....	103
4.2.1.	Analisis Daya Dukung Aksial dengan Metode Meyerhof.....	103
4.2.2.	Analisis Daya Dukung Aksial dengan Metode Resese & Wright 1977	104
4.3.	Analisis Daya Dukung Kelompok Tiang.....	106
4.4.	Analisis Daya Dukung Lateral Tiang Tunggal	108
4.5.	Analisis Penurunan (<i>Settlement</i>).....	110
4.5.1.	Penurunan Tiang Tunggal	110
4.5.2.	Analisis Penurunan Kelompok Tiang	114
4.5.3.	Hasil Analisis Penurunan Tiang Menggunakan Plaxis 8.2	114
4.6.	Perbandingan Hasil Analisa.....	118
5.	BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	119
5.1.	Kesimpulan.....	119
5.2.	Saran.....	119
	DAFTAR PUSTAKA.....	121



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konus Sondir dalam Keadaan Tertekan dan Terbentang	29
Gambar 2.2 Cara Pelaporan Hasil Uji Sondir.....	29
Gambar 2.3 Cara Pelaporan Hasil Uji Sondir.....	31
Gambar 2.4 Alat Percobaan Penetrasi Standar	33
Gambar 2.5 Pondasi Dangkal	36
Gambar 2.6 Pondasi Dalam	37
Gambar 2.7 Macam-macam Pondasi Berdasarkan Cara Pembuatan	40
Gambar 2.8 Bored Pile dengan Dry Method	42
Gambar 2.9 Bored Pile dengan Casing Method	43
Gambar 2.10 Bored Pile dengan Starry Method.....	44
Gambar 2.11 Pengukuran/Sureying.....	46
Gambar 2.12 Fabrikasi Pembesian	47
Gambar 2.13 Pengeboran tahap 1	47
Gambar 2.14 Pemasangan Casing	48
Gambar 2.15 Ilustrasi Pengeboran Tahap II	48
Gambar 2.16 Pengukuran/Sureying.....	49
Gambar 2.17 Pemasangan Besi Tulangan	49
Gambar 2.18 Pengecoran.....	50
Gambar 2.19 Pencabutan Casing.....	51
Gambar 2.20 Beban Lajur “D”	53
Gambar 2.21 Beban Truck “T”	54
Gambar 2.22 Faktor Beban Dinamis (FBD).....	54
Gambar 2.23 Hubungan Nilai Kohesi dengan N-SPT.....	60
Gambar 2.24 Daya Dukung Ujung Batas Bored Pile Pada Tanah Pasiran.....	60
Gambar 2.25 Kelompok Tiang	62
Gambar 2.26 Susunan Tiang.....	63
Gambar 2.27 Baris Kelompok Tiang.....	64
Gambar 2.28 Aplikasi pondasi tiang dalam menahan beban lateral.....	66

Gambar 2.29 Contoh Kerusakan Bangunan Akibat Penurunan	67
Gambar 2.30 Faktor penurunan I_0	69
Gambar 2.31 Koreksi kompresi, R_k	70
Gambar 2.32 Koreksi kedalaman, R_h	70
Gambar 2.33 Koreksi Angka Poisson, R_μ	70
Gambar 3.1 Kotak Dialog Open Project.....	83
Gambar 3.2 Kotak Dialog Genral Setting pada Plaxis	83
Gambar 3.3 Kotak Dialog Genral Setting pada Plaxis	84
Gambar 3.4 Permodelan Profil Tanah	84
Gambar 3.5 Input Material Tanah.....	85
Gambar 3.6 otak Dialong Input Material Pondasi Bored pile	85
Gambar 3.7 Beban & Bored Pile	86
Gambar 3.8 Tekanan Pori Air Aktif.....	86
Gambar 3.9 Tegangan Tanah Awal	87
Gambar 4.1 Beban Terbagi Rata (BTR) Menggunakan <i>SAP2000</i>	89
Gambar 4.2 Beban Garis Terpusat (BGT) Menggunakan <i>SAP2000</i>	90
Gambar 4.3 Distribusi Beban Truk.....	90
Gambar 4.4 Beban Truck “TT” Menggunakan <i>SAP2000</i>	91
Gambar 4.5 Beban Rem “TB”	92
Gambar 4.6 Spektrum Respon Desain.....	92
Gambar 4.7 Parameter Grafik Desain Spektra Indonesia.....	93
Gambar 4.8 Beban Gempa “EQ” Menggunakan <i>SAP2000</i>	93
Gambar 4.9 Beban Angin “EW” Menggunakan <i>SAP2000</i>	94
Gambar 4.10 Beban Temperatur “ET” Menggunakan <i>SAP2000</i>	95
Gambar 4.11 Dimensi Barrier.....	96
Gambar 4.12 Potongan Melintang Girder	97
Gambar 4.13 Dimensi Abutment	97
Gambar 4.14 Dimensi Wing Wall.....	99
Gambar 4.15 Denah Titik Bored Pile & Pile Cap Abutment.....	100
Gambar 4.16 Pemilihan Beban Kombinasi	102
Gambar 4.17 Hasil Analisa Plaxis	114
Gambar 4.18 Ground Water Level pada Plaxis	115

Gambar 4.19 Tekanan Air Pori Berlebih	116
Gambar 4.20 Tegangan Efektif Rata-Rata	117
Gambar 4.21 Penurunan Tiang (Displacement)	117



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Harga-harga Empiris ϕ dan D_r Pasir dan Lumpur Kasar Berdasarkan Sondir	31
Tabel 2.2 Hubungan D_r , ϕ , dan N Tanah Pasir	33
Tabel 2.3 Macam-macam Pondasi Berdasarkan Kualitas Material	39
Tabel 2.4 Faktor Beban Dinamis Untuk Beban Garis KEL	55
Tabel 2.5 Nilai V_0 dan Z_0 untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu	56
Tabel 2.6 Faktor modifikasi respons (R_d)	57
Tabel 2.7 Faktor Aman yang Disarankan	72
Tabel 4.1 Temperatur Jembatan Rata-rata Nominal	94
Tabel 4.2 Rekapitulasi Beban Mati	100
Tabel 4.3 Rekapitulasi Beban Mati Tambahan	101
Tabel 4.4 Rekapitulasi Kombinasi Pembebanan SAP 2000	102
Tabel 4.5 Rekapitulasi Daya Dukung Pondasi Bored Pile	106
Tabel 4.6 Penurunan Tiang	113
Tabel 4.7 Keterangan Gambar Plaxis	115
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal dan Kelompok	118
Tabel 4.9 Hasil Penurunan Tiang Tunggal	118

DAFTAR BAGAN

Bagan 2.1 Prosedur Penyelidikan Tanah dengan Alat Uji Sondir	30
Bagan 2.2 Metode Pelaksanaan Pondasi Bored Pile	45
Bagan 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	74



ABSTRAK

Infrastruktur merupakan salah satu faktor penunjang untuk meningkatkan sektor ekonomi. Dengan dibangunnya infrastruktur yang terintegrasi akan memudahkan konektivitas antar wilayah sehingga dapat meningkatkan ekonomi wilayah tersebut. Pada bangunan infrastruktur sipil akan di topang dengan pondasi, maka dari itu pondasi memiliki pengaruh pada keamanan dan kestabilan bangunan yang berada di atasnya.

Pondasi berfungsi untuk menyalurkan beban ke dalam lapisan tanah. Pondasi bored pile adalah salah satu pondasi yang sering digunakan pada proyek konstruksi. Tugas Akhir ini membahas pada Proyek Pembangunan Jalan tol Solo- Yogyakarta- Nyai Kulon Progo paket 1.1.

Pada Tugas Akhir ini akan dihitung daya dukung bored pile berdasarkan data *Standart Penetration Test (SPT)* yang telah ditetapkan, Tujuan dari analisa menggunakan metode *Mayerhoff (1976)*, *Resse & Wright (1977)*, *Poulos Davis (1980)* dan mengetahui penurunan tanah dari metode *Poulos Davis* dan Program *Plaxis 8.2*, serta daya dukung tiang akibat beban lateral dengan metode *broms (1964)*.

Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan nilai daya dukung tiang tunggal dengan metode *Mayerhoff (1976)* memiliki nilai sebesar 451,458 ton, *Resse & Wright (1977)* sebesar 584,62 ton. Nilai penurunan tunggal dengan metode *Poulos Davis* sebesar 0,007462 m dengan metode Program *Plaxis 8.2* sebesar 0,00847 m. Nilai daya dukung tiang akibat beban lateral dengan metode *broms (1964)* didapatkan nilai sebesar 131,684 ton

Kata Kunci: *Infrastruktur; Pondasi; Daya Dukung; Penurunan.*

UNISSULA
جامعة سلطان أبوبنوع الإسلامية

ABSTRACT

Infrastructure is one of the supporting factors to enhance the economic sector. The construction of integrated infrastructure facilitates connectivity between regions, thereby improving the economy of those regions. In civil infrastructure, buildings are supported by foundations, and therefore, the foundation has an impact on the safety and stability of the structure above it.

Foundations function to transmit loads into the soil layers. Bored pile foundation is one of the foundations commonly used in construction projects. This Final Project discusses the Construction Project of the Solo-Yogyakarta-Nyai Kulon Progo toll road package 1.1.

This Final Paper calculates the bearing capacity of bored pile based on the established Standard Penetration Test (SPT) data. The objective of the analysis is to use the Mayerhoff method (1976), Resse & Wright (1977), Poulos Davis (1980) to determine soil settlement from the Poulos Davis method and Program Plaxis 8.2, as well as the pile capacity due to lateral loads using the Broms method (1964).

Based on the analysis results, the bearing capacity of a single pile using the Mayerhoff method (1976) is 451.458 tons, and with the Resse & Wright method (1977), it is 584.62 tons. The settlement value using the Poulos Davis method is 0.007462 m, and with the Program Plaxis 8.2 method, it is 0.00847 m. The pile capacity due to lateral loads using the Broms method (1964) is found to be 131.684 tons.

Keywords: *Infrastructure; Foundation; Bearing Capacity; Settlement.*

UNISSULA
جامعة سلطان أبوبوع الإسلامية

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jembatan Kali Pepe adalah jembatan pada Seksi 1 Tol Solo-Yogyakarta-NYIA Kulon Progo. Bentang jembatan Kali Pepe adalah 42,2 meter. Tujuan dibangunnya Jembatan Kali Pepe adalah untuk menjamin aksesibilitas jalan tol Solo - Yogyakarta - NYIA Kulon Progo untuk mengurangi jarak tempuh dan waktu tempuh, sehingga memudahkan mobilitas yang dapat mendorong perekonomian di segala sektor.

Dalam melaksanakan pembangunan suatu struktur, khususnya jembatan, pekerjaan pondasi (substruktur) merupakan tahap awal yang dilakukan di lapangan. Selanjutnya dilakukan pekerjaan struktur atas. Yayasan ini mempunyai arti penting dan mempunyai tujuan yang luas dalam konteks usaha konstruksi.

Sebagai komponen struktur paling bawah, pondasi membantu distribusi beban konstruksi ke lapisan sedimen di bawahnya. Fondasi sedimen dibedakan dari pondasi dalam berdasarkan kedalamannya. Pondasi dalam digunakan saat lapisan granit atau tanah keras berada pada kedalaman yang cukup. Jenis-jenis pondasi dalam mencakup tiang pancang dan sumuran. Seperti yang dikemukakan oleh Bowless (1997).

Interaksi antara tiang bor dan tanah menghasilkan daya dukung, yang berfungsi untuk menopang beban serta menjamin integritas struktur tiang. Selain itu, analisis tanah yang tepat juga diperlukan untuk menentukan daya dukung. Metode statis dan dinamis merupakan pendekatan yang layak untuk memastikan daya dukung tiang bor.

Uji penetrasi standar (SPT) dan investigasi sondir adalah prosedur statis yang digunakan dalam investigasi tanah. Melalui rumus empiris, tujuan penyelidikan sondir ialah mengetahui ketahanan adhesi tanah dan ketahanan penetrasi kerucut, yang masing-masing berfungsi sebagai indikator daya dukung suatu lapisan tanah. Dalam menghitung nilai kapasitas daya dukung pondasi *bored pile* ada beberapa metode yang bisa digunakan. Maka dari itu pada tugas akhir ini, penulis akan

membandingkan nilai daya dukung beserta penurunannya yang dihasilkan dari perhitungan dengan metode Meyerhof, Reese & Wright, Poulos & Davis dan program *Plaxis 8.2*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan Latar Belakang diatas, maka didapatkan rumusan masalah:

- A. Seberapa besar beban yang terjadi pada pondasi bored pile pada proyek pembangunan jembatan kali pepe ruas Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo.
- B. Berapa Nilai daya dukung pondasi bored pile pada proyek pembangunan jembatan kali pepe ruas Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo.
- C. Berapa besarnya nilai penurunan (sattlement) pondasi bored pile pad proyek pembangunan jembatan kali pepe ruas Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo.
- D. Bagaimana perbandingan hasil penurunan secara manual dan menggunakan program *Plaxis 8.2*.

1.3. Maksud dan Tujuan

Berdasarkan Rumusan Masalah, diperoleh sejumlah maksud serta tujuan penelitian:

- A. Mengetahui beban yang terjadi pada pondasi *bored pile* pada proyek pembangunan jembatan kali pepe ruas Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo.
- B. Mengetahui nilai daya dukung pondasi bored pile pada proyek pembangunan jembatan kali pepe ruas Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo
- C. Mengetahui besarnya nilai penurunan (sattlement) pondasi *bored pile* pada proyek pembangunan jembatan kali pepe ruas Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo.
- D. Membandingkan hasil penurunan secara manual dan menggunakan program *plaxis 8.2*.

1.4. Batasan Masalah

- A. Menghitung daya dukung pondasi *Bored Pile* dengan menggunakan perhitungan metode Meyerhof, Reese & Wright,
- B. Menghitung penurunan (*sattlement*) pondasi *Bored Pile* dengan menggunakan metode perhitungan Poulos & Davis dan program *Plaxis 8.2*.
- C. Perhitungan hanya dilakukan pada titik abutment 1.

1.5. Metode Pengumpulan Data

A. Studi Literatur

Mengumpulkan dan mengkaji bahan bacaan yang berkaitan dengan tugas akhir ini, termasuk buku dan jurnal ilmiah.

B. Pengumpulan Data

Seksi 1 Proyek Jalan Tol Solo–Yogyakarta–NYIA Kulon Progo menjadi topik tugas akhir ini. Informasi yang diperlukan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini didapatkan melalui PT. Adhi Karya (Persero), Tbk, kontraktor proyek tersebut. Informasi yang diperlukan terdiri dari data sondir dan SPT.

C. Analisis Data

Melakukan analisis kasus dan pengolahan data dengan menggunakan teori yang dikumpulkan dari tinjauan literatur.

1.6. Sistematika Penulisan

Kerangka sistematika penyusunan tugas akhir ini meliputi lima bab:

BAB - I PENDAHULUAN

Memuat hal-hal sebagai berikut: konteks penulisan, tujuan, manfaat, rumusan masalah, batasan masalah, dan metodologi penulisan.

BAB - II TINJAUAN PUSTAKA

Terdiri dari prinsip-prinsip dasar, ekspresi matematika, dan semua komponen yang diperlukan untuk menyelesaikan skripsi ini, materi bersumber yang diambil dari publikasi ilmiah, buku, situs web, mesin pencari, dan hasil penelitian sebelumnya.

BAB - III METODOLOGI

Metodologi penulisan tugas akhir dijelaskan secara rinci pada Bab III METODOLOGI yang meliputi metode perolehan dan analisis data.

BAB - IV ANALISIS DAN PERHITUNGAN

Menggabungkan perhitungan daya dukung aksial pondasi Bored Pile melalui analisis data yang diperoleh.

BAB - V KESIMPULAN DAN SARAN

Tugas penutup ini terdiri dari rekomendasi dan kesimpulan yang diperoleh dari analisis yang dilakukan terhadap studi yang dikumpulkan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Setiap struktur sipil tersusun atas dua komponen berbeda: struktur luar dan substruktur. Fondasi adalah nama yang lebih umum untuk struktur di bawahnya. Pondasi ini dirancang untuk memindahkan beban struktur ke lapisan bawah tanah di bawahnya. Menurut Das (1995), keutuhan suatu rencana pondasi ditentukan oleh apakah beban yang dipindahkan dari pondasi ke tanah tidak melebihi kekuatan tanah yang bersangkutan.

Ada dua faktor yang memerlukan pertimbangan selama tahap desain konstruksi pondasi:

1. Beban yang bekerja pada pondasi harus lebih besar dari daya dukung pondasi.
2. Penurunan nilai akibat pembebanan tidak melebihi penurunan nilai yang diizinkan.

Ada dua kategori dasar yang berbeda: fondasi dangkal dan dalam. Fondasi dangkal merupakan pondasi yang perbandingan kedalaman dan lebarnya di bawah empat. Klasifikasi kedalaman suatu pondasi ditentukan oleh apakah perbandingan lebar dan kedalamannya melebihi empat. ($\frac{D_f}{B} > 4$).

2.2. Definisi Tanah

Dalam kondisi organik, tanah terdiri dari gabungan butiran mineral, yang mungkin mengandung bahan organik atau tidak. Metode sederhana untuk memisahkan partikel adalah dengan mengocok air dengan kuat. Material ini merupakan hasil pelapukan granit secara fisik dan kimia. Selain sifat-sifat yang melekat pada batuan induk yang berfungsi sebagai bahan pondasi, faktor luar yang menyebabkan pelapukan batuan juga mempengaruhi sifat teknis tanah.

Dalam teknik sipil, terminologi semacam kerikil, pasir, lanau, serta tanah liat dipakai untuk menggambarkan jenis tanah yang berbeda. Tanah dapat terdiri dari

bahan organik dan, dalam hal tertentu, merupakan gabungan dari dua atau lebih kategori tanah yang terjadi secara alami. Senyawa yang dimaksud selanjutnya ditetapkan sebagai sebutan tambahan untuk zat unsur utama. Sebagai gambaran, lempung berlanau menyusun lanau menjadi tanah lempung, dimana lempung merupakan komponen utamanya, dan lainnya.

Tanah tersusun atas tiga unsur penyusun utama: udara, air, dan zat padat. Udara biasanya dianggap tidak memiliki dampak teknis yang signifikan pada tanah, sementara air memengaruhi sifat-sifat tanah secara substansial. Baik air maupun udara dapat mengisi sebagian atau seluruh rongga di antara butiran tanah. Jika rongga-rongga tersebut sepenuhnya terisi air, tanah dianggap berada dalam keadaan jenuh. Ketika udara dan air dimasukkan ke dalam rongga, tanah dianggap jenuh sebagian. Wilayah kering didefinisikan sebagai wilayah yang kandungan airnya tidak ada atau dapat diabaikan. (Hardiyatmo, 1996).

2.3. Penyelidikan Tanah (*Soil Investigation*)

Sebelum memulai perencanaan pondasi, penting untuk memastikan komposisi strata tanah yang tepat pada lokasi tertentu, serta hasil analisis laboratorium yang dilangsungkan atas sampel tanah yang diambil dari berbagai kedalaman di dalam strata tersebut. Jika memungkinkan, observasi lapangan yang dilakukan selama konstruksi bangunan atau struktur lain pada kondisi tanah yang sebanding juga dapat memberikan informasi berharga.

Soil Investigation merupakan sebuah prosedur yang dilangsungkan bagi tujuan rekayasa guna mengetahui sifat dan karakteristik tanah. Tujuan utama *Soil Investigation* ini umumnya terdiri dari tujuan-tujuan berikut:

- a) Tujuannya untuk mengetahui sifat-sifat alam dan strata tanah pada lokasi yang diperiksa
- b) Memperoleh contoh tanah, baik asli (tidak terganggu) maupun tidak asli (terganggu), untuk memudahkan identifikasi visual dan analisis laboratorium terhadap tanah
- c) Menentukan kedalaman tanah keras
- d) Melakukan investigasi lapangan (Uji Lapangan In-Situ), termasuk uji rembesan, geser baling-baling, dan uji penetrasi standar
- e) Mengamati kondisi aliran air tanah yang masuk ke laguna.

Secara umum, program penyelidikan tanah untuk suatu struktur dapat dikategorikan menjadi empat kelompok berikut:

- a.) Pisahkan data yang sudah ada dari struktur yang belum dibangun. Data yang diberikan mencakup jenis bangunan dan tujuan yang dimaksudkan, serta rincian mengenai dinding penahan beban dan kolom bangunan sebagaimana diamanatkan oleh peraturan bangunan setempat.
- b.) Memperoleh data yang masih ada mengenai kondisi dasar tanah di daerah tersebut. Sebelum memulai program penyelidikan tanah, ahli geologi yang memimpin proyek harus melakukan penelitian mendalam terhadap data yang masih ada mengenai kondisi tanah di lokasi tersebut. Hal ini akan menghasilkan penghematan biaya yang signifikan. Hal ini disebabkan oleh Faktanya, data ini bisa memberi pemahaman yang lebih komprehensif mengenai jenis tanah dan tantangan yang mungkin dihadapi selama proses pengeboran.
- c.) Pemeriksaan lapangan terhadap lokasi usulan usaha. Ahli geologi yang bersangkutan harus menginspeksi lokasi dan sekelilingnya, karena data yang dikumpulkan dari penyelidikan lapangan seringkali sangat bermanfaat untuk perencanaan selanjutnya.
- d.) Inspeksi lapangan menyeluruh dilakukan pada fase ini, yang mencakup pelaksanaan beberapa percobaan lubang bor di lokasi dan mengumpulkan sampel tanah untuk tujuan pemeriksaan langsung atau analisis laboratorium.

Terdapat sejumlah teknik untuk melakukan operasi pengeboran di luar ruangan. Contoh cara yang paling mudah ialah memakai auger. Selain itu, pengeboran dilakukan dengan menggunakan Rotary Drilling System. Selain itu, pengeboran sistem pencucian dan pengeboran perkusi juga disertakan. Ada beberapa metode yang tersedia untuk melakukan pengambilan sampel tanah, termasuk penggunaan instrumen Standard Split Spoon, tabung berdinding tipis, dan alat piston.

2.3.1. Cone Penetration Test (CPT)/Sondir

Cone Penetration Test (CPT) merupakan metode langsung yang diterapkan secara bertahap pada pasir halus hingga semi kasar dan tanah liat lunak. Tanah berkerikil dan tanah liat kaku/keras tidak dikenai pengujian ini. Percobaan ini melibatkan penggerak kerucut standar, yang sesuai dengan ASTM D 3441 dan

memiliki dimensi sebagai berikut: puncak 60°, diameter dasar 35,5 mm, dan luas penampang 10 cm², ke dalam tanah dengan kecepatan berkisar antara 10 hingga 20 mm/ kedua (Bowles, 1997). Dengan melihat manometer yang terintegrasi dalam instrumen sondir, kekuatan tanah pada kedalaman tertentu dapat ditentukan.

Peralatan sondir diklasifikasikan menjadi sondir ringan (2 ton) dan sondir berat (10 ton). Sondir ringan dipakai untuk menentukan apakah penetrasi kerucut telah mencapai kedalaman 30 meter atau tekanan kerucut telah mencapai 150 kg/cm². Ketika tekanan kerucut mencapai 500 kg/cm² atau penetrasi kerucut mencapai kedalaman 50 m, digunakan sondir yang berat.

Ada dua jenis ujung kerucut yang ditemukan pada sondir mekanis: kerucut standar dan biconus. Ketahanan titik kerucut biasanya diukur dengan kerucut konvensional, yang biasanya diterapkan pada tanah berbutir kasar dengan ketahanan rekat rendah. Sebaliknya, biconus, yang biasanya diterapkan pada tanah berbutir halus, mengukur ketahanan adhesi dan ketahanan puncak kerucut.

Data sondir digunakan untuk menentukan profil tanah yang bergantung pada kedalaman. Hasil akhir dari percobaan ini terdiri dari hambatan total (JP) dan hambatan kerucut (PK), yang kemudian dihitung hambatan melekatnya (HL) dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

A. Hambatan Lekat

$$HL = (JP - PK) \times \frac{A}{B} \dots \dots \dots (2.1)$$

B. Jumlah Hambatan Lekat

$$JHL_i = \sum_0^i HL \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimanal:

B = Faktor Alat = luas konus atausluas torak (cm)

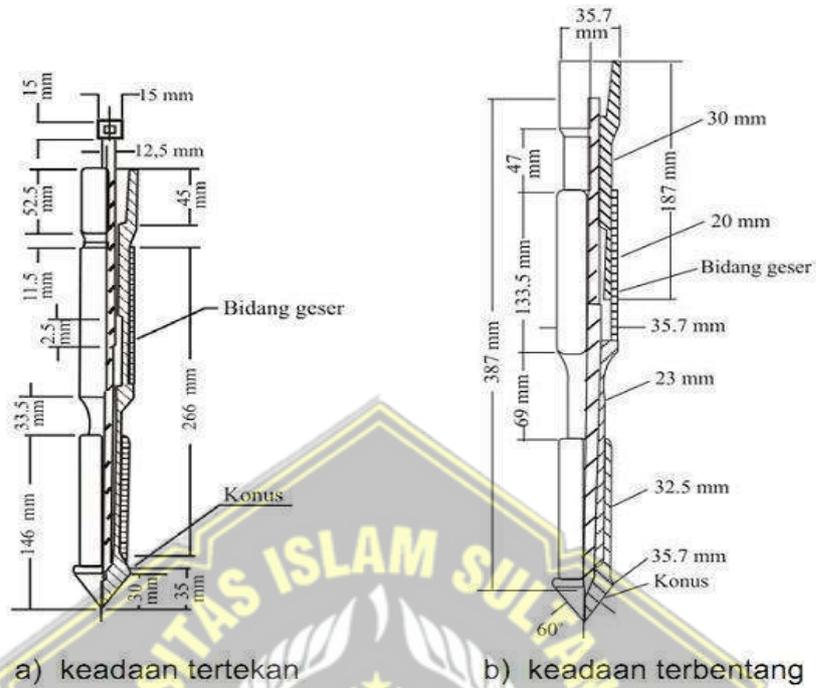
i = Kedalaman lapisan tanah yang ditinjau (m)

JHL = Jumlah hambatan slekat (kg/cm)

JP = Jumlah perlawanan (perlawanan ujung konus + selimut) (kg/cm²)
= Interval pembacaan (cm)

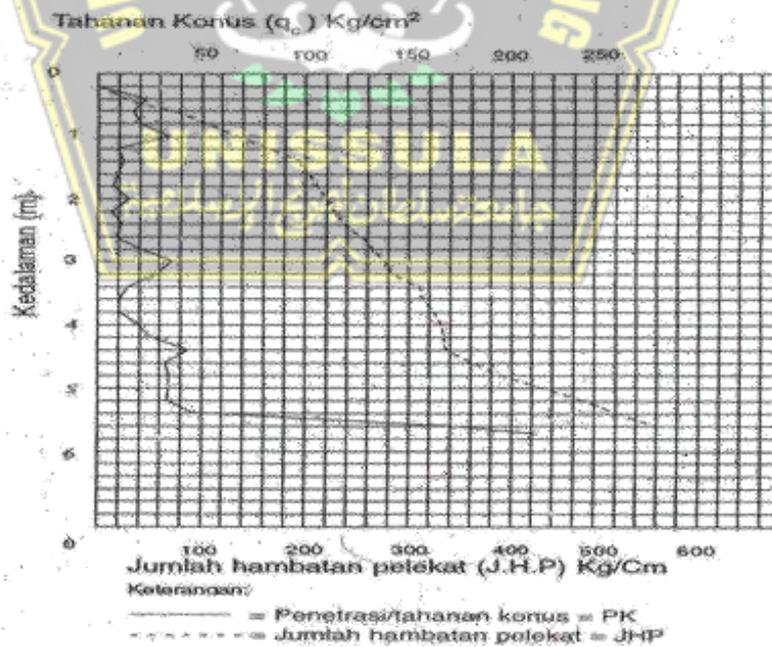
PK = Perlawanan penetrasi konus (kg/cm²)

Hambatan lekat ialah resistensi geser tanah terhadap selubung bikonus yang diukur dalam gaya per satuan panjang.



