

TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN FONDASI TIANG PANCANG DAN
BORED PILE PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FRAKSI
DPRD KUDUS**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

**Arneta Fatika Sari
NIM : 30201800027**

**Putri Rahmawati
NIM : 302001800152**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN FONDASI *TIANG PANCANG PERSEGI* DAN *BORED PILE*
PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FRAKSI DPRD KUDUS



Arneta Fatika Sari
NIM : 302010800027



Putri Rahmawati
NIM : 30201800152

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, juli 2022

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Prof. Ir. Pratikso, MST., Ph.D**
NIDN: 0627115501

2. **Lisa Fitriyana, ST., M.Eng**
NIDN: 0605016802

3. **Dr. Abdul Rochim, ST., MT**
NIDN: 0608067601

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 22/ A.2 / SA-T / VII / 2022

Pada hari ini tanggal 08-08-2022 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, SMT. Ph.D
Jabatan Akademik : Guru Besar
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Lisa Fitriyana, ST, M.Eng
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Armeta Fatika Sari
NIM : 30201800027

Putri Rahmawati
NIM : 30201800152

Judul : PERENCANAAN FONDASI TIANG PANCANG DAN *BORED*
PILE PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FRAKSI DPRD KUDUS

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	09/02/2022	ACC
2	Seminar Proposal	24/03/2022	
3	Pengumpulan data	09/06/2022	
4	Analisis data	17/06/2022	ACC
5	Penyusunan laporan	22/06/2022	
6	Selesai laporan	28/07/2022	

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

Dosen Pembimbing Utama

Prof. Ir. H. Pratikso, SMT. Ph.D

Dosen Pembimbing Pendamping

Lisa Fitriyana, ST, M.Eng

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Arneta Fatika Sari

NIM : 30201800027

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

**“PERENCANAAN FONDASI TIANG PANCANG PERSEGI DAN BORED
PILE PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FRAKSI DPRD KUDUS”**

benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, Juli 2022

Yang membuat pernyataan,



Arneta Fatika Sari
NIM : 30201800027



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Putri Rahmawati

NIM : 30201800152

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

“PERENCANAAN FONDASI TIANG PANCANG *PERSEGI* DAN *BORED PILE* PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FRAKSI DPRD KUDUS”

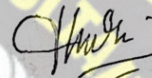
benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, Juli 2022

Yang membuat pernyataan,

Mahasiswi



Putri Rahmawati

NIM : 30201000152



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Arneta Fatika Sari

NIM : 30201800027

JUDUL: PERENCANAAN FONDASI TIANG PANCANG PERSEGI DAN
BORED PILE PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FRAKSI DPRD KUDUS

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia untuk menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Agustus 2022
Yang membuat pernyataan,


A N 361AJX906111597
METERAI TEMPEL

Arneta fatika sari
nim : 30201800027

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Putri Rahmawati

NIM : 30201800027

JUDUL: PERENCANAAN FONDASI TIANG PANCANG PERSEGI DAN
BORED PILE PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FRAKSI DPRD KUDUS

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

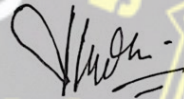
Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia untuk menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,

Mahasiswi



Putri Rahmawati

NIM : 302021800152



MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ
بِاللَّهِ وَلَوْ أَمَّنْ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

“Anda (Muslim) adalah orang-orang terbaik yang lahir di umat manusia. Beberapa dari mereka adalah orang-orang yang beriman, tetapi kebanyakan dari mereka adalah jahat.” (QS. Ali-Imran: 110)

وَالِى رَبِّكَ فَارْغَبْ

“dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap”. (QS. Al-Insyirah:8)