Gambar 2.1 Konus Sondir dalam Keadaan Tertekan dan Terbentang

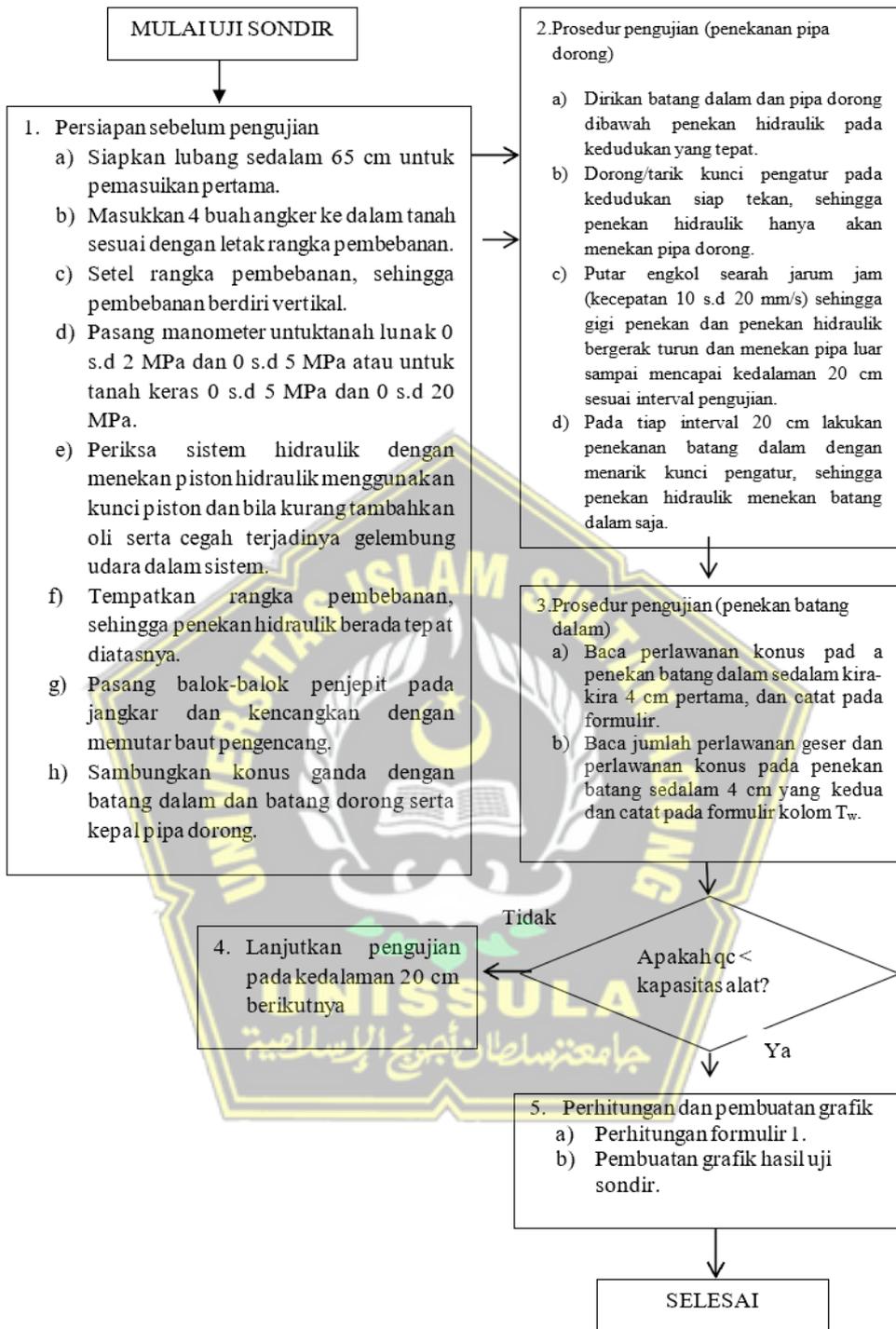
Sumber : (Sosrodarsono, 2000)



Gambar 2.2 Cara Pelaporan Hasil Uji Sondir

Sumber : (Sosrodarsono, 2000)

Bagan 2.1 Prosedur Penyelidikan Tanah dengan Alat Uji Sondir



Sumber: (Sosrodarsono, 2000)

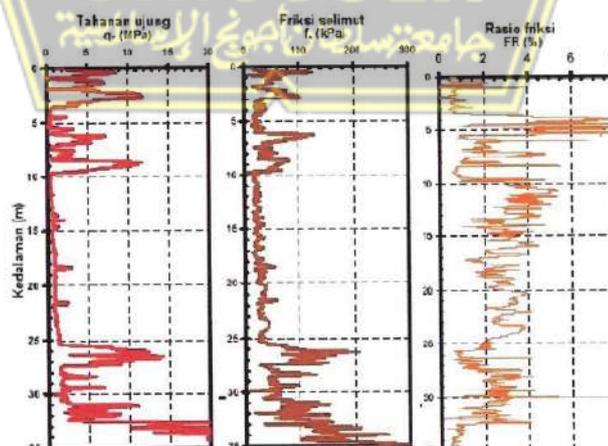
Tabel 2.1 Harga-harga Empiris ϕ dan Dr Pasir dan Lumpur Kasar Berdasarkan Sondir

Penetrasi konus PK = q_c (kg/cm ²)	Densitas relatif Dr (%)	Sudut geser dalam ϕ (°)
20	-	25-30
20-40	20-40	30-35
40-120	40-60	35-40
120-200	60-80	40-45
>200	>80	>45

Sumber: (Sosrodarsono, 1993)

Data sondir digunakan untuk menentukan profil tanah berdasarkan kedalaman dengan memperhatikan variasi tahanan ujung (q_c) terhadap gesekan selimut (f_s). Jika hasil sondir digunakan untuk menentukan daya dukung tiang, nilai gesek kumulatif (ketahanan rekat) dihitung dengan menambahkan gesekan selimut pada kedalaman yang bersangkutan. Ini menghasilkan gesekan total pada kedalaman yang bersangkutan, yang kemudian digunakan untuk menghitung gesekan pada kulit tiang.

Diadopsi dari “Total Friction” adalah istilah “JHL” yang menunjukkan kuantitas ketahanan perekat. Hasil sondir untuk klasifikasi tanah dilaporkan dengan menyertakan tahanan ujung (q_c), gesekan selimut (f_s), dan rasio gesekan (FR) terhadap kedalaman tanah.



Gambar 2.3 Cara Pelaporan Hasil Uji Sondir

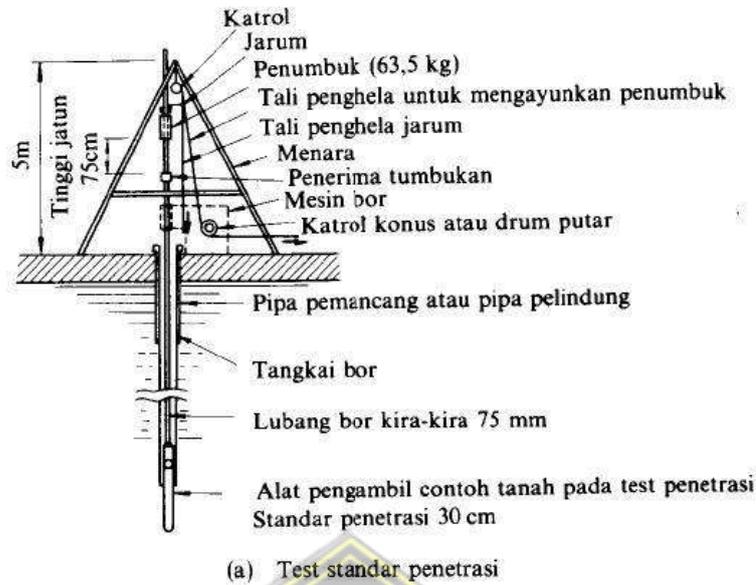
Sumber: (Sardjono, H.S., 1988)

2.3.2. *Standard Penetration Test (SPT)*

Standard Penetration Test (SPT) adalah metode konvensional untuk menembus permukaan tanah untuk mengetahui komposisi dan kekuatannya. Prosedur eksperimental melibatkan memasukkan tabung sampel dengan diameter 35 mm hingga kedalaman 304,5 mm ke dalam satu lubang bor. Bobot pendorong yang digunakan untuk tujuan ini berbobot 63 kg dan diturunkan dari ketinggian 750 mm. N mewakili jumlah pukulan palu yang diperlukan untuk menembus tabung sampel sedalam 304,5 mm.

Dengan pengambilan sampel tanah menggunakan tabung, tujuan percobaan SPT ialah mengetahui kepadatan relatif lapisan tanah guna mengetahui jenis tanah dan ketebalan tiap lapisan. Percobaan SPT dilangsungkan melalui metodologi:

1. Mengumpulkan peralatan yang diperlukan untuk *Standard Penetration Test (SPT)*, termasuk namun tidak terbatas pada tong belah, palu, mesin bor, dan batang bor.
2. Bor hingga kedalaman yang ditentukan, singkirkan sisa pengeboran dari lubangnya, dan segera pasang laras terpisah di bagian bawah lubang bor.
3. Tandai batangnya setiap 15 sentimeter, sehingga totalnya 45 sentimeter.
4. Gunakan mesin bor bersama palu bermassa 63 kg dan tinggi jatuh 75 cm untuk memukul batang bor. Terus catat jumlah pukulan yang dilakukan dengan interval 15 cm hingga tercapai kedalaman 45 cm. N1 mewakili dua goresan per 15 cm, N2 juga mewakili dua goresan per 15 cm, dan N3 mewakili tiga goresan per 15 cm. Dalam hal ini, jumlah N2 dan N3 sama dengan dua tambah tiga, yaitu lima pukulan. Nilai N1 dikeluarkan dari total karena klasifikasi lapisan 15 cm dampak awal sebagai tanah sisa pengeboran yang tertinggal di dasar rongga bor. Untuk mengurangi efisiensi gangguan, kotoran ini harus dihilangkan.
5. Hasil pengambilan contoh tanah dari tabung seperti komposisi, struktur, warna dan konsistensi ditampilkan untuk mengetahui jenis tanah. Kemudian, tanpa memadatkan contoh tanah, masukkan ke dalam botol dan Kotak Inti.
6. Susun hasil percobaan SPT ke dalam grafik. Pengujian dihentikan ketika nilai SPT mencapai atau turun di bawah 50 setelah empat interval.



Gambar 2.4 Alat Percobaan Penetrasi Standar

Sumber: (Sosrodarsono, 2000)

Uji SPT berlaku untuk sebagian besar varietas tanah. Sejumlah besar korelasi empiris dengan parameter tanah telah diperoleh melalui akumulasi pengalaman selama berhari-hari. Tabel 2.2 menyajikan nilai N pasir yang ditentukan melalui Uji Penetrasi Standar (SPT), serta korelasi antara kepadatan relatif dan sudut geser internal.

Tabel 2.2 Hubungan ϕ , dan N Tanah Pasir

Nilai N	Kepadatan Relatif		Sudut Geser Dalam	
	D	$r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$	Menurut Peck	Menurut Meyerhof
0 – 4	Sangat Lepas	0 – 0,2	< 28,5	<30
4 – 10	Lepas	0,2 – 0,4	28,5 – 30	30 – 35
10 – 30	Sedang	0,4 – 0,6	30 – 36	35 – 40
30 – 50	Padat	0,6 – 0,8	36 – 41	40 – 45
>50	Sangat Padat	0,8 – 1	>41	>45

Sumber: (Sosrodarsono, 2000)

Daya dukung tanah tersebut memerlukan harga N yang didapatkan melalui SPT. Penentuan daya dukung tanah bergantung pada kekuatan gesernya. Hipotesis awal yang dikemukakan Coulomb mengenai kuat geser tanah adalah sebagai berikut:

$$r = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

ϕ = Sudut geser tanah ($^{\circ}$)

c = Kohesi tanah (kg/cm^2)

r = Kekuatan geser tanah (kg/cm^2)

σ = Tegangan normal yang terjadi pada tanah (kg/cm^2)

Dunham pada tahun 1962 mengemukakan rumus yang diterapkan untuk menemukan sudut geser tanah non-kohesif (pasir), sebagai berikut:

- a) Sudut geser tanah butiran bulat dengan gradasi seragam atau butiran pasir segi dengan gradasi tidak seragam adalah:
- b) Sudut gesek butiran pasir segi dengan gradasi seragam ialah:

2.4. Pengertian Pondasi

Fondasi diperlukan untuk semua struktur yang dirancang untuk ditopang oleh bumi. Pondasi memindahkan baik beban yang ditanggungnya maupun massanya sendiri ke dan dari tanah serta dukungan di bawahnya. Kuil (1997).

Menurut Bowles (1997), pondasi adalah suatu elemen struktur yang terletak pada dasar suatu bangunan atau struktur (Sub Struktur) yang berfungsi untuk memindahkan beban dari struktur atas ke tanah di bawahnya, sekaligus mencegah keruntuhan geser dan penurunan tanah. Tanah atau pondasi yang besar. Model dan bentuk pondasi sangat beragam sesuai dengan kebutuhan lapangan, dan penting untuk dicatat bahwa bentuk yayasan ini terus berkembang dengan pesat.

2.4.1. Fungsi Pondasi

Pondasi ini dirancang untuk memudahkan transmisi beban konstruksi ke tanah substratum. Rencana pondasi dianggap akurat bila beban yang ditanggung oleh yayasan tetap ada pada area lahan tertentu yang dipermasalahkan.

Penetapan kekuatan tanah yang berlebihan akan mengakibatkan terjadinya penurunan atau keruntuhan tanah yang berlebihan.

Elemen-elemen pondasi di pandang sebagai penghubung pada tanah dengan nilai tegangan yang dapat di analisa,serta nilai penurunannya dengan parameter - parameter tertentu. Peranan pondasi dalam meneruskan beban - beban dari atasnya dapat mencegah adanya kerusakan pada struktur atas seperti retakan - retakan atau

bila sangat fatal akan mengakibatkan keruntuhan pada struktur bangunan. Atas dasar penjelasan di atas maka fungsi pondasi sangat penting baik dari segi keseimbangan momen struktur serta kesatuan struktur secara utuh guna mendukung kekakuan dan kelangsungan suatu bangunan sesuai rencana.

2.4.2. Dasar Pemilihan Pondasi

Mengingat bahwa semua struktur didukung pondasi dan akhirnya oleh tanah atau batuan, maka keberhasilan sebuah struktur sangat tergantung pula pada kegiatan perencanaan, perancangan, dan pelaksanaan. Tiap proyek membutuhkan kerjasama dengan beragam disiplin ilmu. Sehingga kegiatan perencanaan, perancangan dan pelaksanaan harus disesuaikan dengan tuntutan-tuntutan lain selain kondisi lapisan tanah. Jenis pondasi optimal untuk konfigurasi bangunan tertentu ditentukan oleh sejumlah faktor, termasuk fungsi bangunan dan beban yang harus ditanggungnya, kondisi permukaan, dan biaya pondasi relatif terhadap biaya bangunan. Meskipun faktor-faktor tambahan dapat dipertimbangkan, pertimbangan-pertimbangan yang disebutkan di atas biasanya bersifat mendasar. Untuk menentukan jenis substruktur, langkah-langkah yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan informasi terkini tentang kondisi bangunan dan beban-beban yang disalurkan ke pondasi.
2. Pastikan kondisi bawah tanah secara keseluruhan.
3. Sangat penting untuk segera menilai keseluruhan konfigurasi pondasi untuk menentukan kapasitasnya dalam menahan beban yang diperlukan dan untuk mengidentifikasi potensi penurunan yang merugikan.
4. Melakukan analisis mendalam dan mengembangkan desain awal untuk mendapatkan bentuk pondasi yang optimal. Informasi lebih lanjut mengenai tekanan dan kondisi bawah tanah biasanya diperlukan agar studi ini dapat ditinjau secara komprehensif guna memastikan perkiraan dimensi pondasi atau pilar, serta panjang dan kuantitas yang diperlukan. Selain itu, penurunan permukaan tanah harus diperkirakan untuk memperhitungkan perilaku struktur.

Tentukan bentuk pondasi yang paling dapat diterima berdasarkan kondisi pelaksanaan dan biaya, setelah memperkirakan biaya masing-masing bentuk.

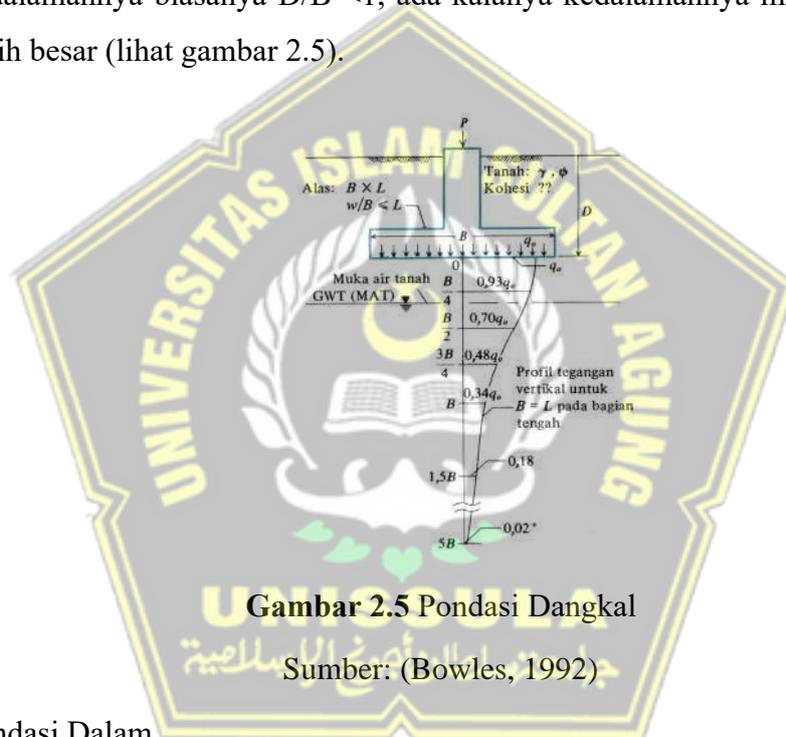
Memahami kemungkinan perilaku setiap bentuk pondasi pada kondisi bawah permukaan saat ini merupakan prasyarat untuk langkah ketiga dan keempat.

2.4.3. Klasifikasi Pondasi

Berdasarkan letaknya yang bebannya ditopang oleh tanah, jenis pondasi dapat dibedakan sebagai berikut:

a. Pondasi Dangkal

Pondasi yang memikul beban secara langsung disebut pondasi dangkal; contohnya pondasi sawit, pondasi memanjang, dan pondasi rakit. Meskipun kedalamannya biasanya $D/B < 1$, ada kalanya kedalamannya mungkin sedikit lebih besar (lihat gambar 2.5).

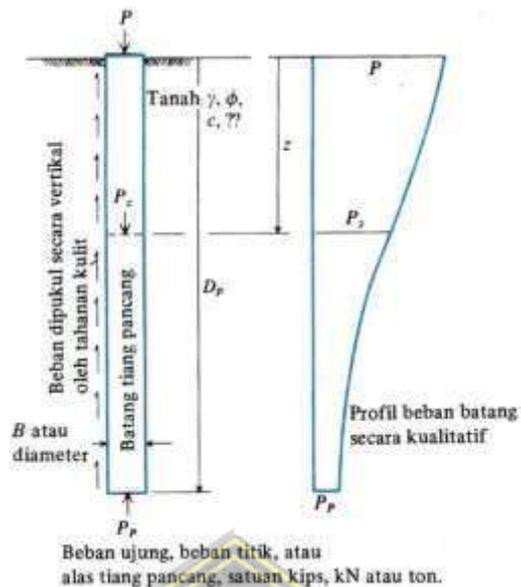


Gambar 2.5 Pondasi Dangkal

Sumber: (Bowles, 1992)

b. Pondasi Dalam

Sebagai contoh, pondasi tiang pancang dan pondasi sumur adalah contoh pondasi dalam yang memindahkan beban bangunan ke tanah atau batuan dasar yang relatif dalam dan kokoh. Memanfaatkan tumpukan seperti Gambar 2.6, $D/B > 4$



Gambar 2.6 Pondasi Dalam

Sumber: (Bowles, 1992)

2.5. Pondasi Dalam

Fondasi yang dalam ditandai dengan adanya area bawah tanah yang cukup besar atau pemanfaatan pilar (tiang pancang) sebagai penyangga (Smith dan Madyayanti, 1984).

Meskipun ruang bawah tanah yang dalam dirancang serupa dengan pondasi rakit, namun ruang tersebut menggunakan nilai koefisien daya dukung yang berbeda. Selain itu, sangat penting untuk memastikan bahwa struktur menerima beban yang cukup untuk mencegah terjadinya pengangkatan ke atas.

Fondasi yang memindahkan beban struktur ke batuan padat atau tanah yang berada di kedalaman yang cukup di bawah permukaan termasuk pondasi dalam.

- Pondasi sumuran (*Caisson Foundation*) berfungsi sebagai perantara antara pondasi dangkal dan pondasi tiang pancang. Hal ini dipakai dalam situasi di mana tanah dasar yang kokoh terletak pada kedalaman yang cukup, yang ditunjukkan dengan nilai kedalaman (D_f) dikalikan dengan lebar (B) melebihi 4, sementara pondasi dangkal menghasilkan nilai 1 (D_f/B).
- Dengan menyerap deformasi, pondasi tiang pancang ialah konstruksi pondasi yang bisa menahan gaya portogonal terhadap sumbu tiang. Penopang pondasi digunakan untuk menyatukan dasar tiang di bawah

struktur, sehingga mengubah pondasi tiang menjadi satu kesatuan. (1987, Kazuto Nakazawa)

Pondasi tiang digunakan untuk memberikan dukungan struktural pada struktur yang terletak pada lapisan tanah yang sangat dalam dan padat. Selain untuk menopang bangunan yang tahan terhadap gaya angkat ke atas, bentuk substruktur ini sangat cocok untuk struktur bertingkat tinggi yang mengalami gaya guling akibat pembebanan angin. Selain itu, tiang penyangga struktur dermaga. Pilar-pilar struktur ini terkena dampak gelombang laut dan dampak kapal (H.C. Hardiyatmo, 2002).

Ada banyak kegunaan pondasi tiang pancang, diantaranya:

1. Memindahkan beban struktur yang letaknya di atas air atau tanah berpori ke tanah pendukung yang kuat.
2. Menyalurkan beban hinggaskedalaman tertentu ke dalam tanah relatif berpori sehingga gesekan bangunan antara dinding tiang dan tanah disekitarnya cukup untuk menopang beban ke atas akibat tekanan hidrostatik atau momen guling.
3. Menahan tanah bergaya horizontal dan miring.
4. Meningkatkan daya dukung tanah granular melalui pemadatan.
5. Memberikan keutuhan struktur pada pondasi bangunan yang terletak pada permukaan tanah yang rawan air (Hardiyatmo, 2002).

Pondasi tiang pancang terbagi dalam tiga kategori berikut:

1. Tiang Perpindahan Besar (*Large Displacement Pile*)

Tiang perpindahan besar (*large displacement pile*), yang menunjukkan gundukan padat atau berongga dengan ujung tertutup yang dipadatkan ke dalam tanah untuk menggantikan sejumlah besar tanah. Tiang perpindahan besar terdiri dari tiang beton padat, tiang beton pratekan berongga atau padat, baja bulat tiang dengan ujung tertutup, dan tiang beton padat.

2. Tiang Perpindahan Kecil (*Small Displacement Pile*)

Tiang perpindahan kecil (*small displacement pile*), dengan perpindahan kecil setara dengan tiang pancang standar. Volume sedimen yang dipindahkan selama tiang pancang relatif kecil untuk tiang pancang yang termasuk dalam kategori pertama, seperti tiang pancang beton berongga dengan ujung terbuka, tiang

beton pratekan dengan ujung terbuka, tiang baja H, tiang baja bulat dengan ujung terbuka, dan tiang berulir.