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا لَا تَحِلُّوا شَعَائِرَ اللَّهِ وَلَا الشَّهْرَ الْحَرَامَ وَلَا الْهَدْيَ وَلَا الْفَلَاحَ
حَرَامَ يَبْتَغُونَ فَضْلًا مِنْ رَبِّهِمْ وَرِضْوَانًا وَإِذَا حَلَلْتُمْ فَاصْطَادُوا وَلَا أَمِينَ الْبَيْتِ أَلَّا
يَجْرِمَنَّكُمْ شَنَا نُ قَوْمٍ أَنْ صَدُّوكُمْ عَنِ الْمَسْجِدِ الْحَرَامِ أَنْ تَعْتَدُوا وَتَعَاوَنُوا عَلَى الْبِرِّ
وَالْإِثْمِ وَالْعُدْوَانِ وَاتَّقُوا اللَّهَ إِنَّ اللَّهَ شَدِيدُ الْعِقَابِ وَالنَّفْوَى وَلَا تَعَاوَدُ

“Jangan sampai kebencian(mu) kepada suatu kaum karena mereka menghalang-halangi kamu dari Masjidilharam, mendorongmu berbuat melampaui batas (kepada mereka). Dan tolong-menolonglah kamu dalam (mengerjakan) kebajikan dan takwa, dan jangan tolong-menolong dalam berbuat dosa dan permusuhan. Bertakwalah kepada Allah, sungguh, Allah sangat berat siksaan-Nya.” (QS. Al-Maidah:2)

نُ يَقُولَ لَهُ كُنْ فَيَكُونُ إِنَّمَا أَمْرُهُ إِذَا أَرَادَ شَيْئًا أَنْ

“Sesungguhnya urusan-Nya apabila Dia menghendaki sesuatu Dia hanya berkata kepadanya, “Jadilah!” Maka jadilah sesuatu itu.”. (QS. Yasin:82)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Laporan akhir dari proyek ini didedikasikan untuk:

1. Kedua orang tua saya, Bapak Jayadi dan Ibu Kusni, yang selalu memberikan dukungan, cinta, do'a, dan studi untuk menjadi seseorang yang sukses serta mulia di dunia dan akhirat.
2. Keluarga besar saya dan saudara saya yang telah memberikan dukungan dan do'a sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
3. Bapak Prof. Ir. Pratikso, MST., Ph.D dan Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng atas didikasinya yang telah mencurahkan waktu, tenaga dan pikiran untuk berhasil menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Semua dosen dan karyawan Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terimakasih atas semua ilmunya yang bermanfaat.
5. Partner laporan tugas akhir saya Putri Rahmawati, Terima kasih atas semua waktu dan suportnya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Untuk saudara saya Latifah Rahmadani, teman-teman saya Qurrota A'yun, Putri widya Ningrum, dan Wahyu Nazali, yang telah memberikan dukungan, membantu dan memberika semangat dalam mengerjakan tugas akhir ini.
7. Semua teman-teman Fakultas Teknik UNISSULA periode 2017 dan 2018, yang telah membantu, mendukung dan memberikan semangat.

Arneta Fatika Sari
NIM : 30201800027

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Laporan akhir dari proyek ini didedikasikan untuk:

1. Orang tua saya, Bapak Pasman dan Ibu Kamah, serta adik saya Mohammad Reza Saputra yang selalu memberikan dukungan, cinta, do'a, dan studi untuk menjadi seseorang yang sukses serta mulia di dunia dan akhirat.
2. Keluarga besar dan saudara saya yang telah memberikan dukungan dan do'a sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
3. Bapak Prof. Ir. Pratikso, MST., Ph.D dan Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng atas didikasinya yang telah mencurahkan waktu, tenaga dan pikiran untuk berhasil menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Semua dosen dan karyawan Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terimakasih atas semua ilmunya yang bermanfaat.
5. Partner laporan tugas akhir saya Arneta Fatika Sari, Terima kasih atas semua waktu dan suportnya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Untuk saya rekan saya Latifah Ramadhani, Qurrota A'yun, Putri widya Ningrum, Wahyu Nazali, dan Nur Laila, Santiko Dwi P.N, yang telah memberikan dukungan, membantu dan memberikan semangat dalam mengerjakan tugas akhir ini.
7. Teman- teman area genuk yang selalu mensupport dan memberi semangat saya selama mengerjakan Tugas Akhir
8. Semua teman-teman Fakultas Teknik UNISSULA periode 2017 dan 2018, yang telah membantu, mendukung dan memberikan semangat.

Putri Rahmawati
NIM : 30201800152

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul PERENCANAAN FONDASI TIANG PANCANG DAN BORED PILE PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FRAKSI DPRD KUDUS. Penyelesaian Tuga Akhir ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan Pendidikan Setara Satu (S1) di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang. Laporan Tugas Akhir ini telah didukung dan dibimbing oleh berbagai pihak yang telah menyumbangkan ide-idenya kepada penulis. Penulis lebih lanjut terima kasih:

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT., Ph. D, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Kaprodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang
3. Bapak Prof. Ir. Pratikso, MST., Ph.D., selaku dosen pembimbing I Tugas akhir, yang telah menyisihkan waktu dan tenaga untuk membimbing dengan sabar.
4. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng, selaku dosen pembimbing ke II Tugas Akhir, yang telah meyisihkan waktu dan tenaga untuk membimbing dengan sabar.
5. Semua pihak yang tak disebutkan dalam membantu penulisan Tugas Akhir.

Penyusun menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini jauh dari kata kesempurnaan. Maka dari itu, penyusun mengharap kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak dan pembaca secara umum dan khususnya mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Wassalamualaikum Wr.Wb.

Semarang, Juli 2022

Penyusun



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	vi
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
ABSTRAK	xix
ABSTRACT.....	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Maksud dan Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Pengertian Tanah	4
2.2 Klasifikasi Tanah	5
2.3 Fondasi.....	8
2.4 Klasifikasi Fondasi	8
2.4.1 Fondasi Dangkal	8
2.4.2 Fondasi Dalam.....	9
2.5 Kapasitas Daya Dukung Fondasi	11
2.5.1 Daya Dukung Ultimit Fondasi	11
2.5.2 Kapasitas Daya Dukung Tiang pancang persegi Dari Hasil Sondir.....	12
2.5.3 Kapasitas Daya Dukung <i>Minipile</i> Tunggal	14
2.5.4 Daya Dukung <i>Tiang pancang persegi</i> Kelompok.....	15
2.5.5. Distribusi Beban Pada Tiang	16
2.5.6 Kapasitas Kuat Dukung <i>Bored Pile</i> dari Hasil Sondir	17

2.5.7 Efisiensi Daya Dukung Fondasi <i>Bored Pile</i> (kelompok)	20
2.6 Menentukan Jarak Antar Tiang.....	21
2.7 Menentukan Banyak Tiang Fondasi Yang Dibutuhkan.....	21
2.8 Perhitungan Daya Dukung Lateral	21
2.9 Penurunan Pada Fondasi <i>Bored Pile</i>	26
2.10 Waktu Penurunan	28
2.11 Perhitungan Penulangan	28
2.12 Pemodelan Menggunakan <i>Software</i>	32
BAB III METODOLOGI	34
3.2 Metode Persiapan.....	34
3.1.1 Pendahuluan	34
3.1.2 Pengumpulan Data	34
3.1.3 Lokasi Proyek.....	35
3.1.4 Data Umum Proyek.....	35
3.2. Bagan Alir.....	37
3.3 Permodelan menggunakan Program SAP.....	38
3.4 Permodelan menggunakan Program Aplikasi Plaxis 8.2.....	39
3.5 Metode Perhitungan.....	40
3.3.1 Perhitungan Daya Dukung Ultimit Fondasi	40
3.3.2 Perhitungan Daya Dukung Fondasi Metode Meyerhoff	40
3.3.3 Perhitungan Efisiensi Daya Dukung Fondasi.....	40
3.3.4 Menentukan Banyak Tiang Fondasi yang Dibutuhkan	40
3.3.5 Perhitungan Daya Dukung Lateral Metode Broms	40
3.3.6 Perhitungan Waktu Penurunan	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Tinjauan Umum	41
4.2 Design Struktur Atas dengan <i>Software</i> SAP 2000 v.14.....	41
4.3 Design dan Pembebanan Struktur	42
4.4 Analisa Daya Dukung Fondasi <i>Tiang pancang persegi</i>	47
4.4.1 Daya Dukung Fondasi <i>Tiang pancang persegi</i> Metode Mayerhoff (1976)	48
4.4.2 Perhitungan Jarak Antar Fondasi <i>Tiang pancang persegi</i> dan Jarak As ke Tepi.....	49
4.4.3 Kebutuhan Jumlah Fondasi <i>Tiang pancang persegi</i>	49
4.4.4 Efisiensi Daya Dukung Tiang	50
4.4.5 Penurunan Tiang Tunggal	50