3. Tiang Tanpa Perpindahan (*Non Displacement Pile*)

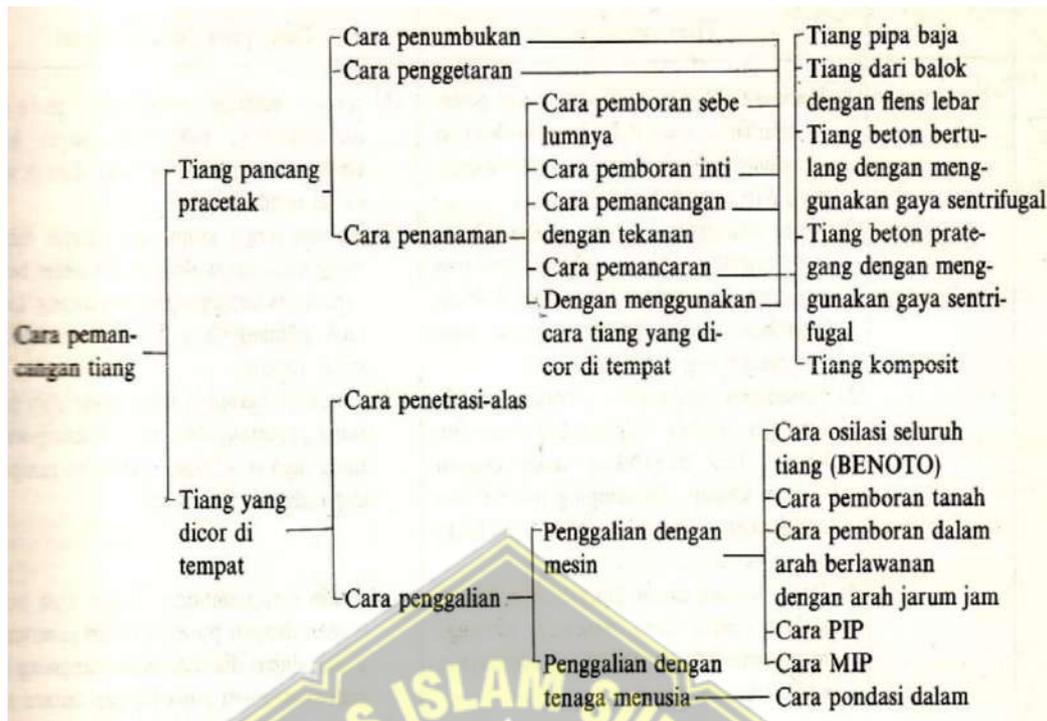
Tiang tanpa perpindahan (*non displacement pile*), yaitu tiang yang dimasukkan ke dalam tanah melalui proses penggalian atau pengeboran. Tiang pancang, yaitu tiang pancang beton yang dicor langsung ketdalam rongga yang dibuat dengan cara menggali tanah dengan menggunakan pipa baja untuk memasukkan beton (H.C. Hardiyatmo, 2002), diklasifikasikan sebagai tiang pancang tanpa perpindahan.

Pondasi tiang pancang dapat dikategorikan menurut faktor-faktor seperti kualitas material, metode pelaksanaan, pemanfaatan material, dan banyak lagi. Kategorisasi menurut proses pembuatan dan kualitas bahan disajikan pada Tabel 2.1. Klasifikasi tiang menurut metode pemasangannya dirinci pada tabel berikutnya.

Tabel 2.3 Macam-macam Pondasi Berdasarkan Kualitas Material

Kualitas bahan	Nama tiang		Cara pembuatan	Bentuk
Tiang baja	Pipa tiang baja		Di sambung secara elektris, di arah datar, mengeliling	Lingkaran
	Tiang dengan flens lebar (Penampang H)		Diasah dalam keadaan panas, dilas	H
Tiang beton	Tiang beton Pracetak	Tiang beton bertulang pracetak	Diaduk dengan gaya sentrifugal Diaduk dengan penggetar	Lingkaran Segitiga Dan lain-lain
		Tiang beton prategang pracetak	Sistim penarikan awal Sistim penarikan akhir	Lingkaran
	Tiang yang dicor di tempat	Tiang alas Tiang beton Raymond	Sistim pemancangan	Lingkaran
		<ul style="list-style-type: none"> · Dengan menggoyangkan semua tabung pelindung. · Dengan membor tanah · Dengan pemutaran berlawanan arah · Dengan pondasi dalam 	Sistim pemboran	

Sumber: (K. Nakazawa, 1983)



Gambar 2.7 Macam-macam Pondasi Berdasarkan Cara Pembuatan

Sumber: (K. Nakazawa, 1983)

2.6. Pondasi *Bored Pile*

Sebelum pemasangan tiang bor, terlebih dahulu dilakukan persiapan tanah dengan menggunakan alat bor untuk membuat diameter sesuai dengan desain. Setelah itu, bagian bawah lubang yang dibor dibersihkan dengan benar. Selanjutnya tulangan atau pipa dimasukkan ke dalam lubang tersebut, dan beton dituang dengan menggunakan pipa tremie (Asiyanto, 2009).

Memanfaatkan alat mekanis, lubang dibor. Sebelum melakukan pengeboran di tanah rawan longsor, jika perlu, buatlah pipa selubung (biasanya hanya untuk lapisan paling atas). Biasanya, tanah liat bentonit digunakan untuk mengisi lubang bor di dasar saluran casing untuk mencegah pergeseran dinding.

Faktor-faktor berikut harus dipertimbangkan ketika membangun tiang bor:

- A. Sangat penting untuk menetapkan urutan pengeboran untuk lokasi tiang pancang dengan cara mencegah tiang pancang yang telah selesai dibor mengganggu pergerakan atau manuver peralatan pengeboran, yang biasanya merupakan gerakan mundur.

- B. Cairan pengeboran rata-rata akan dihasilkan selama prosedur pengeboran. Maka dari itu, kotoran wajib bisa dialirkan ke suatu lokasi tertentu agar kebersihan di lokasi tetap terjaga dan tidak menghambat kemajuan pekerjaan.
- C. Sistem tremie digunakan dalam proses pengecoran untuk mencegah segregasi.

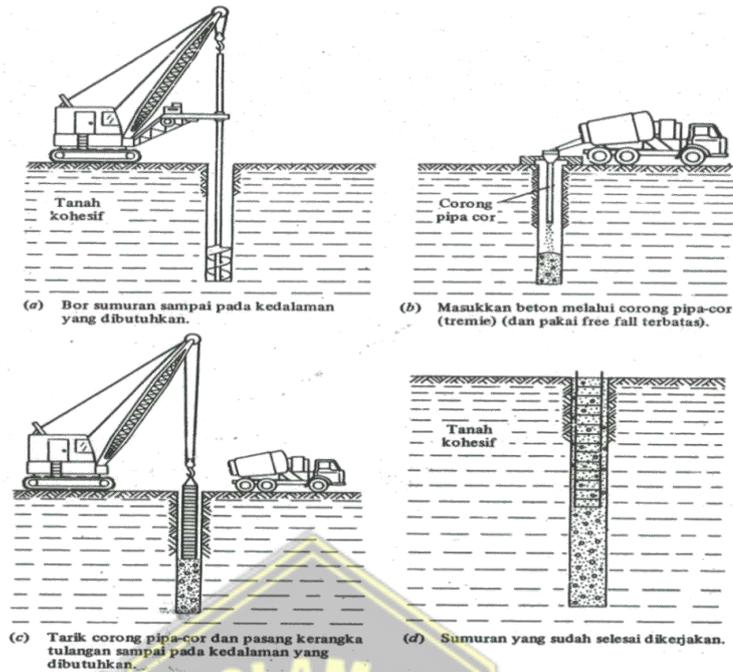
Ada 3 macam metode dasar untuk *Bored Pile*, yakni:

A. *Dry Method*

Berikut urutan pelaksanaan pekerjaan pada metode ini:

1. Mulailah dengan membuat cekungan pada tanah hingga kedalaman yang diinginkan menggunakan auger.
2. Beton dituangkan secukupnya untuk mengisi rongga setinggi besi tulangan. Casting dapat dilakukan dengan ketinggian terbatas melalui jatuh bebas.
3. Tulangan besi diturunkan ke dalam rongga.
4. Beton dituangkan ke dalam setiap rongga hingga mencapai ketinggian yang ditentukan.

Pendekatan ini digunakan pada kondisi tanah kohesif dimana permukaan airtanah berada di bawah kedalaman sumur atau tanah mempunyai permeabilitas yang terbatas, sehingga mencegah campur tangan air tanah dalam proses pelaksanaannya. Maka dari itu, pendekatan ini disebut metode kering. Hal ini diilustrasikan pada Gambar 2.9.



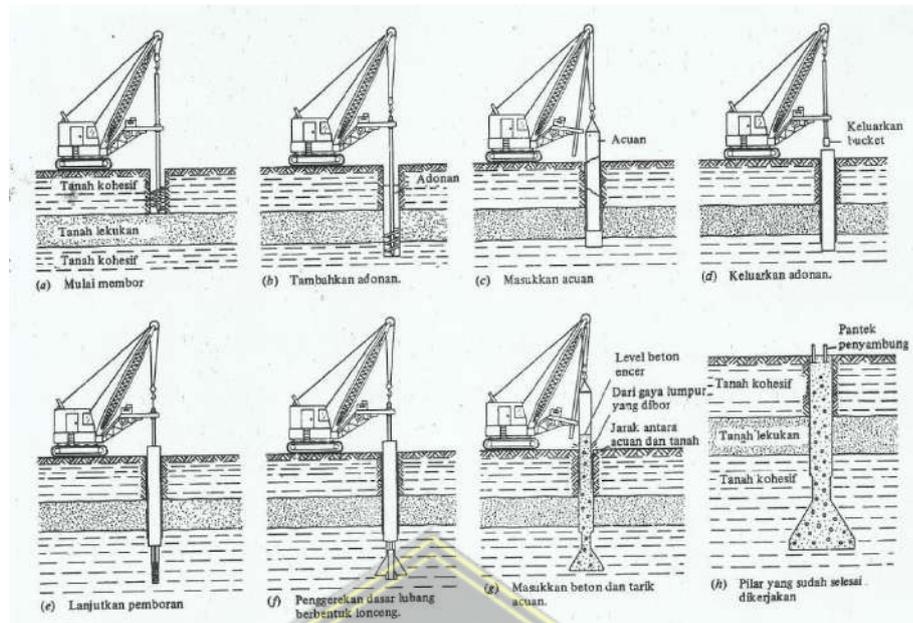
Gambar 2.8 Bored Pile dengan Dry Method

Sumber: (Asiyanto, 2009)

B. Casing Method

Casing Method diterapkan untuk menutup sebagian rongga saat tanah rentan terhadap deformasi searah lubang galian. Pendekatan ini juga digunakan jika tujuannya adalah untuk menghalangi masuknya air tanah ke dalam sumur sekaligus memastikan bahwa ujung selubung dapat menembus tanah yang kedap air.

Pengisian rongga bor dengan sedimen (slurry) pada saat pemasangan casing dilakukan untuk menjaga kondisi lubang bor. Setelah casing dimasukkan, sedimen di dalam rongga bor dialirkan keluar. Bergantung pada persyaratan pelaksanaan, gali sekali lagi bagian bawah selubung dengan menggunakan diameter yang tidak lebih besar dari diameter bagian dalam selubung, dengan perkiraan 25 hingga 50 mm. Sehubungan dengan casing, ada dua kemungkinan tindakan: membiarkan casing tetap di tempatnya atau melepasnya sekali lagi selama prosedur pengecoran beton. Hal ini ditunjukkan pada gambar:



Gambar 2.9 Bored Pile dengan Casing Method

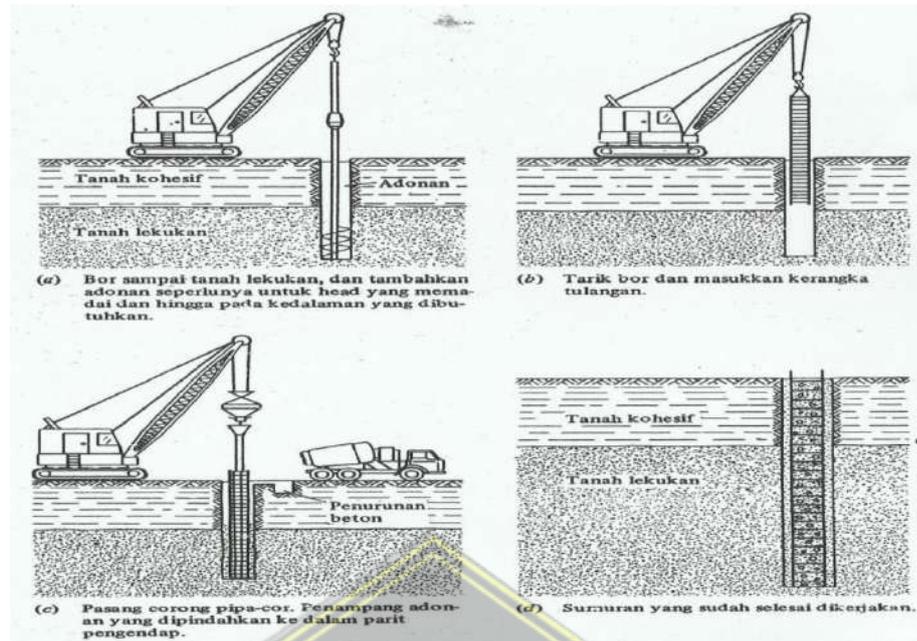
Sumber: (Asiyanto, 2009)

Bila dipilih alternatif casing ditinggal maka dibutuhkan grouting iyang dimasukkan di bawah tekanan antara selubung luar dan bumi untuk mengisi kembali sedimen.

Jika memilih untuk melepas casing, berhati-hatilah saat melepas casing; beton harus masih cair pada saat dikeluarkan, dan beton justru dapat memaksa keluarnya bubur.

C. Cashing Method

Teknik ini berlaku untuk semua skenario penggunaan casing. Selain itu, sedimen ini mencegah infiltrasi air tanah ke dalam rongga. Penting untuk diketahui bahwa dalam pendekatan khusus ini, kecukupan slurry ditentukan oleh levelnya (jika tidak mencukupi, slurry tambahan harus ditambahkan) atau densitasnya (untuk mencapai kekuatan yang diperlukan untuk mencegah tanah agar tidak runtuh ke dalam tanah). Urutan implementasi metode ini diilustrasikan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Bored Pile dengan Starry Method

Sumber: (Asiyanto, 2009)

Bahan bentonit sering digunakan dalam bentuk bubur cair (bentonite slurry) dengan cara mencampurkannya dengan air. Pengujian eksperimental campuran bentonit diperlukan untuk menentukan kuantitas persentase optimal. Dalam kebanyakan kasus, 4 sampai 6% berat sudah cukup. Air dan bentonit wajib tercampur dengan benar agar larutan tidak terlalu kental.

Secara umum, pendekatan ini dirancang untuk menghindari peninggalan slurry di dalam rongga dalam waktu lama. Ini bertujuan untuk mencegah pembentukan dinding tipis sulit untuk dihilangkan atau diganti dengan beton selama proses pengecoran.

Pipa tremie harus tetap terendam dalam beton selama proses pengecoran; Oleh karena itu, baik kecepatan pengecoran maupun kecepatan penarikan pipa tremie harus diperhatikan. Berikut beberapa manfaatnya Bored Pile dibandingkan dengan Driving Pile:

1. Batu-batu besar yang lebih kecil dari sepertiga diameter bukaan dapat dipindahkan dengan mudah; batu-batu besar dengan diameter lebih besar dari bukaan memerlukan penggunaan peralatan khusus untuk memecahkannya.

2. Daya dukung dan komposisi tanah di dasar lubang dapat diamati langsung melalui diameter kawah yang lebih besar.
3. Diameter tiang yang lebih besar dapat mengurangi jumlah tiang yang dibutuhkan.
4. Mampu menahan gaya tarik dan perluasan ujung tiang untuk meningkatkan kapasitas daya dukungnya dengan relatif mudah.
5. secara substansial mengurangi getaran dan keributan.

Sementara kerugiannya ialah:

1. Namun tidak cocok digunakan bila lapisan tanah keras terletak pada jarak yang cukup jauh dari permukaan bumi.
2. Kondisi cuaca buruk akan menghambat tahap pelaksanaan.
3. Pembuangan tanah dari lubang galian dan sisa bubur bentonit memerlukan tenaga kerja lebih lanjut untuk tujuan pengangkutan dan pembuangan.

2.7. Metode Pelaksanaan Pondasi *Bored Pile*

Pekerjaan Boring Pile, serupa dengan tugas lainnya, dilaksanakan dengan mematuhi prosedur kerja yang diuraikan dalam diagram alur, yang telah disepakati bersama oleh berbagai pemangku kepentingan.

Bagan 2.2 Metode Pelaksanaan Pondasi Bored Pile



1. Mobilisasi Sumber Daya

Dalam memulai pekerjaan, tentunya memerlukan berbagai peralatan khususnya peralatan yang digunakan dalam pekerjaan persiapan. Alat sangat dibutuhkan dalam membuka ruang dan mempersiapkan ruang dalam persiapan pelaksanaan pekerjaan yang akan dilakukan selanjutnya.

2. *Survey* / Pengukuran

Sebelum memulai pekerjaan tiang pancang, perlu dilakukan pengintaian terlebih dahulu koordinat dan letak lokasi tiang pancang yang akan dilakukan pengeboran bukaan sesuai dengan gambar kerja. Untuk menentukan titik tiang pancang, pengukuran harus dilakukan sehubungan dengan titik acuan standar, yang harus ditentukan dalam gambar kerja yang disetujui konsultan. Selain itu, pengukuran dilakukan di lapangan dengan membuat plot gambar kerja dan menggunakan teodolit dan spirit level.



Gambar 2.11 Pengukuran/*Sureying*

Sumber : Dokumentasi Magang, 2021

3. Pabrikasi Pembesian

Sebelum melakukan hal lain, bala bantuan harus dikumpulkan. Penguatan tiang bor harus dibangun secara sistematis baik di lokasi pengeboran atau di area yang ditentukan di tempat lain. Hal ini dicapai dengan memasang tulangan utama dan tulangan spiral, dengan tulangan spiral diikat ke tulangan utama dengan cara yang sangat kuat.



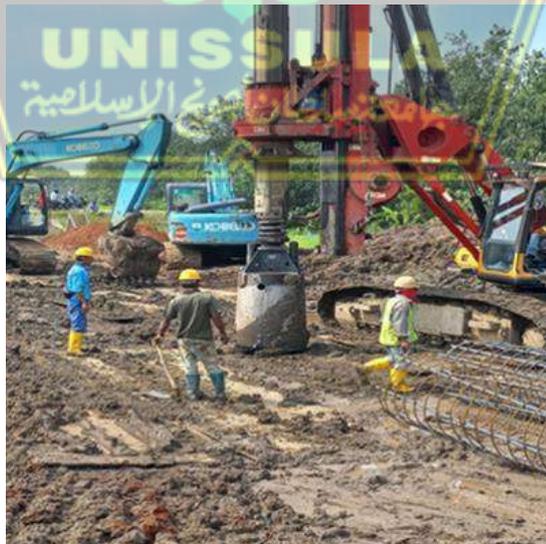
Gambar 2.12 Fabrikasi Pembesian

Sumber : Dokumentasi Magang, 2021

4. *Pre-Boring* / Pengeboran Tahap I

a. Pengeboran

Setelah *surveyor* secara akurat menentukan posisi koordinat *pile* dan *cut-off level* proses pengeboran dapat dilakukan. Setelah mesin bor diposisikan pada lokasi pengeboran yang dituju, auger atau wadah pengeboran disejajarkan pada titik pemancangan yang dibor. Pengeboran dilakukan sampai kedalaman 2-3 meter hingga mencukupi untuk menempatkan temporary casing.



Gambar 2.13 Pengeboran tahap 1

Sumber : Dokumentasi Magang, 2021

b. Pemasangan *Temporary Casing*

Setelah melakukan pengeboran hingga mencapai kedalaman 2-3 meter selanjutnya adalah memasang *temporary casing* kedalam lubang. Pemasangan *casing* ini bertujuan untuk menghindari keruntuhan tanah pada saat pengeboran.

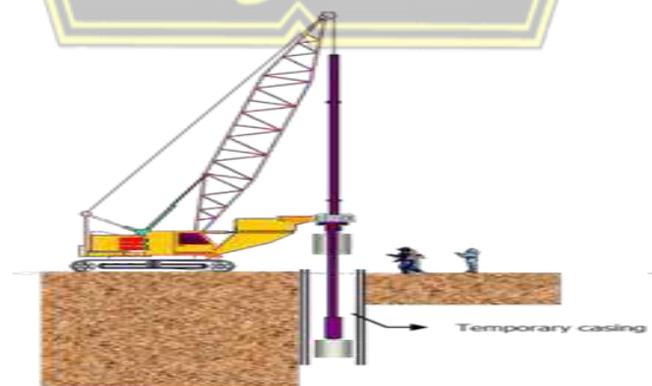


Gambar 2.14 Pemsangan Casing

Sumber : Dokumentasi Magang, 2021

5. Pengeboran Tahap II

Setelah casing dipasang, lanjutkan ke kedalaman yang diinginkan menggunakan prosedur pengeboran. Air harus ditambahkan terus menerus sebelum mencapai permukaan air tanah untuk memudahkan proses pengeboran. Dengan membangun jalur drainase mandiri, aliran sedimen diarahkan untuk dibuang melalui truk sampah.



Gambar 2.15 Ilutstrasi Pengeboran Tahap II

Sumber : Dokumentasi Magang, 2021



Gambar 2.16 Pengukuran/Sureying

Sumber : Dokumentasi Magang, 2021

6. Pemasangan Besi Tulangan

Setelah pembersihan lubang bor selesai dilakukan pengecekan kembali kedalaman akhir *bored pile* kemudian segera dilakukan pemasangan tulangan yang telah dirakit/difabrikasi sebelumnya, tulangan yang sudah dirakit diturunkan kedalam lubang secara vertikal menggunakan alat berat crane atau alat angkat lainnya. Tulangan yang telah dimasukan kedalam lubang.



Gambar 2.17 Pemasangan Besi Tulangan

Sumber : Dokumentasi Magang, 2021

7. Pengeboran

Setelah perkuatan tiang bor dipasang, pipa tremie yang terdiri dari beberapa segmen harus dipasang. Sistem thread membangun koneksi antara setiap segmen. Pemasangan pipa tremie dilakukan hingga kedalaman rongga tiang yang digali. Setelah pemasangan pipa tremie terakhir selesai, pipa paling atas disambung atau dilengkapi dengan saluran beton sebelum digantung pada garpu tremie. Untuk mencegah air tremie bercampur dengan beton, bahan kedap air dituangkan ke dasar rongga.

Setelah semua komponen siap, mulailah proses pengecoran. Beton harus dituang secara kontinyu dan langsung dari kendaraan pengaduk ke dalam lubang tremie selama proses pengecoran. Di tengah prosedur pengecoran, pipa tremie ditarik secara bertahap dengan tetap memastikan ujung bawahnya tetap terendam dalam beton yang telah dituangkan sebelumnya. Pengecoran dilanjutkan hingga jarak satu setengah meter dari titik potong untuk mempercepat pembuangan beton yang dituangkan, karena bagian ini terkontaminasi dengan sedimen atau lumpur selama proses pengecoran, sehingga menghasilkan kualitas beton yang lebih rendah.



Gambar 2.18 Pengecoran

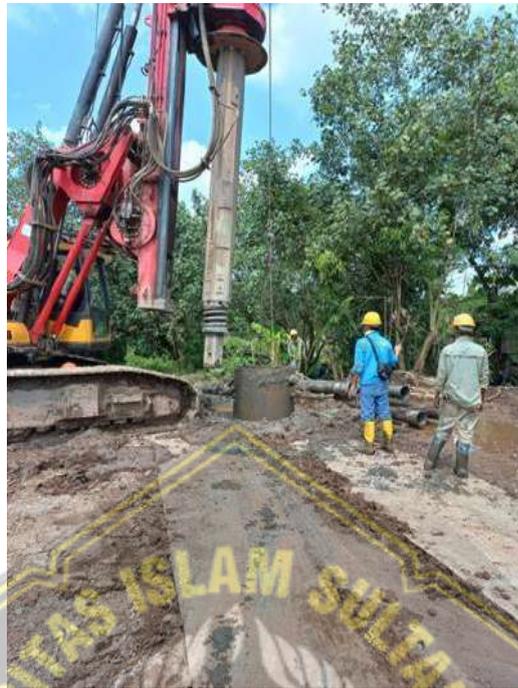
Sumber : Dokumentasi Magang, 2021

8. *Finishing* dan Pembersihan Akhir

a. Pencabutan Casing

Pelepasan pipa casing tertanam akan terjadi setelah selesainya proses pengecoran. Pelepasan casing dilakukan secara bertahap dengan menggunakan

mesin untuk mencegah longsor dan segregasi beton di sepanjang permukaan. Setelah itu, casing yang dilepas dikeluarkan dari area pengeboran.



Gambar 2.19 Pencabutan Casing

Sumber : Dokumentasi Magang, 2021

2.8. Pembebanan

Pembebanan untuk analisis kekuatan jembatan berfungsi sebagai prinsip dasar untuk mengidentifikasi gaya dan beban yang diperlukan untuk menghitung tegangan yang dialami pada masing-masing segmen jembatan. Untuk memudahkan prosedur analisis kekuatan jembatan yang efektif, tujuan dari struktur ini adalah untuk mencapai kekuatan yang ekonomis dan aman sesuai dengan kondisi setempat. Untuk kepentingan analisis ini, perhitungannya berpedoman pada SNI 1725-2016 yang khusus membahas pembebanan jembatan.

Perhitungan beban terjadwal sesuai ketentuan yang dituangkan dalam SNI 1725-2016 meliputi:

1. Beban Permanen
2. Beban Lalu Lintas
3. Beban Lingkungan
4. Beban Lainnya

2.8.1. *Beban Permanen*

Beban permanen adalah beban inert yang disebabkan anggota struktur struktur yang menopang beratnya sendiri. Sesuai dengan dimensi yang ditentukan dalam gambar denah dan berat jenis bahan yang dipakai, massa setiap struktur harus dihitung. 1 Massa komponen struktur dikalikan dengan percepatan gravitasi $9,81 \text{ m/s}^2$ menghasilkan berat.

1. **Berat Sendiri**

Berat sendiri jembatan terdiri dari seluruh massa tetap yang berasal dari komponen struktural dan non-struktural seluruh jembatan yang ditinjau.

a. Perencanaan Lantai Kendaraan

$$\text{Berat plat dipakai} = 22 + 0,022 f'c (\text{kN/m}^3) \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{Berat perkerasan aspal dipakai} = 22 (\text{kN/m}^3) \dots\dots\dots (2.5)$$

b. Perencanaan gelagar jembatan

$$\text{Berat sendiri gelagar} = 22 + 0,022 f'c (\text{kN/m}^3) \dots\dots\dots (2.6)$$

(Sumber: SNI 1725-2016, Pasal 7.1)

2. **Beban Mati Tambahan**

Beban mati tambahan ialah berat semua material yang menjadi beban jembatan yang bukan merupakan elemen struktur; misalnya, jumlahnya dapat bervariasi sepanjang umur jembatan.

a. Pelapisan ulang permukaan aspal (overlay) dianggap sebesar 50mm.

$$\gamma_{\text{aspal}} = 22 \text{ kN/m}^3$$

b. Sandaran, pagar pengaman dan penghalang betona

c. Sarana umum seperti pipa air dan lampu jalana

d. Genangan air hujan = $9,8 \text{ kN/m}^3$

(Sumber: SNI 1725-2016, Pasal 7.3)

2.8.2. *Beban Lalu Lintas*

1. **Beban Lajur "D" (TD)**

Beban saluran terpusat dan beban terdistribusi secara merata terdiri dari beban saluran "D". Pengaruh beban lajur "D" pada jembatan setara dengan beban kendaraan sebenarnya dan mempengaruhi seluruh bentangan lajur kendaraan. Kapasitas keseluruhan muatan lajur "D" sebanding dengan lebar lajur kendaraan. Besarnya q (kPa) untuk beban

yang merata ditentukan oleh total panjang bentang L yang dibebani. Hal ini secara matematis diwakili oleh Persamaan 3.1 dan Persamaan 3.2 sebagai

(Sumber: SNI 1725-2016, Pasal 8.3)

$$L \leq 30 \text{ m} \rightarrow q = 9,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$L \geq 30 \text{ m} \rightarrow q = 9,0 \cdot (0,5 + 15) \dots\dots\dots(2.8)$$

"L" mewakili panjang kumulatif setiap beban yang terputus. Jalur "D" dibebani dengan cara tegak lurus terhadap arah lalu lintas, seperti diilustrasikan pada Gambar 2.20 1.

2. Beban Garis (BGT)

Beban garis (BGT) ditempatkan secara sembarang dan melintang terhadap arah lalu lintas di sepanjang jembatan. Untuk memperoleh momen terbesar di tengah bentang, BGT diposisikan di tengah bentang sesuai desain ini. BGT memiliki intensitas $P = 49,0 \text{ kN/m}$, sebagaimana tercantum dalam Pasal 8.3 SNI 1725-2016.



Gambar 2.20 Beban Lajur "D"

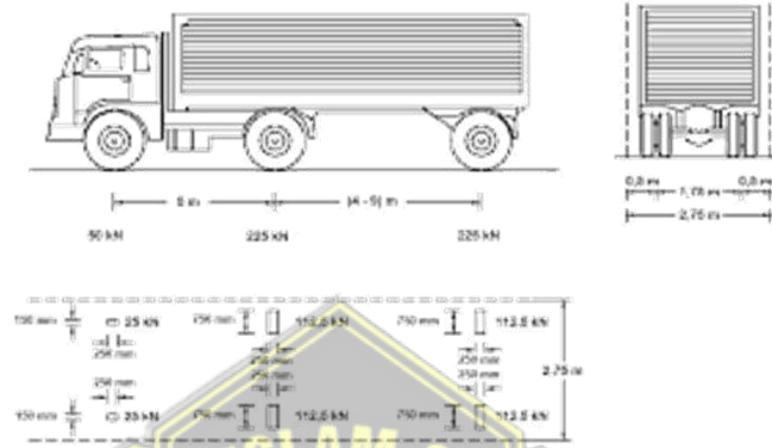
(Sumber: SNI 1725-2016, Pasal 8.3)

Agar imendapat momen dan geser pada arah memanjang gelagar jembatan, maka penyediaan distribusi beban "D" pada arah melintang jembatan memerlukan intensitas seratus persen.

3. Beban Truck "T"

Muatan pada kendaraan "T" berupa truk semi trailer yang porosnya disusun dan ditimbang seperti terlihat pada Gambar 2.21. Berat setiap poros dibagi menjadi dua massa yang sama besarnya dan terdistribusi

secara merata dan meliputi bidang kontak antara roda dan permukaan lantai. Dengan mengatur jarak antara kedua sumbu dari 4,0 m menjadi 9,0 m, arah memanjang jembatan dapat diubah secara signifikan, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.21.

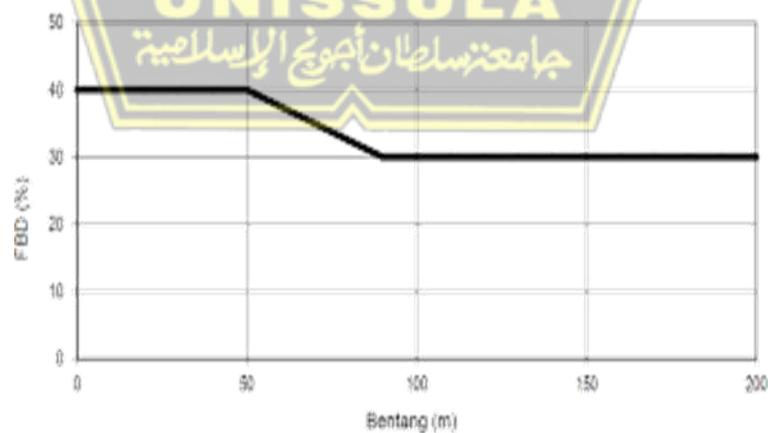


Gambar 2.21 Beban Truck “T”

(Sumber: SNI 1725-2016, Pasal 8.4)

4. Faktor Beban Dinamis

Faktor beban dinamis (FBD) adalah konsekuensi interaksi antara jembatan dan kendaraan yang bergerak. Penerapan faktor beban dinamis pada pemuatan truk “D” dan “T” mensimulasikan efek getaran yang ditimbulkan oleh kendaraan yang bergerak pada struktur jembatan. Beban garis FBD diilustrasikan pada Gambar 2.22 berikut.



Gambar 2.22 Faktor Beban Dinamis (FBD)

(Sumber: SNI 1725-2016)

Tabel 2.4 Faktor Beban Dinamis Untuk Beban Garis KEL

Bentang Ekuivalen L_E (m)	DLA (untuk kedua keadaan batas)
$L_E < 50$	0,4
$50 < L_E < 90$	$0,525 - 0,0025 L_E$
$L_E \geq 90$	0,3

Catatan:

Untuk bentang lurus, L = panjang bentang sebenarnya. Tentukan bentang kontinu dengan menggunakan Persamaan 2.9 di bawah.

Untuk bentang menerus $L_E = \sqrt{L_{rata-rata} \cdot L_{maks}}$ (2.9)

Dengan:

$L_{rata-rata}$ = Panjang bentang rata-rata dari bentang menerus

L_{maks} = Panjang bentang maksimum dari bentang menerus

5. Gaya Rem

Diduga gaya rem bekerja secara horizontal sepanjang sumbu jembatan, berjarak 1,8 meter dari permukaan lantai kendaraan. Dampak yang disebutkan di atas harus ditentukan sama dengan gaya pengereman.

- a. 25% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR
- b. 5% dari berat gandar truk desain

2.8.3. Beban Lingkungan

1. Beban Angin

Asumsikan bahwa beban angin didistribusikan secara merata ke seluruh permukaan yang terkena angin. Luas yang dihitung adalah jumlah luas seluruh komponen yang diukur tegak lurus terhadap arah mata angin; dengan demikian, Persamaan 2.10 diturunkan.

$$V = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B}\right) \ln \frac{Z}{Z_0} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

V_{DZ} = Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana (km/jam)

V_{10} = Kecepatan angin pada elevasi 10m diatas permukaan tanah atau diatas permukaan air rencana 90 – 126 km/jam

V_B = Kecepatan angin rencana 90 – 126 km/jam

- Z = Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung
- V₀ = Kecepatan gesekan angin
- Z₀ = Panjang gesekan dihilu jembatan

Tabel 2.5 Nilai V₀ dan Z₀ untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V ₀ (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z ₀ (mm)	70	1000	2500

(Sumber: SNI 1725:2016)

2. Beban Gempa

Jembatan wajib dirancang dengan peluang keruntuhan yang rendah, tetapi mampu menahan kerusakan besar dan gangguan layanan jika terjadi gempa bumi. Dalam beberapa kasus, penggantian struktur secara keseluruhan atau sebagian diperlukan. Otoritas yang berwenang mampu menentukan tingkat kinerja tambahan, termasuk kinerja operasional.

Beban gempa direpresentasikan sebagai gaya horizontal yang dihitung dengan mengalikan berat ekivalen struktur dengan koefisien respon elastis (Csm). Nilai ini selanjutnya disesuaikan dengan menggunakan faktor modifikasi respon (Rd) seperti pada rumusan selanjutnya:

$$E_Q = \frac{C_{SM}}{R_D} \times W_t^2 \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

- E_Q = gaya gempa horizontal statis (kN)
- C_{sm} = koefisien respon gempa elastis
- R_d = faktor modifikasi respons
- W_t = berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN).

Penentuan koefisien respon elastis C_{sm} melibatkan analisis spektrum percepatan dan peta percepatan batuan dasar sesuai dengan periode ulang gempa dan wilayah gempa. Pada kedalaman 30 meter di bawah struktur, koefisien percepatan dari peta gempa dikalikan dengan faktor amplifikasi sesuai kondisi tanah.

Sesuai dengan standar ini, jembatan konvensional diatur. Merupakan tanggung jawab pemilik proyek untuk memastikan dan mencapai konsensus mengenai ketentuan yang sesuai untuk jembatan yang tidak lazim. Dengan tidak adanya instruksi eksplisit dari pemilik proyek, struktur bawah tanah tidak diwajibkan untuk mematuhi ketentuan ini. Dampak seismik gempa bumi terhadap struktur bawah tanah dan gorong-gorong persegi tidak perlu dipertimbangkan, kecuali jika struktur tersebut melintasi celah aktif. Penting untuk mempertimbangkan dampak kondisi tanah yang tidak stabil, seperti tanah longsor, likuifaksi, dan perpindahan patahan, terhadap pengoperasian jembatan. Untuk perhitungan beban gempa, perhitungan metode analisis, perhitungan peta gempa, dan perhitungan detail struktur mengacu pada Standar SNI 2833:2008.

Tabel 2.6 Faktor modifikasi respons (R_d)

	Kolom atau pilar	Penghubung (<i>connection</i>) bangunan atas pada		
		Kepala jembatan (<i>b</i>)	Kolom, pilar atau tiang (<i>c</i>)	Sambungan dilatasi
Pilar tipe dinding (<i>a</i>)	2 (sumbu kuat) 3 (sumbu lemah)	0,8	1,0	0,8
Kolom tunggal	3-4			
Kolom majemuk	5-6			
<i>pile cap</i> beton	2-3			

Catatan:
a. Pilar tipe dinding dapat direncanakan sebagai kolom tunggal dalam arah sumbu lemah pilar
b. Untuk jembatan bentang tunggal digunakan faktor $R_d = 2,5$ untuk hubungan pada kepala jembatan
c. Sebagai alternatif hubungan kolom dapat direncanakan untuk gaya maksimum yang dikembangkan oleh sendi plastis kolom

Sumber : SNI 2833:2008

2.9. Kapasitas Daya Dukung Pondasi *Bored Pile*

Informasi tanah penting dalam menentukan daya dukung akhir pondasi tiang pancang dan merencanakan daya dukung tiang sebelum dimulainya konstruksi.

2.9.1. Analisis Kapasitas Daya Dukung Meyerhof (1976)

Sulitnya memperoleh sampel tanah tidak terganggu pada tanah granular, sehingga dilakukan uji SPT. Karakteristik tanah pasir dinilai dalam percobaan ini melalui pengukuran kepadatan relatif langsung di lapangan. Saat menentukan nilai kepadatan relatif, uji penetrasi standar, yang juga dikenal sebagai uji SPT, sering

digunakan. Untuk menentukan daya dukung tiang berlubang dengan menggunakan data SPT dapat diterapkan metode Meyerhof tahun 1976.

Rumus berikut menentukan daya dukung ultimits atau daya dukung tanah maksimum suatu tiang pondasi:

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

Q_u = Daya dukung tanah maksimum pada pondasi (ton).

Q_p = Kapasitas tahanan di ujung tiang (ton).

Q_s = Kapasitas tahanan Selimut/skin Resistace (ton).

- Kapasitas tahanan dilujung tiang dirumuskan:

$$Q_p = A_b \times f_b \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

Q_p = Kapasitas tahanan dilujung tiang (ton)

A_p = Luasi penampang tiang (m^2)

q_p = Tahanan ujung per satuan tiang (ton/m^2)

- a) Untuk tiang dalam kondisi tanah pasir dan kerikil :

$$q_p = 0.4 \times N_{60}' \times (L/d) \times \sigma_r' \leq 4 \times N_{60}' \times \sigma_r' \text{ (ton/ m}^2\text{)} \dots\dots\dots (2.14)$$

- b) Untuk tiang dalam kondisi tanah lanau tidak plastis :

$$q_p = 0.4 \times N_{60}' \times (L/d) \times \sigma_r' \leq 3 \times N_{60}' \times \sigma_r' \text{ (ton/ m}^2\text{)} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

q_p = Tahanan ujung persatuan luas (ton/m^2)

σ_r = Tegangan referensi = 100 kN/m^2

$N_{60}' = N$ -SPT yang dikoreksi untuk prosedur lapangan dan tekanan overburden dinyatakan sebagai N rata-rata dari $8d$ di atas dasar tiang dan $4d$ di bawah dasar tiang

L = Kedalaman penetration tiang (m)

d = Diameter tiangl (m)

- Kapasitas tahanan selimut/skin resistace

Dirumuskan :

$$Q_s = A_s \times f_s \dots\dots\dots (2.16)$$

a) Untuk tanah berpindah besar (Tianh Bor) :

$$f_s = \frac{1}{50} \times \sigma_r \times N_{60} \text{ (ton/m}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.17)$$

b) Untuk tanah perpindahan kecil :

$$f_s = \frac{1}{100} \times \sigma_r \times N_{60} \text{ (ton/m}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

Q_s = Kapasitas tahanan Selimut/skin Resistace (ton)

A_s = Luas selimut tiang (m²)

f_s = Tahanan selimut / skin resistance per satuan tiang (ton/m²)

σ_r' = Tegangan referensi = 100 kN/m²

N_{60} = Nilai rata-rata dari SPT (Standart Penetration Test)”

2.9.2. Analisis Daya Dukung Metode Reese & Wright (1977)

Secara dasar, terdapat dua metode untuk memperkirakan kapasitas dukung aksial suatu tiang, tergantung pada sumber data yang digunakan. Pendekatan awal melibatkan penggunaan parameter kuat geser tanah, terutama nilai kohesi (c) dan sudut geser ϕ , yang didapatkan melalui hasil uji laboratorium. Metode kedua melibatkan pemanfaatan data uji lapangan, dengan uji lapangan umumnya menggunakan SPT untuk menentukan daya dukung tiang pancang. Ketepatan perkiraan daya dukung dengan menggunakan kedua metode ini sangat tergantung pada akurasi data yang didapatkan melalui penyelidikan tanah dan parameter empiris yang dipakai dalam praktik. Meyerhof mengembangkan persamaan daya dukung bersih yang terkait dengan nilai SPT. Daya dukung dihitung dengan menggunakan nilai N-SPT dengan langkah-langkah:

$$Q_p = A_p \times q_p \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimanah:

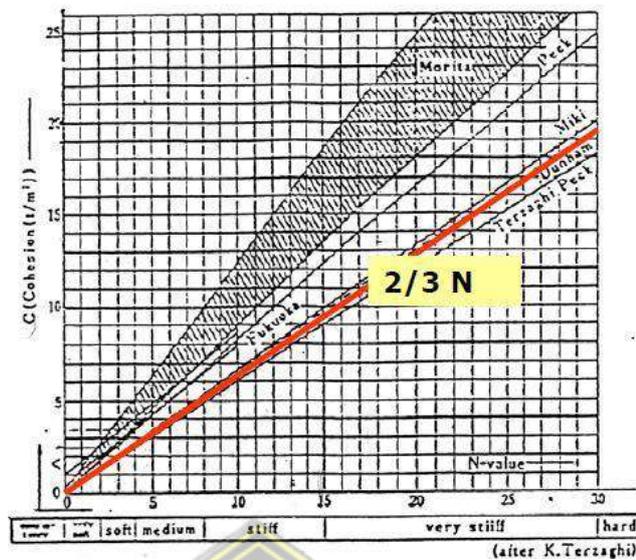
Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)

A_p = Luas penampang bored pile (m²)

q_p = Tahanan ujung persatuan luas(ton/m²)

Untuk tanah kohesif :

$$q_p = 9 \times C_u \dots\dots\dots(2.20)$$

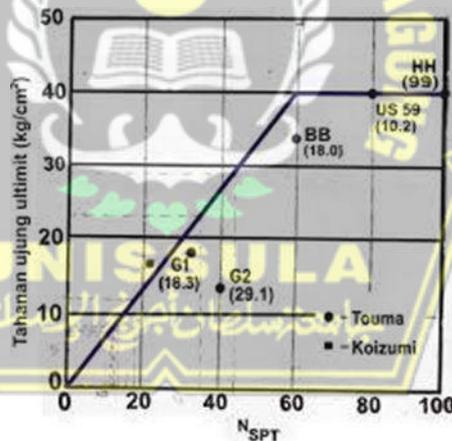


Gambar 2.23 Hubungan Nilai Kohesi dengan N-SPT

Besarnya C_u pada gambar di atas dapat dihitung dengan menggunakan harga N-SPT yang lazim dihitung sebagai berikut:

$$C_u = \frac{2}{3} * N\text{-SPT} \quad (C_u \text{ dalam } \text{ton/m}^2) \dots\dots\dots (2.21)$$

Gambar 2.24 mengilustrasikan korelasi yang diusulkan Reese & Wright (1977) antara q_p dan N-SPT untuk tanah non-koheusif.



Gambar 2.24 Daya Dukung Ujung Batas Bored Pile Pada Tanah Pasiran

Dimana:

Untuk $N \leq 60$ maka $q_p = 7 N \text{ (t/m}^2) < 400 \text{ (t/m}^2)$

Untuk $N > 60$ maka $q_p = 400 \text{ (t/m}^2)$

N = Nilai rata-rata SPT

Daya dukung selimut bored pile (skin friction), (Reese & Wright,1977)

$$Q_s = f \times L_i \times p \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana :

Q_s = Daya dukung selimut tiang (ton)

f = Tahanan satuan skin friction (ton/m²)

L_i = Panjang lapisan tanah (m)

p = Keliling tiang (m)

Pada tanah kohesif:

$$f = \alpha_i * c_u \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana :

α_i = Faktor adhesi, 0,55 (Reese & Wright,1977)

c_u = Undrained cohesion (ton/m²)

Pada tanah non kohesif :

$$f = K_0 \times \sigma_v' \times \tan \delta \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana :

K_0 = Koefisien tekanan tanah

$K_0 = 1 - \sin \phi$

σ_v' = Tegangan vertikal efektif tanah (ton/m²)

$\sigma_v' = \gamma \cdot L'$

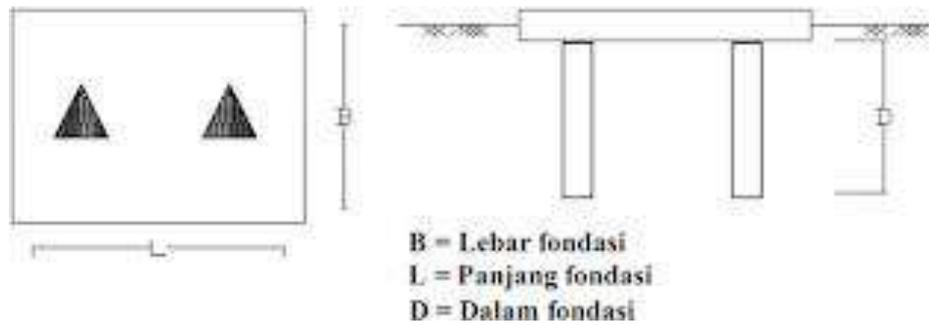
$L' = 15D$

D = diameter

$\delta = 0,8 \cdot \phi$

2.9.3. Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang

Sebelum menentukan daya dukung kumpulan tiang, perlu diperhatikan faktor-faktor berikut: jumlah tiang dalam satu kelompok, jarak antar tiang, konfigurasi tiang, dan keefektifan kelompok tiang. Kelompok tiang diilustrasikan pada representasi visual berikutnya.



Gambar 2.25 Kelompk Tiang

a. Jumlah Tiang (n)

Rumus yang digunakan untuk mengetahui jumlah tiang yang akan dipasang dengan mempertimbangkan beban yang diberikan pada pondasi dan daya dukung tiang yang diperbolehkan ialah:

$$n = P/ Q_a \dots\dots\dots(2.25)$$

Dengan:

P = Beban yang bekerja

Q_a = Kapasitas dukung ijin tiang tunggal

b. Jarak Tiang (S)

Perhitungan daya dukung suatu kelompok tiang sangat dipengaruhi oleh jarak antar tiang. Agar sekelompok tiang dapat berfungsi menjadi satu, jarak antar tiang ditentukan oleh peraturan bangunan masing-masing kawasan.

Jarak tiang biasanya dipakai bila:

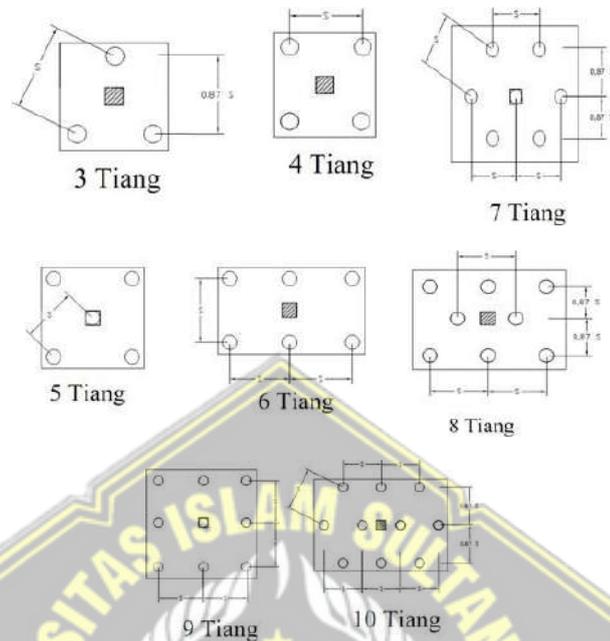
- 1) Jarak antar tiang sangat kecil karena ujung tiang tidak menembus tanah kokoh
- 2) Jarak antar tiang paling sedikit dua kali lipat diameter tiang atau dua kali lipat diagonal muka tiang.
- 3) Jarak minimum tiang dengan tanah kokoh adalah sama dengan panjang diagonal tiang ditambah 30 sentimeter atau diameter tiang ditambah 30 cm.

c. Susunan Tiang

Secara tidak langsung bergantung pada jarak antar tiang, luas rencana puncak tiang sangat dipengaruhi oleh konfigurasi tiang. Jarak tiang yang tidak teratur

menyebabkan perluasan luas rencana tutup tiang, yang selanjutnya meningkatkan volume beton dan akibatnya meningkatkan biaya konstruksi (Suralelono, 1994).