4.4.6 Penurunan Kelompok Tiang.....	52
4.4.7 Waktu Penurunan Tanah Fondasi <i>Tiang pancang persegi</i>	52
4.4.8 Perhitungan Daya Dukung Lateral Fondasi <i>Tiang pancang persegi</i>	52
4.5 Analisa Daya Dukung Fondasi <i>Bored Pile</i>	55
4.5.1 Daya Dukung Fondasi <i>Bored Pile</i> Metode Mayerhoff	55
4.5.2 Perhitungan Jarak Antar Fondasi <i>Bored Pile</i> Dan Jarak As Ke Tepi....	56
4.5.3 Kebutuhan Jumlah Fondasi <i>Bored Pile</i>	56
4.5.4 Efisiensi Daya Dukung Tiang	57
4.5.5 Penurunan Tiang Tunggal	57
4.5.6 Penurunan Kelompok Tiang.....	58
4.5.7 Waktu Penurunan Tanah Fondasi <i>Bored Pile</i>	58
4.5.8 Perhitungan Daya Dukung Lateral Fondasi <i>Bored Pile</i>	59
4.6 Penurunan Fondasi Menggunakan <i>Software</i> PLAXIS 8.6.....	61
4.7 Pembahasan	76
4.7.1 Perhitungan Daya Dukung	76
4.7.2 Perhitungan Penurunan.....	76
BAB V PENUTUP.....	77
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	79



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Parameter Tanah Dari Hasil Uji Sondir	5
Tabel 2. 2 Nilai Konsistensi dan Tekanan Konus	6
Tabel 2. 3 Konsistensi dengan Tekanan Konus	6
Tabel 2. 4 Simbol Tanah	8
Tabel 2. 5 Faktor Keamanan	12
Tabel 2. 6 Faktor Empiris F_b	18
Tabel 2. 7 Nilai-nilai n_h untuk tanah granular ($c = 0$)	25
Tabel 2. 8 Nilai-nilai n_h untuk tanah kohesif (Hardiyatmo, 2011).....	25
Tabel 2. 9 Koefisien Empiris	27
Tabel 2. 10 Derajat konsolidasi.....	28
Tabel 3.1 Hasil Titik Uji Sondir.....	34
Tabel 3.2 Data Umum Proyek.....	35
Tabel 3.3 Data Teknis	36
Tabel 4.1 Beban Hidup	43
Tabel 4.2 Kategori Resiko.....	44
Tabel 4.3 Faktor Keutamaan Gempa	44
Tabel 4. 4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai S_{DS}	45
Tabel 4. 5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai S_{D1}	45
Tabel 4.6 Faktor Reduksi Gempa	45
Tabel 4.7 Hasil <i>Output Joint Reaction</i>	47
Tabel 4. 8 data tanah	48
Tabel 4. 9 Hasil Daya Dukung Fondas <i>Tiang pancang persegi</i> Metode Mayerhoff	49
Tabel 4.10 Hasil Daya Dukung Fondasi Bored Pile Metode Mayerhoff.....	56
Tabel 4.11 Parameter Tanah korelasi dengan N-SPT gedung fraksi DPRD Kudus	62
Tabel 4. 12 Perbandingan Perhitungan Daya Dukung Fondasi	76
Tabel 4.13 Perbandingan Perhitungan Penurunan Fondasi	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Macam Bentuk Fondasi (Hardiyatmo, 2002).....	9
Gambar 2. 2Fondasi <i>Bored Pile</i> (Fitriyana, 2020).....	11
Gambar 2. 3Defleksi dan mekanisme keruntuhan tiang ujung bebas (a)fondasitiang pendek, (b) fondasi tiang panjang (Broms,1964).....	24
Gambar 2. 4 Grafik Tahanan Lateral Ultimit Tiang Pada Tanah Kohesif (a) Tiang Pendek, (b) Tiang Panjang (Broms,1964).....	25
Gambar 2. 5 (A) Penampang Lingkaran , (B) Penampang Persegi	31
Gambar 3. 1 Denah Lokasi Pembangunan Gedung Fraksi DPRD Kabupaten Kudus (Google Earth, 2021).....	35
Gambar 4.1 Desain struktur atas aplikasi SAP v.14	42
Gambar 4.2 Peta Periode Gempa(SNI 1726 : 2019).....	46
Gambar 4. 3 Nilai <i>Respon Spektrum</i>	46
Gambar 4.4 Tahanan Ultimit Fondasi <i>Tiang pancang persegi</i>	55
Gambar 4.5 Tahanan Ultimit Fondasi <i>Bored Pile</i>	61
Gambar 4. 6 <i>General Setting</i>	63
Gambar 4. 7 <i>General Setting</i>	63
Gambar 4. 8 Permodelan Kontur Tanah	63
Gambar 4. 9 Data Umum Tanah	64
Gambar 4. 10 <i>Mohr Coulomb</i>	64
Gambar 4. 11 <i>Mohr Coulomb</i>	64
Gambar 4. 12 Data Material Fondasi	65
Gambar 4. 13 Permodelan.....	65
Gambar 4. 14 Input Pembebanan	65
Gambar 4. 15 Susunan Jaringan Elemen.....	66
Gambar 4. 16 <i>Water Waight</i>	66
Gambar 4. 17 Muka Air Tanah	66
Gambar 4. 18 Output Soil Stresscess	67
Gambar 4. 19 Tekanan Air Pori	67
Gambar 4. 20 Prosedur K0.....	68
Gambar 4. 21 Tekanan Efektif Tanah	68