Ilustrasi susunan tiang bisa dilihat melalui gambar berikut:



Gambar 2.26 Susunan Tiang

Sumber: Hary Christady Harditatmo, 2003

d. Efisiensi Kelompok Tiang

Efisiensi tiang bergantung pada beberapa faktor (Coduto, 1983):

1. Arah dari beban yang bekerja
2. Jumlah, panjang, diameter, susunan dan jarak tiang
3. Macam tanah
4. Model transfer beban
5. Prosedur pelaksanaan pemasangan tiang
6. Urutan pemasangan tiang
7. Waktu setelah pemasangan

Persamaan untuk menghitung efisiensi kelompok tiang:

Conversi – Labarre

$$E_g = 1 - \theta \frac{n-1 m+ m-1 n}{90.m.n} \dots\dots\dots(2.26)$$

Dengan :

- Eg = Efisiensi kelompok tiang
- $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{d}{s} \right)$
- m = Jumlah baris tiang
- n = Jumlah tiang dalam satu baris
- d = Diameter tiang
- s = Jarak antar pusat tiang

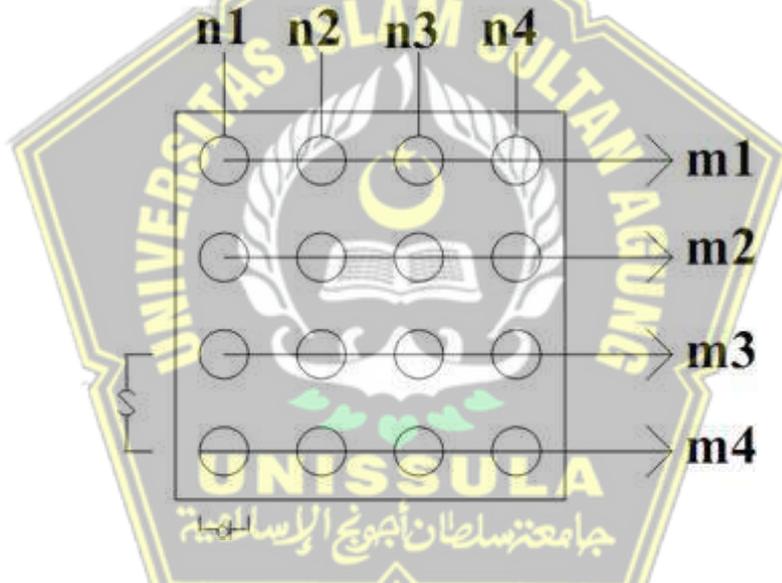
Dimana :

- Kapasitas Kelompok Ijin Tiang :

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_a \dots\dots\dots(2.27)$$

Keterangan :

- Eg = Efisiensi kelompok tiang
- n = Jumlah tiang dalam satu kelompok
- Qa = Daya dukung yang diijinkan (ton)



Gambar 2.27 Baris Kelompok Tiang

e. Los Angeles Group – Action Formula

$$E_{LA} = 1 - \frac{D}{\pi \cdot s \cdot m} [m(n - 1) + (m - 1) + \sqrt{2(m - 1)(n - 1)}] \dots\dots(2.28)$$

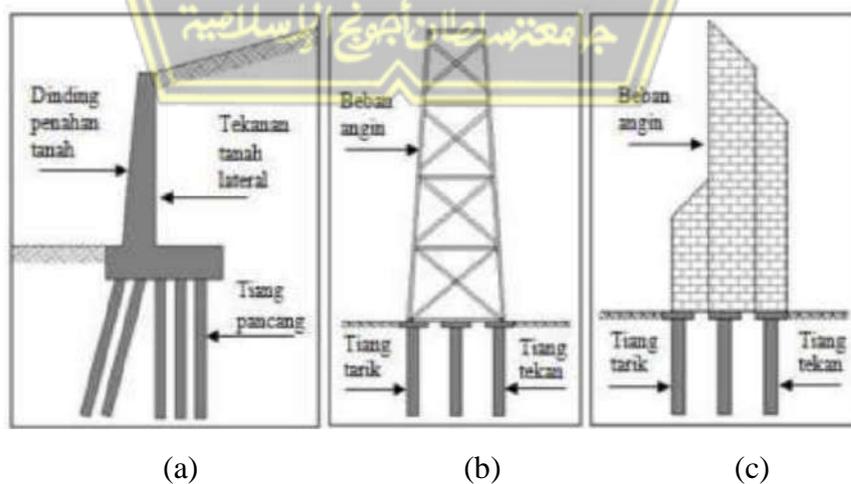
Dengan :

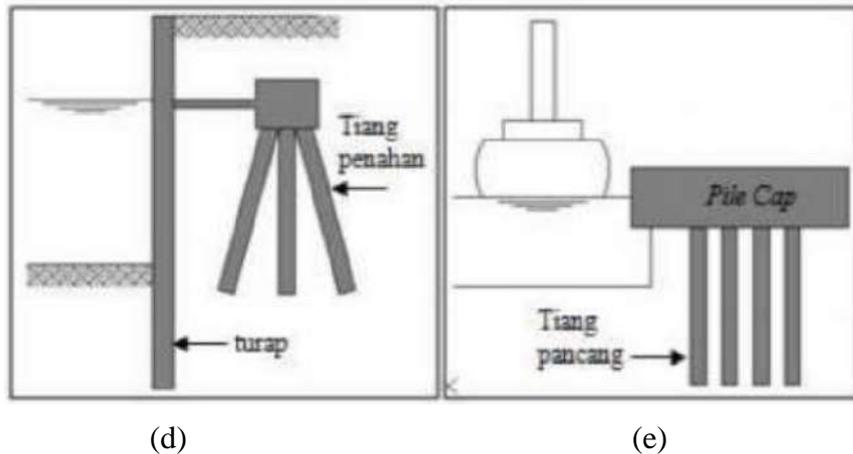
- m = Jumlah baris tiang
- n = Jumlah tiang dalam satu baris
- d = Diameter tiang
- s = Jarak pusat ke pusat tiang

2.9.4. *Beban Lateral*

Tekanan lateral adalah tekanan yang bercirikan orientasi horizontal. Beban horizontal meliputi, namun tidak terbatas pada beban gempa, beban angin, tekanan tanah lateral, gelombang, dan kapal membentur sisi bangunan dan struktur. Gaya lateral yang diteruskan ke kelompok pondasi tiang oleh struktur bangunan akan menentukan beban lateral yang diterima pondasi tiang pancang. Gaya ini diteruskan ke kolom paling bawah pada struktur atas.

Ada banyak aplikasi pondasi tiang pancang dalam menahan tekanan lateral pada struktur. Seperti digambarkan pada Gambar (a), pondasi tiang pancang mampu menahan beban lateral yang diberikan pada dinding penahan; beban lateral ini disebabkan oleh tekanan lateral tanah. Seperti yang terlihat pada Gambar (b) dan (c), pondasi tiang pancang memiliki kemampuan untuk menahan beban lateral, termasuk beban angin, yang bekerja pada struktur bangunan bertingkat tinggi seperti rangka baja dan gedung pencakar langit. Sebagai akibatnya, pondasi tiang pancang mengalami gaya tarik dan tekan. Gambar (d) menggambarkan bahwa pondasi tiang pancang juga dapat memberikan dukungan pada dinding tiang pancang yang memeluknya. Pada proyek konstruksi di lepas pantai, pondasi tiang pancang juga menghadapi beban lateral yang disebabkan oleh gaya eksternal, termasuk angin, gelombang laut, dan benturan kapal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar (e).





Gambar 2.28 Aplikasi pondasi tiang dalam menahan beban lateral

2.9.5. Metode Broms (1964)

Dengan memanfaatkan diagram tekanan tanah yang disederhanakan dan mengasumsikan bahwa reaksi atau tahanan tanah mencapai nilai maksimum sepanjang kedalaman tiang, metode perhitungan ini dapat dijalankan. Beberapa manfaat yang terkait dengan pemanfaatan metode Broms:

- A. Dapat diterapkan pada tiang pendek dan panjang.
- B. Berlaku dalam situasi di mana kepala tiang terkekang atau tidak terkekang.

Selain itu, metode brom juga memiliki beberapa kelemahan tambahan, antara lain sebagai berikut:

- A. Berlaku khusus pada strata tanah yang bersifat homogen, khususnya tanah kohesif atau tanah nonkohesif.
- B. Tidak berlaku untuk tanah bertingkat.

Brom membedakan perilaku tiang pendek (kaku) dan panjang (elastis), serta antara kondisi kepala tiang bebas dan kepala tetap. Menurut Broms (1964), korelasi antara tipe tiang dan penjepit tiang pada tanah kohesif ditentukan oleh faktor tak berdimensi βL .

$$Kh = \frac{K_1}{1.5} \dots\dots\dots (2.29)$$

$$\beta = \left(\frac{Kh \cdot d}{4 \cdot E_p \cdot I_p} \right)^{\frac{1}{4}}$$

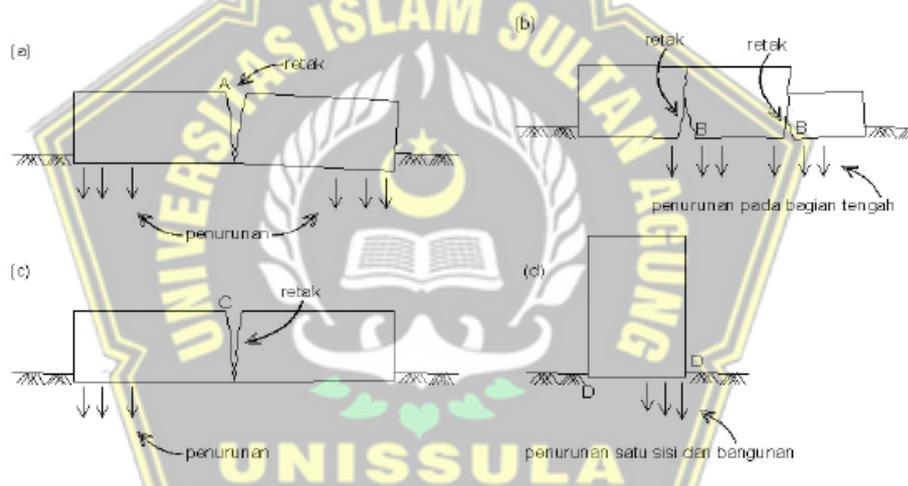
- Tiang ujung bebas dianggap sebagai tiang Panjang (tiang kaku) $\beta L > 0.5$
- Tiang ujung jepit berkelakuan seperti tiang pendek, $\beta L < 0.5$

2.9.6. Penurunan Tiang

Ada dua aspek kemunduran yang relevan dengan disiplin ilmu teknik sipil:

- Tingkat penurunan yang akan terjadi
- Besarnya penurunan tersebut.

Konsep penyelesaian menunjukkan perpindahan lokasi tertentu pada suatu struktur sehubungan dengan titik acuan stasioner. Secara umum, penurunan total menimbulkan ancaman yang lebih kecil terhadap suatu struktur dibandingkan dengan penurunan yang tidak seragam. Ilustrasi bentuk reduksi disajikan pada gambar berikut:



Gambar 2.29 Contoh Kerusakan Bangunan Akibat Penurunan

- Terlihat dari gambar (a) bahwa; jika tepi bangunan turun lebih jauh dari titik tengahnya, diperkirakan akan terbentuk retakan di tengah struktur.
- Gambar (b) menggambarkan; jika bagian tengah bangunan terus turun, maka bagian atas mengalami tegangan sedangkan bagian bawah ditarik. Retak dapat terjadi akibat tegangan tarik yang timbul di bawah struktur jika deformasinya sangat parah.
- Bagian d dapat mengalami patah jika salah satu sisi atau sisinya tereduksi pada gambar (c).

- d. Terjadinya penurunan muka tanah secara progresif pada salah satu sisi struktur pada gambar (d) menyebabkan struktur menjadi miring tanpa terbentuknya retakan.

Selain mengurangi daya dukung tanah, setiap operasi penggalian menyebabkan perubahan kondisi tegangan tanah. Variasi pada tingkat tegangan selalu mengakibatkan perubahan bentuk, yang kemudian menyebabkan berkurangnya pondasi (Hardiyatmo, 1996).

Saat menghitung penyelesaian kelompok tiang, tantangan utama berikut ini:

- a. Menentukan beban aksial yang terjadi sepanjang tiang dan besarnya beban yang ditanggung setiap tiang dalam kelompoknya untuk menghitung pemendekan tiang.
- b. Dalam meramalkan besarnya tegangan tanah yang disebabkan oleh beban tiang dan karakteristik tanah yang terletak di bawah puncak tiang.

2.9.7. Penurunan pada Tiang Tunggal

Penyelesaian jangka panjang tidak perlu dipertimbangkan, selama tidak melampaui penurunan yang diizinkan yang telah ditentukan, menurut asumsi Poulos dan Davis (1980), karena penurunan jangka panjang relatif kecil dan berlangsung dalam jumlah yang cukup besar. waktu. Hal ini dikarenakan pondasi tiang pancang memberikan dukungan terhadap transmisi beban. Dengan daya dukung selimut pondasi tiang pancang dan puncak tiang.

Persamaan untuk Sedangkan penurunan pondasi tiang pancang ialah:

Untuk tiang apung atau friksi

$$S = \frac{QI}{E_s D} \dots\dots\dots (2.30)$$

Keterangan:

$$I = I_o \cdot R_k \cdot R_h \cdot R_\mu$$

Untuk daya dukung ujung tiang

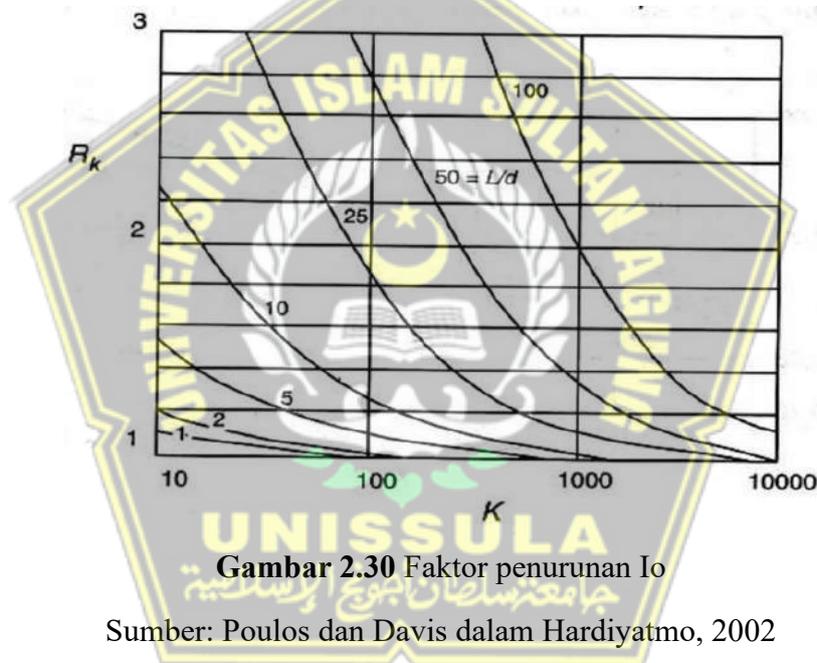
$$S = \frac{QI}{E_s D} \dots\dots\dots (2.31)$$

Dimana:

$$I = I_o \cdot R_k \cdot R_b \cdot R_\mu$$

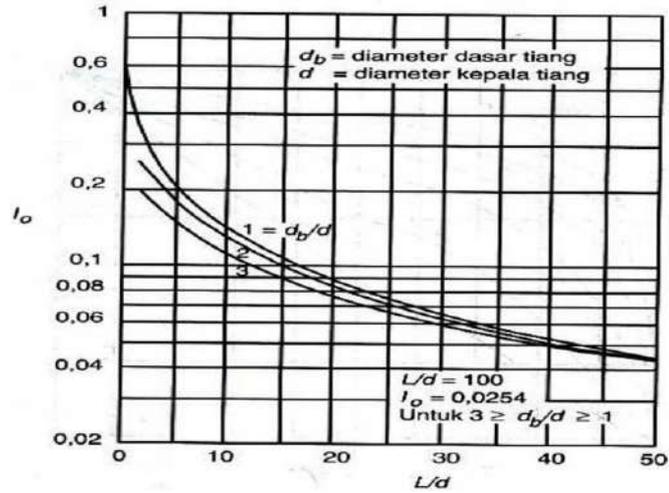
Keterangan :

- I_o = Faktor penurunan untuk tiang yang tidak mudah mampat
- R_b = Faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung
- R_h = Faktor koreksi untuk tebal lapisan yang terletak pada tanah keras
- R_k = Faktor koreksi kemudah mampatan tiang
- R_μ = Faktor koreksi angka Poisson μ
- S = Besar penurunan yang terjadi pada tiang tunggal.
- Q = Beban yang ditahan pada pondasi
- h = Kedalaman total lapisan tanah dari ujung tiang ke muka tanah
- D = Diameter tiang.



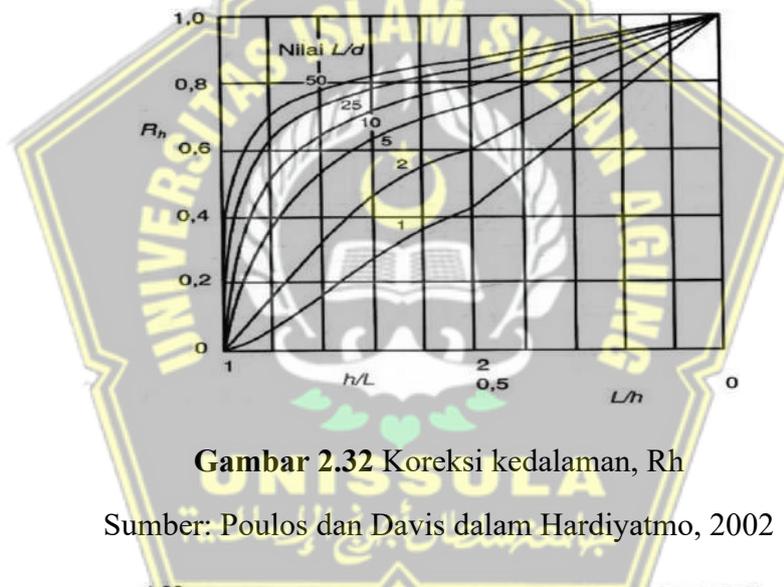
Gambar 2.30 Faktor penurunan I_o

Sumber: Poulos dan Davis dalam Hardiyatmo, 2002



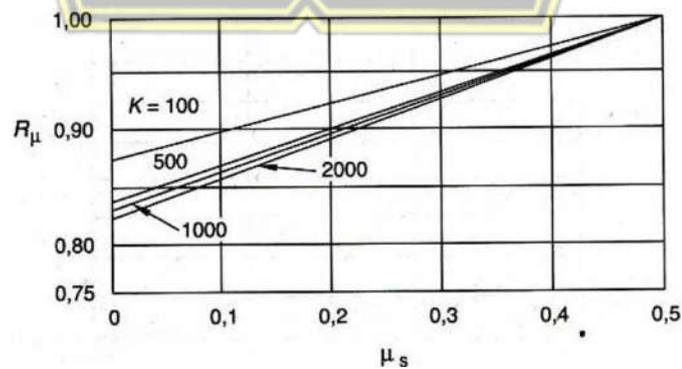
Gambar 2.31 Koreksi kompresi, R_k

Sumber: Poulos dan Davis dalam Hardiyatmo, 2002



Gambar 2.32 Koreksi kedalaman, R_h

Sumber: Poulos dan Davis dalam Hardiyatmo, 2002



Gambar 2.33 Koreksi Angka Poisson, R_{μ}

Sumber: Poulos dan Davis dalam Hardiyatmo, 2002

2.9.8. Penurunan pada Tiang Kelompok

Dengan menggunakan rumus berikut, besarnya penurunan pondasi kelompok tiang dihitung dengan menggunakan metode Vesic (1977):

$$S_g = S \sqrt{\frac{B_g}{D}} \dots\dots\dots (2.32)$$

Keterangan:

- B_g = lebar kelompok tiang (m).
- D = diameter tiang (m)
- S = penurunan tiang tunggal (m).
- S_g = penurunan kelompok tiang (m).

2.9.9. Penurunan Tiang yang Diizinkan

Amblesan pondasi yang cepat diperkirakan terjadi pada kondisi tanah berpasir karena nilai permeabilitas yang meningkat akibat butiran yang relatif besar yang ada di dalam tanah. Sebaliknya, tanah lempung dan lanau mengalami kerusakan secara bertahap karena terhambatnya infiltrasi air yang disebabkan oleh sifat kohesif dan ukuran partikel tanah lempung yang sangat kecil. Tidak dapat dipungkiri bahwa suatu pondasi yang terletak pada tanah yang dibebani pasti akan mengalami penurunan kekuatan akibat beban yang harus ditopang atau ditanggung oleh pondasi tersebut. Sebab, batas izin harus diterapkan pada penurunan pondasi sehingga perlu adanya pertimbangan penurunan pondasi. Peraturan yang mengatur derajat penurunan maksimum yang diperbolehkan pada pondasi tiang pancang ialah:

$$S_{\text{Total}} \leq S_{\text{izin}} \dots\dots\dots (2.33)$$

$$S_{\text{izin}} = 10 \% \cdot D$$

Keterangan :

D = Diameter tiang.

Sebaliknya, ASTM D1143/81 menetapkan persyaratan pengurangan izin berikut:

$$(S_{\text{izin}}) = 25.40 \text{ mm}$$

2.9.10. Faktor Keamanan

Daya dukung kondisi tanah juga harus dipertimbangkan ketika merancang pondasi; kapasitas ini harus dibagi lagi menjadi faktor keamanan untuk berbagai kondisi, yang dihitung baik pada tahap perencanaan maupun tahap pelaksanaan.

Pembentukan angka keamanan memiliki tujuan sebagai berikut:

1. untuk memastikan bahwa variasi dalam metode penghitungan diperhitungkan secara memadai
2. memperhitungkan perbedaan dalam kompresibilitas tanah dan kekuatan geser
3. memastikan tiang cukup kuat menahan beban kerja
4. untuk menjamin penyelesaian gabungan tiang tunggal dan tiang kelompok tetap dalam batas yang dapat diterima.

Dalam analisisnya, Reese dan O'Neill (1989) menawarkan perspektif mereka tentang angka keamanan dengan pertimbangan:

1. Jenis dan fungsi struktur
2. Jenis Tanah
3. Kemungkinan beban Eksentris
4. Kondisi tanah
5. Pengawasan saat Pengerjaan Pondasi
6. Tingkat keakuratan Data hasil Pengujian Tanah
7. Uji beban tiang

Tabel 2.7 Faktor Aman yang Disarankan

Klasifikasi struktur	Faktor keamanan (F)			
	Kontrol baik	Kontrol normal	Kontrol jelek	Kontrol sangat jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanen	2	2,5	2,8	3,4
Sementara	1.4	2	2,3	2,8

Sumber: Reese & O'Neill, 1989

Desain pondasi tiang pancang telah mempertimbangkan berbagai faktor keamanan, yang sangat dipengaruhi oleh jenis tiang pancang dan kondisi tanah.

1. Pondasi tiang *bored pile*

Dalam menentukan daya dukung izin, daya dukung maksimal dibagi dengan faktor keamanan.

- a. Untuk dasar tiang yang ditinggikan dengan diameter kurang dari 2 meter

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5} \dots\dots\dots (2.34)$$

- b. Untuk tiang kurang pengurangan diameter pada bagian dasarnya

$$Q_a = \frac{Q_u}{2} \dots\dots\dots (2.35)$$

Dalam kasus tiang pancang yang diameternya melebihi 2 meter, kapasitas tiang yang diizinkan harus dinilai dengan mempertimbangkan penurunan tiang. (1977, Tomlinson)



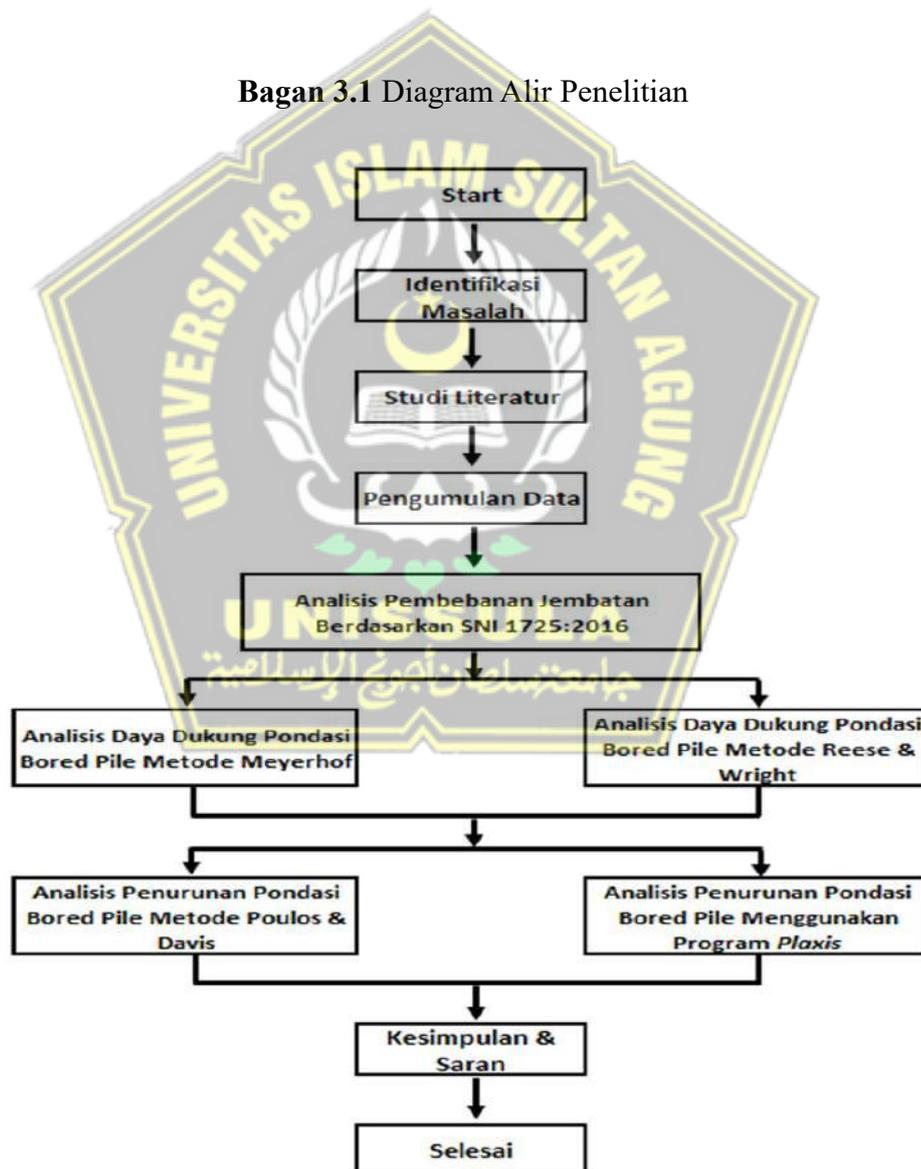
BAB III METODOLOGI

3.1. Pendahuluan

Tujuan dari tugas puncak ini adalah menyusun strategi pembangunan pondasi jembatan tol pada Paket 1.1 proyek Pembangunan Jalan Tol Solo-Yogyakarta-Nyia Kulon Progo, dengan penekanan khusus pada ruas A yang ditetapkan. penyelesaian pondasi borepile, perhitungan manual akan dilanjutkan dengan pemanfaatan program Plaxis 8.2.

Prosedur pengolahan atau analisis data digambarkan pada grafik 3.1 di bawah ini:

Bagan 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2. Studi Literatur

Berbagai sumber literatur digunakan untuk penelitian ini, yang terdiri dari majalah ilmiah, diktat, buku panduan yang berkaitan dengan topik penelitian, dan pedoman yang menunjukkan peraturan mengenai parameter yang diteliti.

3.3. Pengumpulan Data

1. Stratifikasi tanah atau pelapisan tanah
2. Parameter tanah
3. Denah dan detail pondasi

3.3.1. Data Umum Proyek

Proyek pembangunan Jalan Tol ini berlokasi di Solo – Yogyakarta- Nya Kulon Progo. Adapun data umum proyek tersebut bisa dilihat melalui tabel :

Table 3.1 Data Umum Proyek

1	Nama Proyek	Pengadaan Jasa Konstruksi Terintegrasi Rancang Bangun (Design and Build) Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo Seksi I Paket 1.1 Solo – Klaten(STA 0+000 s/d 22+300)		
2	Nama Identitas	Jalan Tol Solo – Yogyakarta Seksi I Paket 1.1		
3	Jenis Proyek/Pekerjaan	Infrastruktur / Jalan Tol		
4	Lokasi Proyek	Kabupaten Boyolali & Kabupaten Klaten		
5	Pemilik Proyek	PT. Jogjasolo Marga Makmur	Propinsi	Jawa Tengah
6	Pemimpin Proyek /KPA/PMO	Radyo W. Danubroto	Fax. -	manajemen@jsmm.co.id
7	Konsultan Perencana	PT. PERENTJANA DJAJA	081549539924	
8	Kontak personil	Irza Ratnasari	office@perentjanadjaja.id	
9	Konsultan Pengawas	PT. ESKAPINDO MATRA CE	08161947685	
10	Kontak Personil	Ir. Pratikta	eskapindo@gmail.com	
11	Perolehan Proyek	Tender Terbatas	082132943099	
12	Nilai Kontrak	Rp 3.980.612.885.454,50 (Excl. PPN)		

13	Sumber Dana	Pendanaan terlebih dahulu oleh Kontraktor (CPF)
14	Uang Muka	-
15	Sistem Pembayaran	<i>Contractor's Pre Financing</i>
16	Waktu pelaksanaan	730 Hari Kalender Untuk Pekerjaan Konstruksi 365 Hari Kalender Untuk Gambar Rencana Teknik Akhir (RTA)
17	Rencana vendor/sub kontraktor pekerjaan utama	a. PT Adhi Persada Beton (Beton Precast) b. PT Hanil Jaya Steel (Baja Tulangan) c. PT. Sumber Mitra Jaya d. PT. Dirgantara

3.3.2. Data Teknik Proyek

Pengembangan Jasa Perancangan dan Konstruksi Terpadu Bandara Internasional Solo–Yogyakarta–New York Spesifikasi Jalan Tol Kulon Progo Seksi I Paket 1.1 meliputi uraian tugas. C1, E yang mempunyai nilai K yang bervariasi berdasarkan jenis pekerjaan yang dilakukan merupakan klasifikasi beton menurut mutunya. Gunakan beton mutu B2 (K350) untuk pekerjaan pondasi tiang pancang diameter 100 cm, beton mutu E (K125) untuk kolom beton ramping (LC), mutu beton C1 (K350) untuk kepala tiang dan penyangga, serta mutu beton B1 (K350). untuk pekerjaan dermaga. Untuk konstruksi Pier Head digunakan beton mutu B1 (K350). Spesifikasi struktural berikut dirinci pada Tabel 3.2:

Table 3.2 Daftar Spesifikasi Struktur

No.	Uraian	Keterangan
1.	Pondasi	Pondasi <i>Bored Pile</i> diameter 100 cm Mutu beton K350
2.	Struktur	Beton Bertulang

3.	Mutu Beton	<p>Kelas B1 (K500) untuk pekerjaan Pier Head dan Pier</p> <p>Kelas B2 (K350) untuk pekerjaan pondasi Bored Pile</p> <p>Kelas C1 (K350) untuk pekerjaan (Abutment, Telapak Pier, Dinding, Penahan Tanah, Plat Injak, Box, Wingwall)</p> <p>Kelas C-2 (Gorong-Gorong Kotak)</p>
4.	Mutu Tulangan	Batang Baja Tulangan Sirip BjTS 420A

3.4. Tahapan Penelitian

Beberapa tahapan implementasi telah penulis selesaikan dalam penyusunan tugas akhir ini, agar maksud dan tujuan penelitian tercapai. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, tugas akhir ini bertujuan untuk menghitung daya dukung pondasi Bored Pile dengan menggabungkan perhitungan manual yang dilakukan pada data uji lapangan dengan yang diperoleh dari program Plaxis 8.2. Untuk mencapai tujuan ini, tahap-tahap berikut dilaksanakan:

3.4.1. Tahap Analisis Daya Dukung Tiang

1. Meyerhof dan Reese & Wright 1977

Tentukan dengan tangan jumlah penyelesaian yang disebabkan oleh beban tersebut. Pada saat melakukan perhitungan perencanaan pondasi tiang pancang berongga, penulis melaksanakan prosedur sebagai berikut:

2. Gunakan metodologi yang sudah ada untuk secara manual menghitung daya dukung pondasi tiang berlubang dengan memanfaatkan hasil (Drill Log) pengujian laboratorium tanah yang dilakukan dengan menggunakan metode aksial.
3. Penurunan tanah pondasi tiang bor akan dimodelkan dan dihitung dengan menggunakan software Plaxis 8.2.

3.4.2. Tahap Perhitungan Analisis Daya Dukung Pondasi Bored Pile dengan Metode Meyerhof (1976)

Sebelum melakukan analisa pondasi tiang bor, perlu dipastikan terlebih dahulu beban kerja yang terdiri dari:

1. Tentukan daya dukung tiang tunggal dengan urutan:
 - a) Tentukan nilai daya dukung ujung tiang

Tanah umumnya memiliki kapasitas daya dukung ujung ($c - \phi$ soil) menurut Meyerhof adalah sebagai berikut :

$$Q_p = A_p \times q_p \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana :

- A_p = Luas penampang *bored pile* (m^2)
- Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)
- q_p = Tahanan ujung persatuan luas (ton/m^2)

Perhitungan tiang digunakan dalam kondisi tanah pasir dengan rumus :

$$q_p = 0.4 \times N_{60}' \times (L/d) \times \sigma_r' \leq 4 \times N_{60}' \times \sigma_r' \text{ (ton/ m}^2\text{)} \dots\dots\dots (3.2)$$

Untuk tanah dalam kondisi lanau dengan rumus :

$$q_p = 0.4 \times N_{60}' \times (L/d) \times \sigma_r' \leq 3 \times N_{60}' \times \sigma_r' \text{ (ton/ m}^2\text{)} \dots\dots\dots (3.3)$$

Dimana :

- q_p = Tahanan ujung per satuan luas (ton/m^2)
- Q_p = Tahanan gesek pada dinding pondasi (ton)
- σ_r = Tegangan referensi = 100 kN/m²

$N_{60}' = N\text{-SPT}$, yang memperhitungkan pengaruh prosedur lapangan dan tekanan lapisan penutup, dihitung menggunakan rata-rata N yang diukur dari $8d$ di atas dan $4d$ di bawah dasar tiang pancang.

L = Kedalaman penetration tiang (m)

d = Diameter tiang (m)

b) Menghitung Kapasitas Tahanan Selimut

$$Q_s = A_s \times f_s \dots\dots\dots (3.4)$$

Untuk tanah berpindah besar (Tiang Bor) :

$$f_s = 1/50 \times \sigma' \times N_{60} \text{ (ton/m}^2\text{)} \dots\dots\dots (3.5)$$

Untuk tanah perpindahan kecil :

$$f_s = 1/100 \times \sigma' \times N_{60} \text{ (ton/m}^2\text{)} \dots\dots\dots (3.6)$$

Dimana :

f_s = Tahanan selimut / skin resistance per satuan tiang (ton/ m²)

σ' = Tegangan referensi = 100 kN/m²

Q_s = Kapasitas tahanan selimut/skin Resistace (ton)

A_s = Luas selimut tiang (m²)

N_{60} = Nilai rata-rata dari SPT (Standart Penetration Test)

c) Menghitung daya dukung ijin

$$Q_a = \frac{1}{SF} (Q_p + Q_s) \dots\dots\dots (3.7)$$

Dimana :

Q_p : Daya dukung terpusat tiang (ton)

Q_s : Gaya gesek dinding tiang (ton)

SF : Nilai keamanan

Q_a : Daya dukung yang diijinkan (ton)

d) Menghitung Kapasitas dukung kelompok tiang

Untuk menentukan daya dukung suatu kelompok tiang, perlu mempertimbangkan berbagai faktor yang mempengaruhi besarnya daya dukung. Faktor penentu ini meliputi jumlah tiang pancang dan faktor efisiensi.

-
$$\frac{\text{Conversi - Labarre}}{(n-1)m + (m-1)n}$$

$$E_g = 1 - \theta \cdot 90 \cdot m \cdot n \dots\dots\dots(3.8)$$

- Kapasitas Kelompok Izin Tiang

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_a \dots\dots\dots(3.9)$$

Dengan :

d = Diameter tiang

E_g = Efisiensi kelompok tiang

m = jumlah baris tiang

n = jumlah tiang dalam satu baris

Q_a = Daya dukung yang diijinkan (ton)

$$\theta = \tan^{-1} \frac{s}{d}$$

3.4.3. Perhitungan Analisis Daya Dukung Pondasi Bored Pile dengan Metode Reese & Wright 1977

1. Daya dukung ujung pondasi *bored pile* (*end bearing*), (Reese & Wright, 1977).

$$Q_p = A_p \times q_p \dots\dots\dots(3.10)$$

Dimana :

A_p = Luas penampang *bored pile* (m^2)

Q_p = Daya dukunujung tiang (ton)

q_p = Tahanan ujung,persatuan luas (ton/m^2)

Untuk tanah kohesif :

$$q_p = 9 \times C_u \dots\dots\dots(3.11)$$

Dimana :

Untuk $N \leq 60$ maka $q_p = 7 N (t/m^2) < 400 (t/m^2)$

Untuk $N > 60$ maka $q_p = 400 (t/m^2)$

N = Nilai rata-rata SPT

2. Daya dukung selimut *bored pile* (*skin friction*), (Reese & Wright,1977)

$$Q_s = f \times L_i \times p \dots\dots\dots(3.12)$$

Dimanal:

f = Tahanan satuan *skin friction* (ton/m^2)

L_i = Panjang lapisan tanah (m)
 p = Keliling tiang (m)
 Q_s = Daya dukung selimut tiang (ton)

Pada tanah kohesif :

$$f = \alpha_i^* \times c_u \dots\dots\dots(3.13)$$

Dimana :

c_u = Undrained cohesion (ton/m²) α_i^*
 = Faktor adhesi, 0,55 (Reese & Wright,1977)

Pada tanah nonkohesif :

$$f = K_0 \times \sigma_v' \times \tan \delta \dots\dots\dots(3.14)$$

Dimana :

D = diameter
 K_0 = $1 - \sin \phi$
 K_0 = Koefisien tekanan tanah
 L' = $15D$
 δ = $0,8 \cdot \phi$
 σ_v' = Tegangan vertikal efektif tanah (ton/m²)
 σ_v' = $\gamma \cdot L'$

3.4.4. Tahap Perhitungan Penurun Pondasi Bored Pile

1. Menghitung penurunan daya dukung tiang tunggal *Poulos dan Davis* (1980)

Persamaan perhitungan penurunan pondasi tiang tunggal adalah sebagai berikut:

Untuk tiang apung atau friksi

$$S = \frac{QI}{E_s D} \dots\dots\dots(3.15)$$

Keterangan :

$$I = I_o \cdot R_k \cdot R_h \cdot R_\mu$$

Untuk daya dukung ujung tiang

$$S = \frac{Q \cdot I}{E_s \cdot D} \dots \dots \dots (3.16)$$

Dimana:

$$I = I_o \cdot R_k \cdot R_b \cdot R_\mu$$

Keterangan :

D = Diameter tiang

h = Kedalaman total lapisan tanah dari ujung tiang ke muka tanah.

I_o = Faktor penurunan untuk tiang yang tidak mudah mampat

Q = Beban yang ditahan pada pondasi

R_b = Faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung

R_h = Faktor koreksi untuk tebal lapisan yang terletak pada tanah keras

R_k = Faktor koreksi kemudah mampatan tiang

R_μ = Faktor koreksi angka Poisson μ

S = Besar penurunan yang terjadi pada tiang tunggal

2. Menghitung penurunan daya dukung kelompok (*Grup Pile*) rumus vesic.

$$S_g = S_e \sqrt{B_g / D} \dots \dots \dots (3.17)$$

Dimana :

B_g = Lebar kelompok tiang (m)

D = Diameter

S_e = Penurunan fondasi tiang tunggal (m)

S_g = Penurunan tiang kelompok group (m)

3. Menghitung penurunan dengan program *Plaxis 8.2* urutannya sebagai berikut :

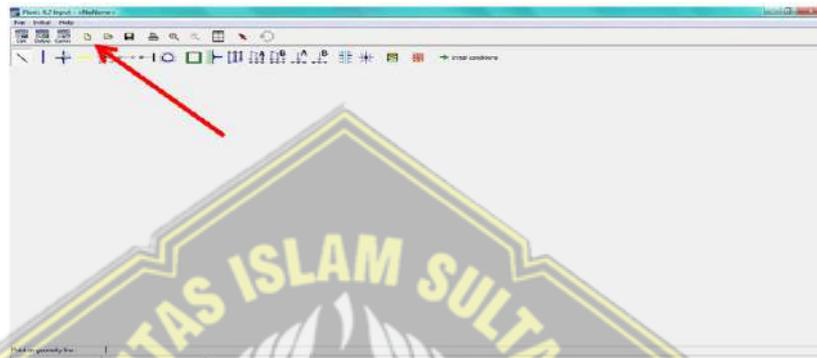
- a. Tetapkan parameter tanah untuk masing-masing lapisan
- b. Mengubah model pondasi aktual menjadi pondasi dua dimensi yang direpresentasikan sebagai sheetpile
- c. Hitung beban aksial yang diberikan pada model 2 dimensi
- d. Tentukan tahapan prosesnya, dimulai dari keadaan awal tanah dan berlanjut hingga konstruksi dan konsolidasi.

3.4.5. Analisis Pondasi dengan Plaxis 8.2

Pada tahap ini, struktur lapisan tanah akan disimulasikan menggunakan software plaxis 8.2. Perangkat lunak ini digunakan untuk menghitung nilai penurunan dan daya dukung.

Tindakan selanjutnya dilakukan:

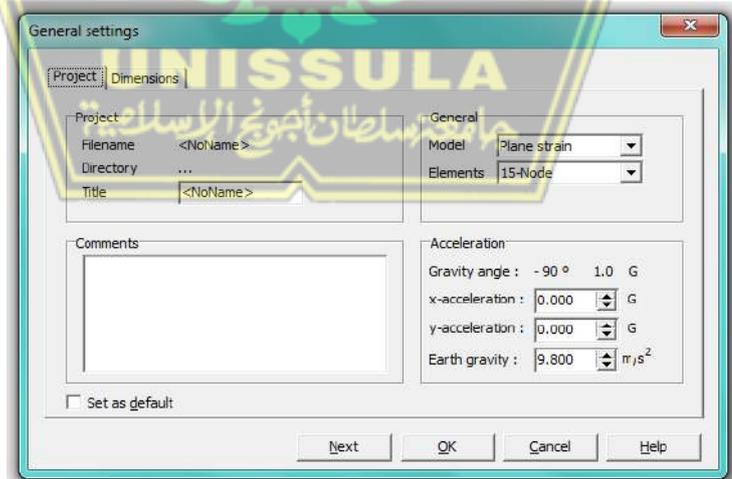
1. Luncurkan aplikasi plaxis 8.2.
2. Pilih opsi New Project seperti terlihat pada gambar



Gambar 3.1 Kotak Dialog Open Project

3. Kemudian akan muncul *General Settings*

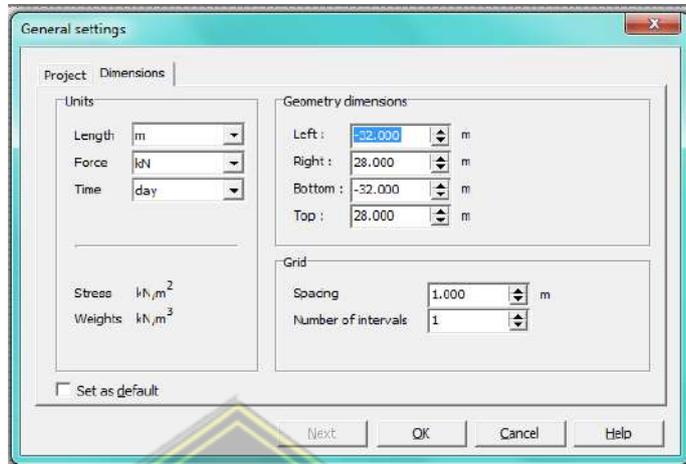
Judul proyek diisi dengan nama proyek. Dalam bagian umum model, opsi Regangan Bidang dipilih. Untuk Elemen, lima belas node dipilih untuk memfasilitasi analisis yang lebih komprehensif.



Gambar 3.2 Kotak Dialog Genral Setting pada *Plaxis*

Konfigurasi pemodelan geometri tanah sesuai dengan data.

Lebar lembar kerja kemudian akan disesuaikan di bagian Dimensi untuk memastikan tidak terlalu kecil atau terlalu besar.

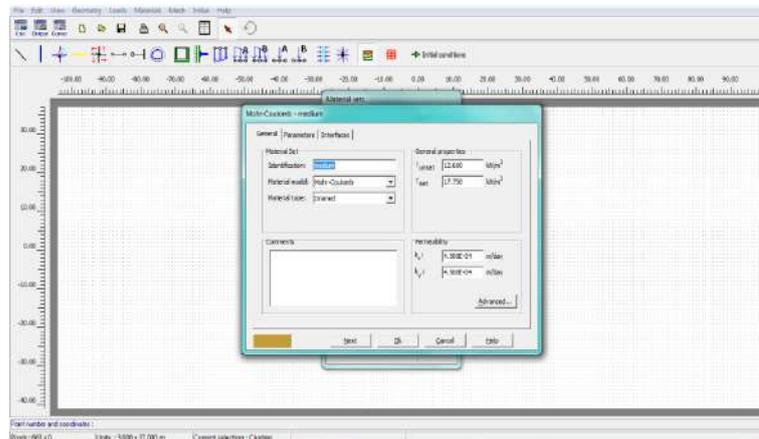


Gambar 3.3 Kotak Dialog Genral Setting pada *Plaxis*



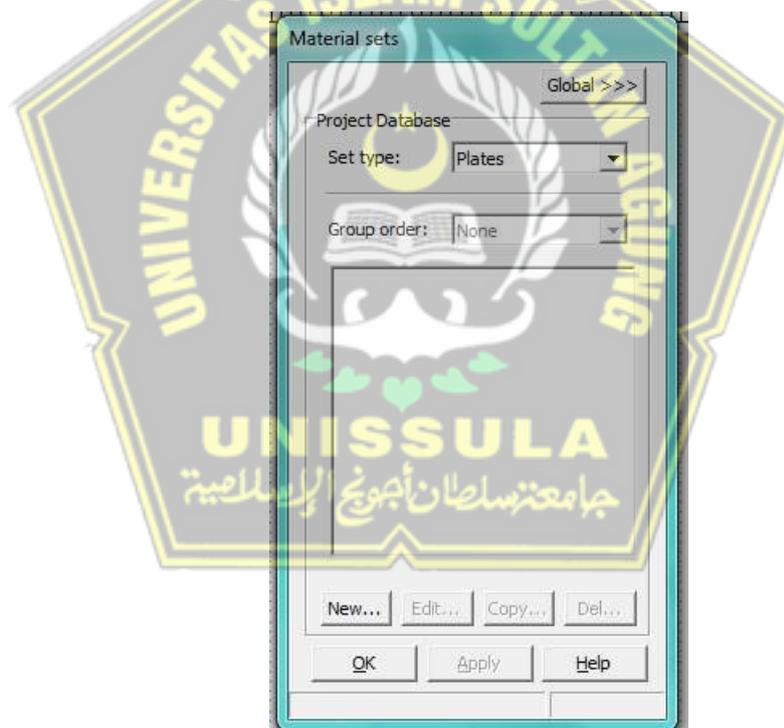
Gambar 3.4 Permodelan Profil Tanah

4.  Identifikasi jenis material tanah yang digunakan, lalu pilih kumpulan material, tanah & antarmuka dari kumpulan tipe tersebut, dan terakhir klik new



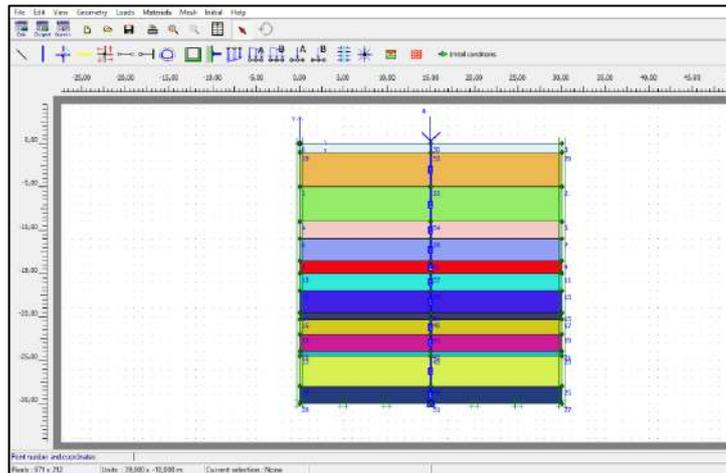
Gambar 3.5 Input Material Tanah

5. Lanjutkan dengan prosedur di atas untuk memastikan material tanah.
6. Untuk menghasilkan data material curah, pilih pelat, lalu pilih tipe set tipe pelat dari set material. Lalu pilih new



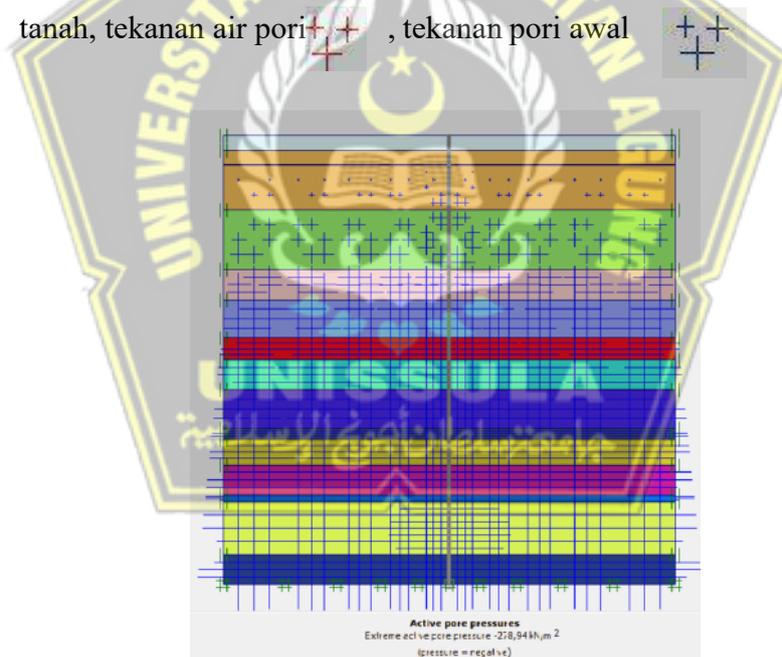
Gambar 3.6 Otak Dialog Input Material Pondasi Bored pile

7. Plate, Muat massa yang berlubang sesuai dengan data yang dimodelkan. Selanjutnya, pilih antarmuka yang mengelilingi setiap gundukan kosong.

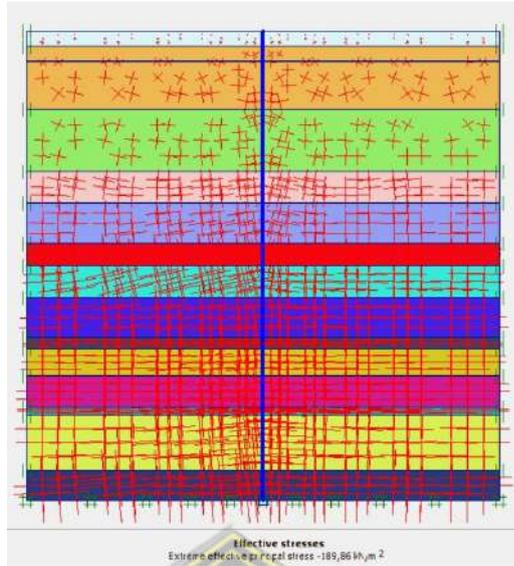


Gambar 3.7 Beban & Bored Pile

8. Memasukkan data material ke dalam model sesuai dengan data material yang dihasilkan sebelumnya.
9.  Kondisi awal Pilih kondisi awal untuk untuk menentukan tinggi muka air tanah, tekanan air pori $++$, tekanan pori awal $++$



Gambar 3.8 Tekanan Pori Air Aktif



Gambar 3.9 Tegangan Tanah Awal

10. Klik simbol  Hitung untuk merencanakan tahap konstruksi selanjutnya.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Spesifikasi Teknis Jembatan

Sehubungan dengan perhitungan mengenai struktur bawah Jembatan Tol. Ruas Sungai Kendeng Ruas Salatiga dan Jalan Tol Serang Semarang – Solo di Kartasura, Desa Susukan, Kecamatan Susukan, Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah, dibangun dengan kriteria:

4.1.1. Spesifikasi Umum Data Jembatan

- a. Bentang antar abutment = 42,2 m
- b. Lebar Jembatan = 38,8 m
- c. Panjang girder = 40,8 m
- d. Jenis beton = Beton bertulang
- e. Panjang *Bored Pile* = 29 m
- f. Diameter *Bored Pile* = 1 m

4.1.2. Perhitungan Beban Bangunan

a. Beban Hidup

1. Beban Lajur “TD”

- Beban Terbagi Merata (BTR)

$$\text{Panjang bentang (L)} = 42,2 \text{ m}$$

$$\text{Lebar jalur lalu lintas (B)} = 38,7 \text{ m}$$

$$\text{Jarak antar gelagar (r)} = 2,1 \text{ m}$$

$$q = 9,0 \times \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa, untuk } L \geq 30 \text{ m}$$
 Pembebanan beban lajur:

$$q = 9,0 \times \left(0,5 + \frac{15}{42,2}\right)$$

$$q = 9,0 \times 0,855$$

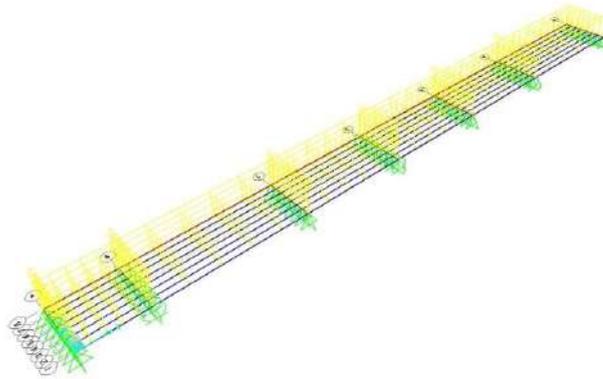
$$q = 7,7 \text{ kPa}$$

Beban merata pada balok (BTR):

$$QTR = q \times r$$

$$= 7,7 \times 2,1$$

$$= 16,17 \text{ kN/m}$$



Gambar 4.1 Beban Terbagi Rata (BTR) Menggunakan *SAP2000*

- Beban Garis Terpusat (BGT)

Beban garis BGT mempunyai intensitas $p = 49,0 \text{ kN/m}$

Panjang jembatan (L) = $42,2 \text{ m} < 50 \text{ m}$,

Faktor Beban Dinamis (FBD) = 40%

Beban Binamarga = 70%

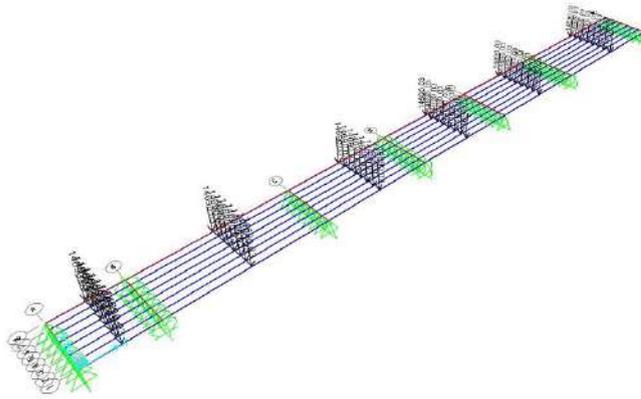
Jarak antar gelagar (r) = $2,1 \text{ m}$

Beban terpusat pada balok,

$$\begin{aligned} P_{GT} &= (1 + \text{FBD}) \cdot p \cdot 70\% \\ &= (1 + 0,4) \cdot 49,0 \cdot 38,7 \\ &= 45,276 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban Lajur TD

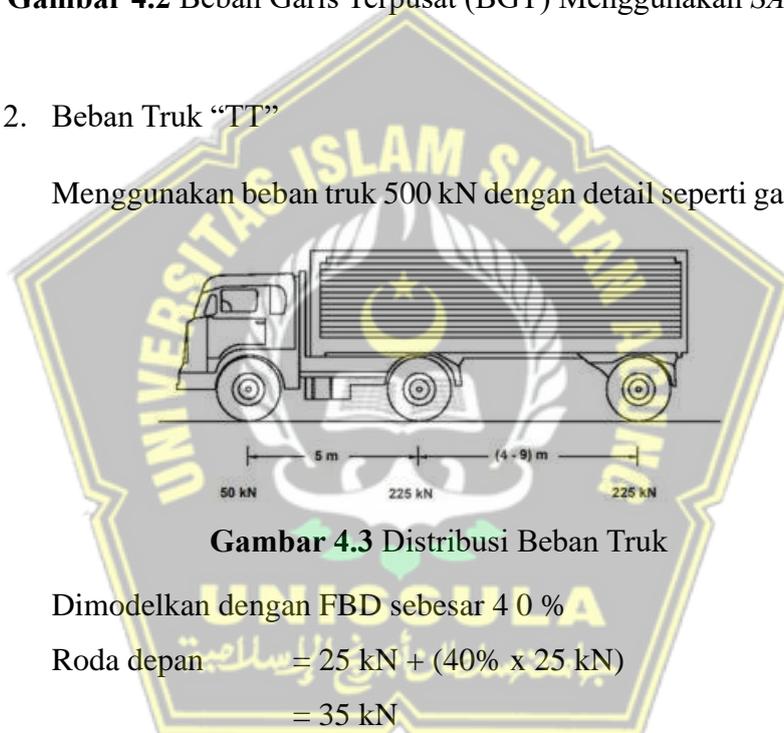
$$\begin{aligned} P_{TD} &= (QTR \cdot L) + P_{GT} \\ &= (16,17 \cdot 42,2) + 45,267 \\ &= 727,641 \text{ kN} \end{aligned}$$



Gambar 4.2 Beban Garis Terpusat (BGT) Menggunakan *SAP2000*

2. Beban Truk “TT”

Menggunakan beban truk 500 kN dengan detail seperti gambar di bawah



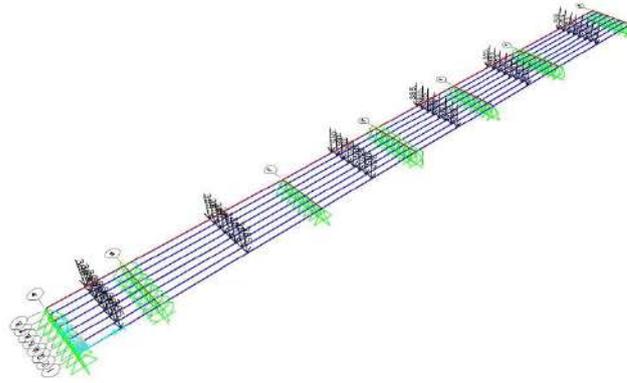
Gambar 4.3 Distribusi Beban Truk

Dimodelkan dengan FBD sebesar 40 %

$$\begin{aligned} \text{Roda depan} &= 25 \text{ kN} + (40\% \times 25 \text{ kN}) \\ &= 35 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Roda tengah} &= 112,5 \text{ kN} (40\% \times 112,5 \text{ kN}) \\ &= 157,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Roda belakang} &= 112,5 \text{ kN} + (40\% \times 112,5 \text{ kN}) \\ &= 157,5 \text{ kN} \end{aligned}$$



Gambar 4.4 Beban Truck “TT” Menggunakan *SAP2000*

3. Gaya Rem “TB”

Gaya pengereman dihitung sebagai gaya horizontal sejajar sumbu memanjang jembatan, diasumsikan bekerja pada ketinggian 1,8 m diatas permukaan lantai jembatan. Magnitudo gaya rem yang sejajar dengan arah memanjang jembatan tergantung pada panjang jembatan (L), seperti berikut:

- a) 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi merata BTR

$$\begin{aligned} \text{Gaya rem} &= 5\% \cdot (500 + L \cdot \text{QTR}) \\ &= 5\% \cdot (500 + 42,2 \cdot 16,17) \\ &= 59,118 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- b) 25% dari berat berat gandar truk

$$\begin{aligned} \text{Gaya rem} &= 25\% \cdot 500 \\ &= 125 \text{ kN} \end{aligned}$$

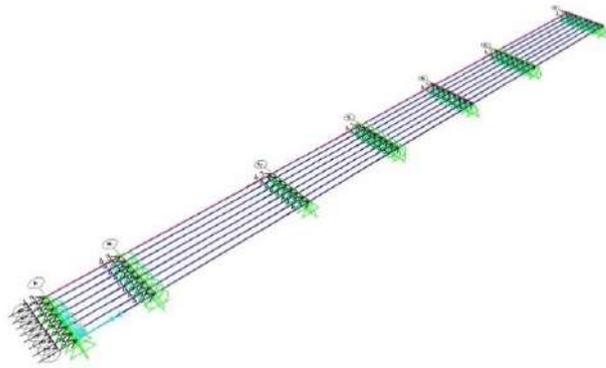
- c) Gaya rem yang digunakan (T_{TB}) = 125 kN

Lengan terhadap pondasi,

$$Y_{TB} = \text{tebal abutment} = 1,2 \text{ m}$$

Momen akibat gaya rem pada pondasi,

$$\begin{aligned} M_{TB} &= T_{TB} \cdot Y_{TB} \\ &= 125 \cdot 1,2 \\ &= 150 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

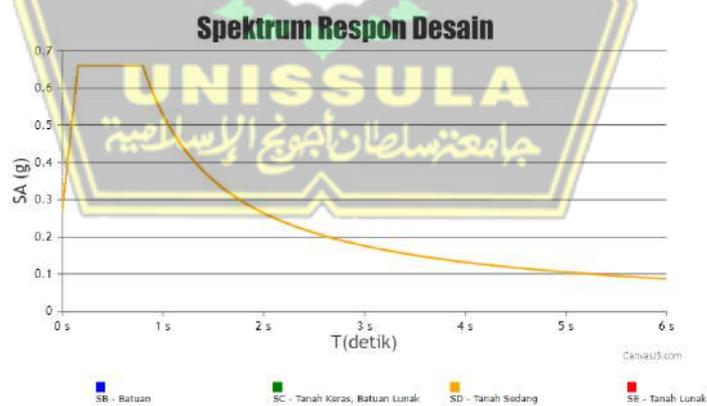


Gambar 4.5 Beban Rem “TB”

b. Beban Aksial Lingkungan

1. Beban Gempa

Gaya horizontal akibat beban gempa dapat dihitung dengan mengalikan koefisien respons elastis (C_{sm}) bersama berat struktur ekuivalen yang dimodifikasi oleh faktor modifikasi respons (R_d). Untuk periode (T) yang berada pada rentang T_0 hingga T_S ($T_0 \leq T \leq T_S$), nilai C_{sm} setara dengan SDS



Gambar 4.6 Spektrum Respon Desain

Results: Tabel di bawah ini merupakan Parameter untuk membuat Grafik Desain Spektra Indonesia:

Katuk	T0(detik)	Ts(penik)	Ked(g)	Wt1(g)
00 - Turah Siding	0.18	0.80	0.68	8.52

Wentang T(s) Value: 0

Save

PGA MCE# 0.3082 (g) bedrock

SM MCE# 0.8561 (g) bedrock

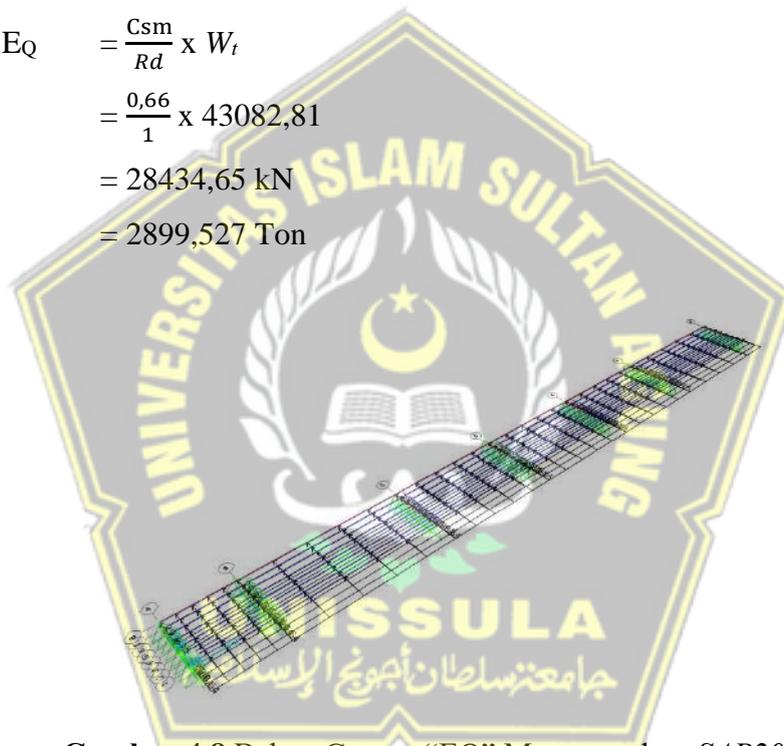
SS MCE# 0.4253 (g) bedrock

TL 20 detik

Gambar 4.7 Parameter Grafik Desain Spektra Indonesia

- Koefisien respons gempa elastis (C_{sm}) = 0,66
- Faktor modifikasi respons (R_d) = 1
- Beban total struktur (W_t) = 4393,223

$$\begin{aligned}
 E_Q &= \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \\
 &= \frac{0,66}{1} \times 43082,81 \\
 &= 28434,65 \text{ kN} \\
 &= 2899,527 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.8 Beban Gempa “EQ” Menggunakan *SAP2000*

2. Beban Angin

Beban angin arah y (melintang jembatan)

Kecepatan gesekan angin, V_0 = 13,2 km/jam

Kecepatan angin rencana, V_B = 90 m/dt

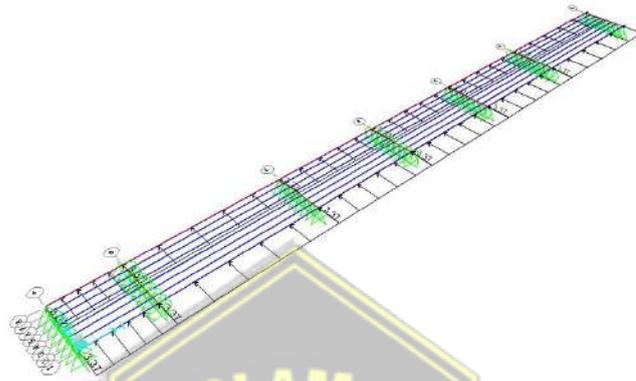
Kecepatan angin pada elevasi 10000m, V_{10} = 100 m/dt

Elevasi struktur, Z = 3,00 m

Panjang gesekan dihilu jembatan, Z_0 = 0,07 m

Kecepatan angin rencana pada elevasi Z,

$$\begin{aligned} VDZ &= 2,5 \cdot V_0 \cdot (V_{10}/V_B) \cdot \ln(Z/Z_0) \\ &= 2,5 \cdot 13,2 \cdot (100/90) \cdot \ln(3/0,07) \\ &= 137,788 \text{ Km/jam} \end{aligned}$$



Gambar 4.9 Beban Angin “EW” Menggunakan *SAP2000*

3. Beban Temperatur

Perbedaan suhu mengakibatkan timbulnya deformasi, sehingga perlu mempertimbangkan perbedaan antara suhu maksimum dan minimum dengan suhu nominal yang diasumsikan dalam perencanaan. Rentang simpangan akibat beban suhu (ΔT) harus dihitung berdasarkan suhu maksimum dan minimum yang telah ditetapkan dalam desain, seperti berikut:

Tabel 4.1 Temperatur Jembatan Rata-rata Nominal

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum (1)	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton.	15°C	40°C
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	40°C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	45°C

CATATAN (1) Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut.

$$T_{\min \text{ design}} = 15^\circ\text{C}$$

$$T_{\max \text{ design}} = 40^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 11 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}
 k &= 15000 \text{ kN/m} \\
 \Delta T &= \alpha \times L (T_{\text{max design}} - T_{\text{min design}}) \\
 &= 0,011 \text{ m} \\
 F_{\text{ET}} &= (k \times \Delta T) / A_c \\
 &= (15000 \times 0,011) / (16,3 \times 40) \\
 &= 0,25 \text{ kN/m}^2 \\
 M_{\text{ET}} &= F_{\text{ET}} \times e \\
 &= 165 \text{ kN} \times (2,1/16,3) \\
 &= 21,26 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$



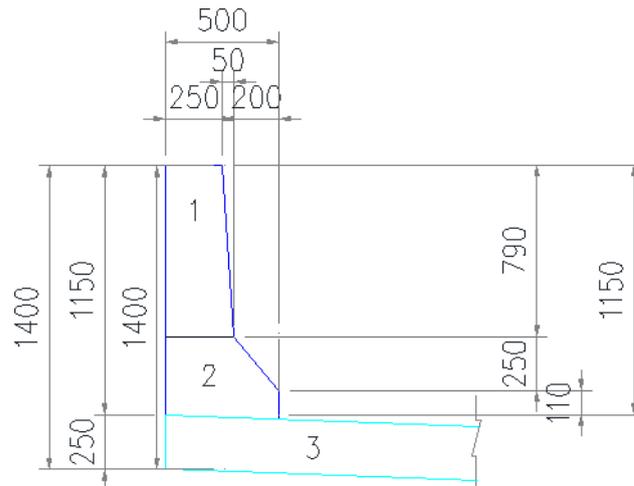
Gambar 4.10 Beban Temperatur “ET” Menggunakan *SAP2000*

c. Beban Mati

Perhitungan struktur melibatkan material beton bertulang dalam kriteria desainnya dengan mempertimbangkan beragam parameter perencanaan berikut:

- Berat jenis beton bertulang = 2500 kg/m³
- Modulus elastisitas beton = 30277,63 Mpa
- Angka poisson = 0,11
- Mutu beton = K-350
- f’c = 29,05 Mpa
- Mutu tulangan baja (Fy) = 400 Mpa

1. Berat Barrier



Gambar 4.11 Dimensi Barrier

Bentang = 42,2 m

Berat jenis beton

(γ) = 2,5 t/m³

Jumlah barrier = 2 buah

Luas 1 = $\frac{1}{2} (0,25 + 0,3) \times 0,79$

= $\frac{1}{2} (0,55) \times 0,79$

= 0,217 m²

Luas 2 = $\frac{1}{2} (0,3 + 0,5) \times 0,36$

= $\frac{1}{2} (0,8) \times 0,36$

= 0,144 m²

Luas 3 = 0,5 × 0,25

= 0,125 m²

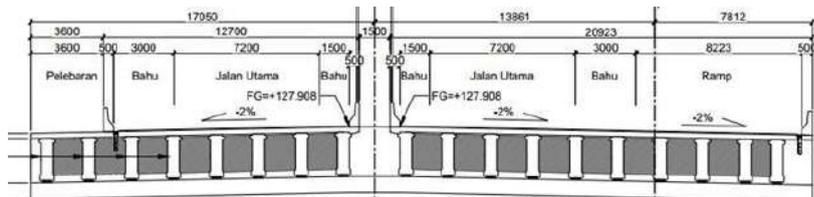
Volume = (Luas 1 + Luas 2 + Luas 3) x Bentang

= (0,217 + 0,144 + 0,125) x 42,2

= 20,509 m³

$$\begin{aligned} \text{Berat} &= \text{volume} \times \gamma \times \text{jumlah barier} \\ &= 20,509 \times 2,5 \times 2 \\ &= 102,545 \text{ ton} \end{aligned}$$

2. Berat Girder



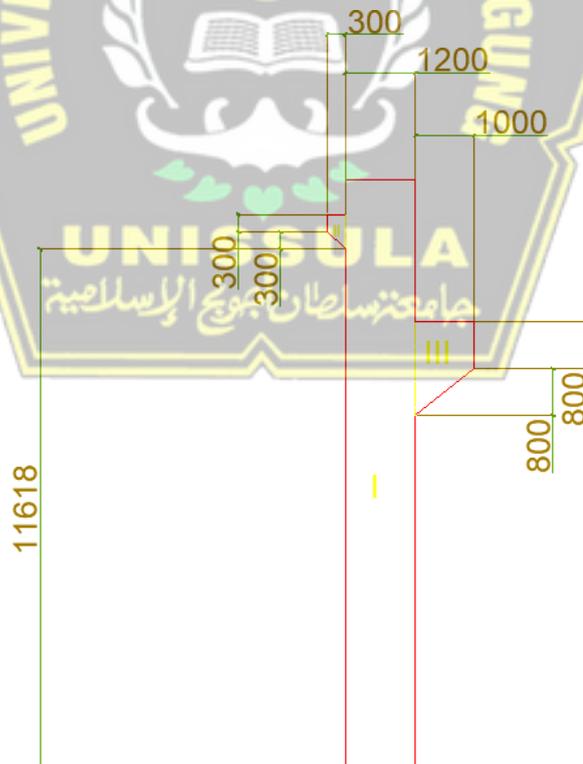
Gambar 4.12 Potongan Melintang Girder

$$\text{Jumlah Girder} = 18 \text{ Berat}$$

$$1 \text{ Girder} = 83,5 \text{ ton}$$

$$\text{Berat 18 Girder} = 1169 \text{ ton}$$

3. Dinding Abutment



Gambar 4.13 Dimensi Abutment

$$\text{Lebar dinding } abutment = 38,12 \text{ m}$$

$$\text{Berat jenis beton bertulang } (\gamma) = 2,5 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Luas 1} &= 11,618 \times 1,2 \\ &= 0,217 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas 2} &= \frac{1}{2} (0,3 + 0,6) \times 0,3 \\ &= \frac{1}{2} 0,9 \times 0,3 \\ &= 0,135 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

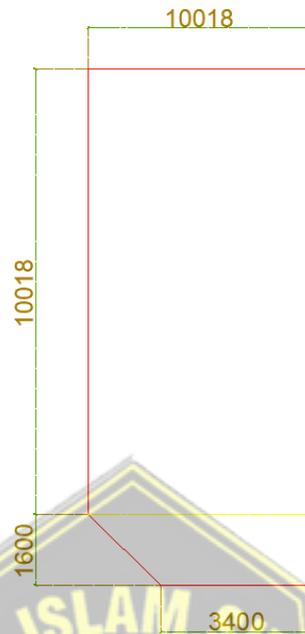
$$\begin{aligned} \text{Luas 3} &= \frac{1}{2} \times (0,8 + 1,6) \times 0,8 \\ &= \frac{1}{2} 2,4 \times 0,8 \\ &= 0,96 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= \text{Total Luas} \times \text{Lebar Dinding} \\ &= 15,037 \times 38,12 \\ &= 573,21 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat} &= \text{Volume} \times \gamma \\ &= 573,21 \times 2,5 \end{aligned}$$



4. Wing Wall



Gambar 4.14 Dimensi Wing Wall

$$\text{Tebal wing wall} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah wing wall} = 2$$

$$\text{Berat jenis beton bertulang } (\gamma) = 2,5 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Luas 1} &= 11,618 \times 5 \\ &= 58,09 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas 2} &= \frac{1}{2} (3,4 + 5) \times 1,6 \\ &= \frac{1}{2} 8,4 \times 1,6 \end{aligned}$$

$$= 6,72 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume} = \text{Jumlah Luas} \times \text{Tebal Wing Wall}$$

$$= 64,81 \times 0,5$$

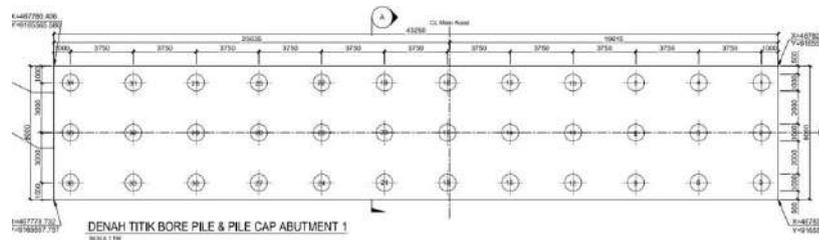
$$= 32,405 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat} = \text{Volume} \times \gamma$$

$$= 32,405 \times 2,5$$

$$= 81,0125 \text{ ton}$$

5. Pile Cap



Gambar 4.15 Denah Titik Bored Pile & Pile Cap Abutment

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= 8 \times 43,25 \times 2 \\ &= 692 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat} &= \text{Volume} \times \gamma \\ &= 692 \times 2,5 \\ &= 396 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tabel 4.2 Rekapitulasi Beban Mati

No	Beban Struktur	Berat
		Ton
1	Barrier	102,545
2	Girder	1169
3	Abutment	1433,025
4	Wing Wall	81,0125
5	Pile Cap	396
Total		3181,5825

d. Beban Mati Tambahan

1. Beban Asal / *Overlap*

$$\text{Bentang} = 42,2 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 38,8 \text{ m}$$

$$\text{Tebal} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Berat Jenis Aspal} = 2,3 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Luas} = p \times l$$

$$= 42,2 \times 38,8$$

$$= 1637,36 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume} = \text{Luas} \times \text{tebal}$$

$$= 1637,36 \times 0,05$$

$$= 81,868 \text{ m}^3$$

Berat = Volume x γ aspal

$$= 81,868 \times 2,3$$

$$= 188,29 \text{ ton}$$

2. Berat Slab

Bentang = 42,2 m

Lebar = 38,8 m

Tebal = 0,25 m

Berat Jenis Beton = 2,5 t/m³

Luas = p x l

$$= 42,2 \times 38,8$$

$$= 1637,36 \text{ m}^2$$

Volume = Luas x tebal

$$= 1637,36 \times 0,25$$

$$= 409,34 \text{ m}^3$$

Berat = Volume x γ Beton

$$= 409,34 \times 2,5$$

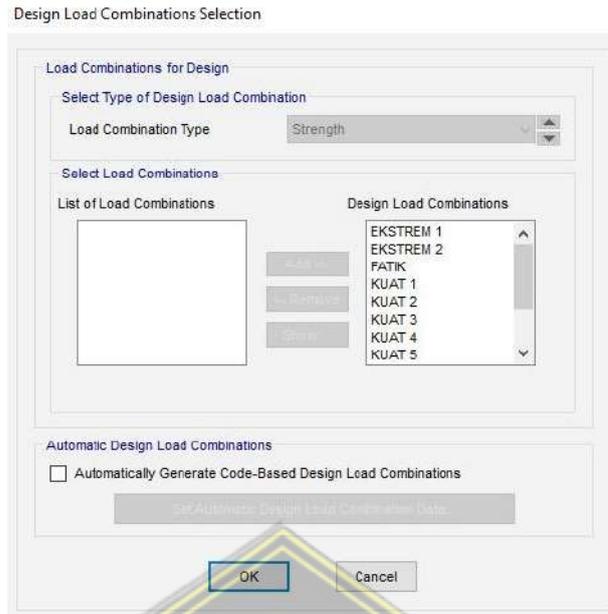
$$= 1023,35 \text{ ton}$$

Tabel Beban Berat Mati Tambahan

Tabel 4.3 Rekapitulasi Beban Mati Tambahan

No	Beban Struktur	Berat
		Ton
1	Aspal / Overlay	188,29
2	Slab	1023,35
Total		1211,64

Kombinasi beban yang akan dipakai dalam analisis, dalam hal ini semua kombinasi beban yang telah dibuat, dipilih untuk mengetahui gaya dalam terbesar.



Gambar 4.16 Pemilihan Beban Kombinasi

Lakukan Run Analysis setelah semua berhasil diinput, dan tunggu beberapa saat untuk program menghitung secara otomatis. Berikut ini merupakan hasil gaya dalam yang terjadi pada Jembatan:

Tabel 4.4 Rekapitulasi Kombinasi Pembebanan SAP 2000

Jenis Kombinasi	Faktor Kombinasi Beban	Pmax
KUAT 1	1,2 MS + 2 MA + 1,8 TD + 1,8 TT + 1,8 TB + ET	6464,123
KUAT 2	1,2 MS + 2 MA + 1,4 TD + 1,4 TT + 1,4 TB + ET	6415,061
KUAT 3	1,2 MS + 2 MA + 1,4 EW + ET	6436,25
KUAT 4	1,2 MS + 2 MA + ET	6243,347
KUAT 5	1,2 MS + 2 MA + 0,4 EW + ET	6298,462
EKSTREM 1	1,2 MS + 2 MA + 1,8 TD + 1,8 TT + 1,8 TB + EQ	9361,482
EKSTREM 2	1,2 MS + 2 MA + 0,5 TD + 0,5 TT + 0,5 TB	6302,506
LAYAN 1	MS + MA + TD + TT + TB + 0,3 EW + ET	4559,38
LAYAN 2	MS + MA + 1,3 TD + 1,3 TT + 1,3 TB + ET	4554,84

LAYAN 3	MS + MA + 0,8 TD + 0,8 TT + 0,8 TB + ET	4493,513
LAYAN 4	MS + MA + 0,7 EW + ET	4491,842
FATIK	0,75 TD	55,649

4.2. Analisa Daya Dukung Aksial Pondasi Bored Pile

4.2.1. Analisis Daya Dukung Aksial dengan Metode Meyerhof

Perhitungan kapasitas daya dukung bored pile dari data SPT menggunakan metode Meyerhof (1976) dan data diambil pada titik abutment 1:

Data *bored pile*

Diameter *bored pile* (d) = 100 cm = 1 m

$$\begin{aligned}
 \text{Luas bored pile } (A_p) &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \\
 &= 0,785 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_p &= A_p \times q_b \\
 q_p &= 0,4 \times N_{60}' \times (D_b/B) \times \sigma_r' \\
 &= 0,4 \times 36 \times (4/1) \times 100 \\
 &= 5760 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Persamaan (3.1) daya dukung *ultimate* pada ujung *bored pile* tanah kohesif dinyatakan :

$$\begin{aligned}
 Q_p &= A_p \times q_p \\
 &= 0,785 \times 5760 \\
 &= 4521,6 \text{ kN} \\
 &= 461,07 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

Persamaan (3.4) daya dukung selimut (*skin friction*) *bored pile* tanah kohesif dinyatakan :

$$\begin{aligned}
 Q_s &= A_s \times f_s \\
 A_s &= \pi \times d \times L \\
 &= 3,14 \times 1 \times 29 \\
 &= 91,06 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_s &= \frac{1}{50} \times N_{60}' \times \sigma_r' \\
 &= \frac{1}{50} \times 36 \times 100 \\
 &= 72 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_s &= A_s \times f_s \\
 &= 91,06 \times 72 \\
 &= 668,56 \text{ Ton} \\
 &= 6556,32 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Tahanan Ultimit (Q_u)

$$\begin{aligned}
 Q_u &= Q_p + Q_s \\
 &= 461,07 + 668,56 \\
 &= 1129,63 \text{ ton} \\
 &= 11077,89 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Tahanan Ijin (Q_{all})

$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= \frac{Q_u}{SF} \\
 &= \frac{1129,63}{2,5} \\
 &= 451,582 \text{ Ton} \\
 &= 4428,51 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4.2.2. Analisis Daya Dukung Aksial dengan Metode Resese & Wright 1977

Perhitungan daya dukung ujung pondasi bored pile dengan metode (Reese & Wright 1977) menggunakan data borlog *Abutment 1*.

Data Bored Pile

$$\text{Diameter Bored Pile (d)} = 100 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Keliling Bored Pile (As)} &= \pi \times 100 \text{ cm} \\
 &= 3,14 \times 100 \\
 &= 314 \text{ cm}^2 = 3,14 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Penampang (Ap)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 100^2 \\
 &= 7850 \text{ cm}^2 = 0,785 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Keliling Bored Pile (p)} = \pi \times d$$

$$= 3,14 \times 1$$

$$= 3,14 \text{ m}$$

- Perhitungan Tahanan Ujung Tiang (Q_p)

N = rata – rata SPT (nilai)

$$= \frac{22+28+23+24+24+8+15+16+100+100+100}{10}$$

$$= 36$$

Untuk tanah kohesif :

$$q_p = 9 \times C_u$$

$$= 9 \times \frac{2}{3} \times \text{N-SPT}$$

$$= 9 \times \frac{2}{3} \times 36$$

$$= 216 \text{ ton/ m}^2$$

Persamaan (3.1) daya dukung ultimate pada ujung *bored pile* tanah kohesif dinyatakan:

$$Q_p = A_p \times q_p$$

$$= 0,785 \times 216$$

$$= 169,56 \text{ ton}$$

Persamaan (3.12) daya dukung selimut (*skin friction*) *bored pile* tanah kohesif dinyatakan:

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

Untuk tanah kohesif maka :

$$f = \alpha_i \times C_u$$

$$= 0,55 \times \frac{2}{3} \times \text{N-SPT}$$

$$= 0,55 \times \frac{2}{3} \times 36$$

$$= 13,2 \text{ ton/ m}^2$$

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

$$= 13,2 \times 29 \times 3,14$$

$$= 1201,992 \text{ ton}$$

- Perhitungan Tahanan Ultimit (Q_u)

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 169,56 + 1201,992 \\ &= 1371,552 \text{ ton} \end{aligned}$$

- Perhitungan Tahanan Ijin (Q_{all})

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_u}{SF} \\ &= \frac{1371,552}{2,5} \\ &= 548,62 \text{ ton} \end{aligned}$$

Jadi, hasil perhitungan secara analitis dan secara grafis bisa dilihat melalui tabel dibawah :

Tabel 4.5 Rekapitulasi Daya Dukung Pondasi *Bored Pile*

No	Metode	Daya Dukung Ijin
1	Meyerhof 1976	451,582 Ton
2	Reese & Wright 1977	548,62 Ton

4.3. Analisis Daya Dukung Kelompok Tiang

Kapasitas daya dukung kelompok pada kedalaman tiang 29 m dengan beban aksial (P) = 9361,482 ton dapat di uraikan sebagai berikut :

- Perhitungan efisiensi kelompok tiang metode *Converse-Labarre*

Efisiensi kelompok tiang (E_g) di peroleh dari persamaan (3.8) adalah sebagai berikut:

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

Dimana :

Jumlah baris tiang (m) = 10

Jumlah tiang dalam satu baris (n) = 3

arc.tg (d/s), dalam derajat (θ) = 14,036

Jarak pusat ke pusat tiang (s) = 4 m

Diameter tiang (d) = 1 m

$$Eg = 1 - 14,036 \frac{(3 - 1)10 + (10 - 1)3}{90.10.3}$$

$$Eg = 1 - 14,036 \frac{47}{2700}$$

$$Eg = 0,755$$

- a. Kapasitas Kelompok Tiang dari data *Meyerhof* (1976)

Kapasitas kelompok tiang dapat dihitung menggunakan persamaan (3.9)

sebagai berikut :

$$Qg = Eg \times n \times Qa$$

Dimana

Eg = Efisiensi kelompok tiang

n = jumlah tiang

Qa = Daya dukung ijin

$$Qg = Eg \times n \times Qa$$

$$= 0,755 \times 30 \times 451,582$$

$$= 10228,332 \text{ Ton} > 9361,482 \text{ Ton (OK)}$$

- b. Kapasitas Kelompok Ijin Tiang dari data *Reese & Wright*

Kapasitas kelompok tiang dapat dihitung menggunakan persamaan 3.9

sebagai berikut:

$$Qg = Eg \times n \times Qa$$

Dimana

Eg = Efisiensi kelompok tiang

n = jumlah tiang

Qa = Daya dukung ijin

Jadi kapasitas daya dukung bored pile dalam kelompok tiang

$$Qg = Eg \times n \times Qa$$

$$= 0,755 \times 30 \times 548,62$$

$$= 12426,243 \text{ Ton} > 9361,482 \text{ Ton (OK)}$$

4.4. Analisis Daya Dukung Lateral Tiang Tunggal

Kapasitas daya dukung lateral berperan dalam menilai stabilitas tanah terhadap potensi runtuh. Untuk menghitung daya dukung horizontal, langkah awal melibatkan perhitungan faktor kekakuan tiang khususnya tanah kohesif. Metode yang dipakai adalah metode *Broms* (1964).

Namun perlu dicatat bahwa metode ini hanya diterapkan pada satu jenis tanah, contohnya pasir atau lempung. Dalam kasus tanah dengan variasi lapisan, penekanan diberikan pada lapisan yang dominan. Hasil pengujian SPT menunjukkan bahwa lapisan dominannya adalah lempung. Sebagai contoh, perhitungan dilakukan pada kedalaman 29m.

- Dimensi tiang pancang (D) = 100 cm
- Panjang tiang pancang (L) = 2900 cm
- Mutu Beton tiang pancang ($f'c$) = 29,05 Mpa
= 350 kg/cm²
- Jarak horizontal diatas tanah (e) = 0
- Modulus Elastis tiang pancang (E_p) = $4700\sqrt{29,05}$
= 25332 Mpa
= 253.320 kg/cm²
- Momen inersia tiang pancang (I_p) = $\frac{1}{4} \times 3.14 \times 50^4$
= 4.906.250 cm⁴
- Kuat lentur beban tiang ($(\sigma_{lt})/(f_b)$) = $0.4 \times f'c = 0.4 \times 350$
= 140kg/cm²
- Nilai kohesi rata-rata (c_u) = $\frac{2}{3} \times N\text{-spt}$
= $\frac{2}{3} \times 36$
= 24 ton/m²

a.) Modulus subgrade horizontal (K_h)

Berdasarkan tabel 2. Diambil $K_1 = 27 \text{ kg/cm}^3$

$$\text{Maka, } K_h = \frac{k_1}{1,5}$$

$$= \frac{2,7}{1,5}$$

$$= 1,8 \text{ kg/cm}^3$$

Maka, $K = K_h \times d$

$$= 1,8 \times 100$$

$$= 180 \text{ kg/cm}^2$$

b.) Modulus Tanah Konstan (R)

$$R = \sqrt[4]{\frac{E_p \cdot I_p}{K}}$$

$$R = \sqrt[4]{\frac{253320 \cdot 4906250}{180}}$$

$$R = 288,261 \text{ cm}$$

c.) Pengkaitan Tipe Tiang

$$\beta = \left(\frac{K_h \cdot d}{4 \cdot E_p \cdot I_p} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$= \left(\frac{1,8 \cdot 100}{4 \cdot 253320 \cdot 4906250} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$= \left(\frac{180}{4971405000000} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$= 0,00245 \text{ cm}$$

- Tiang pendek

$$\beta L \leq 0,5 \text{ cm (syarat)}$$

$$\beta L = 0,00245 \cdot 3000 = 7,35$$

$$\beta L \geq 0,5 \text{ cm (tidak memenuhi syarat)}$$

- Tiang panjang

$$\beta L \geq 1,5,5 \text{ cm (syarat)}$$

$$\beta L = 0,00245 \cdot 3000 = 7,35$$

$$\beta L \geq 1,5 \text{ cm (memenuhi syarat)}$$

d.) Tahanan momen (W)

$$(W) = \frac{I_p}{b/2}$$

$$= \frac{4906250}{100/2}$$

$$= 98125 \text{ cm}^3$$

e.) Momen maksimum tiang (M_y)

$$M_y = f_b \cdot W$$

$$= 140 \cdot 98125$$

$$= 13737500 \text{ kg.cm}$$

f.) Mencari nilai HU dengan grafik

$$\frac{M_y}{C_u \cdot b^3} = \frac{13737500}{2,438 \cdot 100^3} = 5,635$$

$$\frac{H_u}{C_u \cdot b^3} = 4,9 \text{ (diambil dari grafik)}$$

$$H_u = 4,9 (C_u \cdot b^2)$$

$$= 4,9 (2,438 \cdot 100^2)$$

$$= 119462 \text{ kg}$$

g.) Maka besarnya gaya lateral ijin tiang ujung jepit ialah

$$H_{all} = H_u / FS$$

$$= 119462 / 2,5$$

$$= 47784,8 \text{ kg}$$

$$= 47,7848 \text{ ton}$$

4.5. Analisis Penurunan (*Settlement*)

4.5.1. Penurunan Tiang Tunggal

Ketika lapisan tanah terkena beban, tanah dapat mengalami regangan atau penurunan (*settlement*). Hal tersebut disebabkan oleh perubahan susunan tanah atau pengurangan rongga pori dan air dalam tanah.

- Data pondasi Bored pile:

$$\text{Panjang Bored pile (L)} = 29 \text{ m.}$$

$$\text{Diameter Bored pile (D)} = 1 \text{ m.}$$

$$\text{Beban Uji} = 461,06 \text{ ton.}$$

$$\text{Persamaan nilai } q_c = 4N = 4(36) = 144 \text{ kg/cm}^2$$

Dimana:

q_c (side) = perlawanan konus rata-rata pada setiap lapisan sepanjang tiang.

- Modulus elastis tanah di sekitar tiang

$$\begin{aligned}
 (E_s) &= 3 \times q_c \\
 &= (3) \times (144) \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 432 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 43,2 \text{ Mpa.}
 \end{aligned}$$

- Modulus elastis tanah pada dasar tiang

$$\begin{aligned}
 (E_b) &= 10 \times E_s \\
 &= (10) \times (43,2) \text{ Mpa} \\
 &= 432 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

- Modulus elastis dari bahan tiang

$$\begin{aligned}
 (E_p) &= 4700 \times \sqrt{f'c'} \\
 &= 4700 \times \sqrt{29,05} \\
 &= 25.332,084 \text{ Mpa} \\
 &= 253.320,84 \text{ kg/cm}^2.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 RA &= \frac{A_p}{\frac{1}{4} \times \pi \times d} \\
 &= \frac{0,785}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 1}
 \end{aligned}$$

$$= 1$$

- Menentukan faktor kekakuan tiang

$$\begin{aligned}
 (K) &= \frac{E_p \times RA}{E_s} \\
 &= \frac{25332,084 \times 1}{43,2} \\
 &= 586,39
 \end{aligned}$$

$$\text{Untuk } \frac{db}{d} = \frac{100}{100} = 1$$

$$\text{Untuk } \frac{L}{d} = \frac{2900}{100} = 29$$

Melalui metode Poulos dan Davis (1980) :

Untuk tiang apung atau tiang friksi (*floating pile*) ;

$$I = I_o \times R_k \times R_h \times R_\mu$$

Untuk ujung tiang:

$$I = I_o \times R_k \times R_b \times R_\mu \text{ dimanal:}$$

I_o = Faktor penurunan tiang yang tidak mudah mampat dalam massa semi tak terhingga

R_k = faktor koreksi kemudah-mampatan tiang untuk μ : 0,35

R_h = faktor koreksi ketebalan lapisan yang terletak pada tanah keras

R_μ = faktor koreksi Poisson μ

h = kedalaman total lapisan tanah

$$I_o = 0,65$$

$$I_o = 0,65 \text{ (untuk } \frac{L}{d} = 29; \frac{db}{d} = 1)$$

$$R_k = 1,4 \text{ (untuk } \frac{L}{d} = 29; K = 586,39)$$

$$R_h = 0,275 \text{ (untuk } \frac{L}{d} = 29; \frac{h}{L} = 1)$$

$$R_\mu = 0,96 \text{ (untuk } \mu_s = 0,4; K = 586,39)$$

$$R_b = 0,7 \text{ (untuk } \frac{L}{d} = 29; \frac{Eb}{Es} = 10)$$

a. Untuk tiang apung atau tiang friksi ;

$$I = I_o \times R_k \times R_h \times R_\mu$$

$$= 0,65 \times 1,4 \times 0,275 \times 0,96$$

$$= 0,2402$$

$$S = \frac{Q \times l}{E_s \times D}$$

$$= \frac{91904,80 \times 0,2402}{432 \times 100}$$

$$= 0,5104 \text{ cm}$$

$$= 5,104 \text{ mm}$$

b. Untuk tiang dukung ujung ;

$$I = I_o \times R_k \times R_b \times R_\mu$$

$$= 0,18 \times 1,3 \times 0,5 \times 0,95$$

$$= 0,111$$

$$S = \frac{Q \times l}{E_s \times D}$$

$$= \frac{91904,80 \times 0,111}{432 \times 100}$$

$$= 0,2358 \text{ cm}$$

$$= 2,358 \text{ mm}$$

Tabel 4.6 Penurunan Tiang

No	Bentuk Penurunan	Penurunan Tiang (mm)
1	Untuk tiang apung	5,104
2	Untuk tiang dukung ujung	2,358
	Total Penurunan	7,462

Besar penurunan diijinkan (S ijin) yaitu $S_{total} \leq S_{ijin}$

$$S_{ijin} = 10\% \times D$$

$$= \frac{10}{100} \times 100 \text{ cm}$$

$$= 10 \text{ cm}$$

$$S_{\text{total}} \leq S_{\text{ijin}}$$

$$0,7462 \text{ cm} \leq 10 \text{ cm (memenuhi syarat)}$$

4.5.2. Analisis Penurunan Kelompok Tiang

Menurut Vesic (1977), penurunan kelompok tiang/pile group bisa dihitung menggunakan persamaan:

$$S_g = S \sqrt{\frac{Bg}{D}}$$

Dimana ;

$$\text{Penurunan kelompok tiang (S)} = 0,007462 \text{ m}$$

$$\text{Lebar kelompok tiang (Bg)} = 8 \text{ m}$$

$$\text{Diameter tiang (D)} = 1 \text{ m}$$

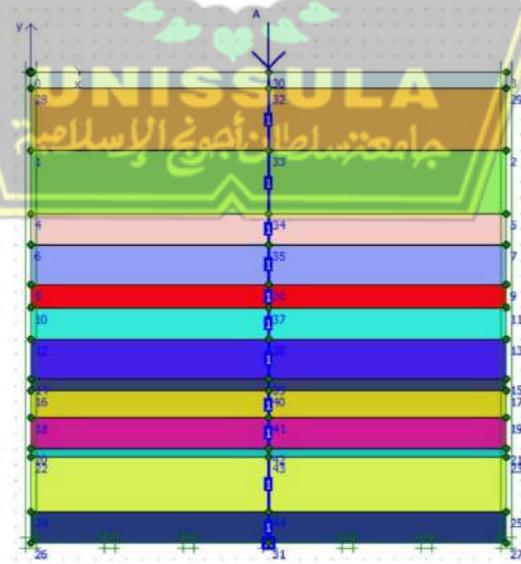
$$S_g = S \sqrt{\frac{Bg}{D}}$$

$$S_g = 0,007462 \sqrt{\frac{8}{1}}$$

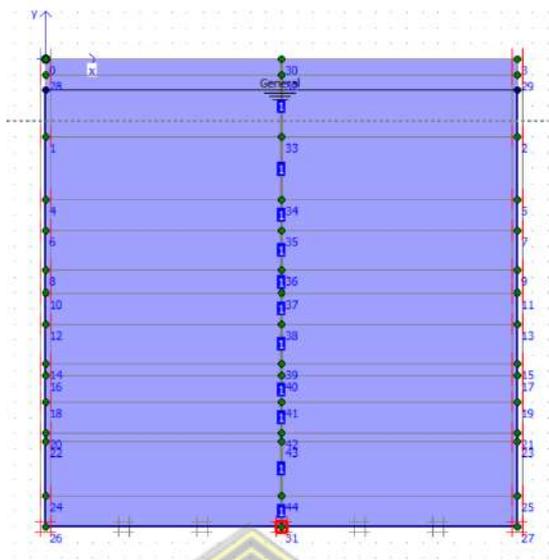
$$S_g = 0,0211 \text{ m}$$

4.5.3. Hasil Analisis Penurunan Tiang Menggunakan Plaxis 8.2

- Komponen Hasil Plaxis 8.2



Gambar 4.17 Hasil Analisa Plaxis



Gambar 4.18 Ground Water Level pada *Plaxis*

Tabel 4.7 Keterangan Gambar *Plaxis*

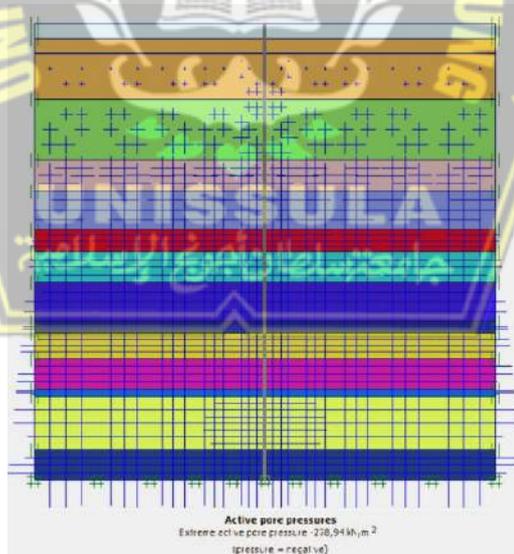
Warna	Kedalaman	Keterangan
	(0,00 – 1,00 meter)	<i>Medium</i>
	(1,00 – 5,00 meter)	<i>Medium</i>
	(5,00 – 9,00 meter)	<i>Medium</i>
	(9,00 – 11,00 meter)	<i>Medium</i>
	(11,00 – 13,55 meter)	<i>Medium</i>
	(13,55 – 15,00 meter)	<i>Loose</i>
	(15,00 – 17,00 meter)	<i>Stiff</i>
	(17,00 – 19,55 meter)	<i>Very Stiff</i>
	(19,55 – 20,30 meter)	<i>Hard</i>

	(20,30 – 22,00 meter)	<i>Very Dense</i>
	(22,00 – 24,00 meter)	<i>Hard</i>
	(24,00 – 24,50 meter)	<i>Hard</i>
	(24,50 – 28,00 meter)	<i>Medium</i>
	(28,00 – 30,00 meter)	<i>Hard</i>
	9361,482 ton	Beban Aksial

b. Output *Plaxis 8.2*

- Tekanan Air Pori Berlebih

Tekanan air pori berlebih yang dihasilkan oleh program *plaxis 8.2* adalah sebesar $-278,94 \text{ kN/m}^2$ dapat dilihat seperti gambar 4.21.



Gambar 4.19 Tekanan Air Pori Berlebih

- Tegangan Efektif rata-rata

Tegangan efektif rata-rata yang didapat dengan program *plaxis 8.2* adalah sebesar $-189,86 \text{ kN/m}^2$ bisa dilihat melalui gambar 4.21.

4.6. Perbandingan Hasil Analisa

1. Hasil dari perhitungan daya dukung tiang tunggal dan kelompok tiang untuk menahan beban aksial sebesar 9361,482 Ton bisa dilihat melalui tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal dan Kelompok

Metode	Hasil Perhitungan Daya Dukung		
	Tiang Tunggal (ton)	Tiang Kelompok (ton)	Jumlah Tiang
<i>Meyerhof (1976)</i>	451,582	9361,482	30
<i>Reese and Wright (1977)</i>	548,62	9361,482	30

2. Hasil perhitungan penurunan tiang tunggal antara metode *Vesic* dengan perhitungan menggunakan software *Plaxis 8.2* bisa dilihat melalui tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Penurunan Tiang Tunggal

Metode	Hasil Penurunan Tiang Tunggal (cm)
<i>Poulos & Davis</i>	0,7462
<i>Plaxis 8.2</i>	0,847

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Hasil perhitungan daya dukung tiang tunggal pondasi *bored pile* dengan metode analitis pada titik *abutment 1* adalah :
 - Metode *Meyerhof* (1976) = 451,582 ton
 - Metode *Reese and Wright* (1977) = 548,62 tonDari ketiga metode perhitungan yang dipakai diakumulasikan ada selisih perbandingan antara metode *Reese and Wright* (1977) dengan *Meyerhof* (1976) sebesar 11,9 %.
2. Daya dukung akibat beban lateral dengan metode *Broms* (1964) didapatkan nilai sebesar 47,7848 ton.
3. Penurunan tiang tunggal dengan metode *poulos* di dapatkan nilai penurunan sebesar 0,7462 cm, dan dengan bantuan program *plaxis 8.2* di dapatkan nilai penurunan tiang tunggal sebesar 0,847 cm. Penurunan tiang kelompok didapatkan nilai sebesar 0,0211 cm.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, saran yang dapat penulis berikan terkait perencanaan pondasi yang nantinya dapat bermanfaat bagi peneliti lain:

1. Perlunya ketelitian dalam hal memahami data SPT dan memiliki kemampuan dasar penuh pada mekanika tanah demi diperolehnya perhitungan daya dukung tiang tunggal yang optimal menggunakan *Meyerhof* (1976) dan *Reese and Wright* (1977).
2. Ketelitian penuh diperlukan saat menggunakan program *plaxis 8.2* untuk menganalisa parameter tanah dan pemodelan yang digunakan seperti *soft soil* dan *hardening soil* agar diperoleh hasil maksimal.

Demikianlah Tugas Akhir penulis beserta kesimpulan dan sarannya. Penulis berterimakasih kepada pembaca untuk koreksi serta masukannya. Penulis juga memohon maaf atas keterbatasan dalam proses pengumpulan data, pengetahuan serta kesalahan dalam Tugas Akhir ini.



DAFTAR PUSTAKA

- Asiyanto, 2009, Metode Konstruksi Untuk Pekerjaan Fondasi, penerbit Universitas Indonesia (UI-Press) Kulhawy Fred. H. 1984. Teknik Pondasi. New York: American Society of Civil Engineers.
- Bowles Joseph E. 1997. Analisis dan Desain Pondasi.
- Bowles, J.E. 1992 Analisa dan Desain Pondasi Jilid I, Erlangga, Jakarta.
- Bowles, J.E. 1992 Analisa dan Desain Pondasi Jilid II, Erlangga, Jakarta.
- Das, B.M. 1995. Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis). Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C., 1996, Teknik Pondasi 1, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hardiyatmo, H. C., 1996, Teknik Pondasi 1, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hardiyatmo, H. C., 2002, Teknik Pondasi 2, Edisi Kedua, Beta Offset, Yogyakarta.
- Nur, Zainal, Arifin, Respati, Sri, 1995, Buku Ajar Pondasi Plaxis 2D Foundation versi 8. Plaxis bv. 2007.
- Sardjono. 1991 Pondasi Tiang Pancang, Sinar Wijaya, Surabaya.
- Smith M.J., Madyayanti Elly. 1984. Mekanika Tanah. Jakarta: Erlangga.
- Sosarodarsono, S. dan Nakazawa, K., 1983, Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sosarodarsono, S. dan Nakazawa, K., 1983, Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sosrodarsono, S. 2000 Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Suyono Sosrodarsono, Kazuto Nakazawa, 1987; Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.