Gambar 4.22 Deformasi otal yang Terjadi $31,17 \times 10^{-3} \text{ m}$	69
Gambar 4.23 Pengaturan <i>Global-Project</i>	69
Gambar 4.24 Pengaturan <i>Global-Dimensi</i>	70
Gambar 4.25 Permodelan Kontur Tanah	70
Gambar 4.26 Mohr-Coloumb.....	70
Gambar 4.27 Mohr Colomb	71
Gambar 4.28 Dialog Muka Material Pasir	71
Gambar 4.29 Data Material Fondasi	71
Gambar 4.30 Permodelan Fondasi <i>Bored Pile Kelompok</i>	72
Gambar 4.31 Point Load	72
Gambar 4.32 Susunan Jaringan Elemen.....	73
Gambar 4.33 <i>Water Waight</i>	73
Gambar 4. 34 Output Muka Air Tanah.....	73
Gambar 4.35 Output Soil Stresess	74
Gambar 4.36 Output Air Pori.....	74
Gambar 4.37 Prosedur K0.....	75
Gambar 4.38 Tekanan Efektif Tanah.....	75
Gambar 4.39 Deformasi Total yang Terjadi $43,11 \times 10^{-3} \text{ m}$	75



ABSTRAK

Pembangunan Gedung Fraksi DPRD Kudus didesain 4 lantai dengan luas tanah 612 m^2 dan luas bangunan 1680 m^2 . Pada proyek pembangunan gedung Fraksi DPRD Kudus ini menggunakan fondasi *tiang pancang persegi 25x25 cm*. Dikarenakan adanya perencanaan fondasi yang kurang matang, sehingga diadakan penambahan tiang pancang persegi pada proyek Pembangunan gedung Fraksi DPRD Kudus. Oleh karena itu, pada penelitian ini merencanakan ulang fondasi untuk Proyek pembangunan gedung Fraksi DPRD Kudus.

Analisa menggunakan data sondir dari studi kasus Proyek Pembangunan Gedung Fraksi DPRD Kabupaten Kudus. Metode yang digunakan untuk menghitung daya dukung yaitu metode Mayerhof 1956 dan metode Broms 1964. Sedangkan Analisa penurunannya menggunakan metode Vessic 1977 dan Software *Plaxis V.8.6*

Berdasarkan analisa yang dilakukan, pembebanan menggunakan *software SAP 2000 V.14* diperoleh beban 859,2162 KN, dengan merencanakan fondasi *bored pile* berdiameter 50 cm dengan kedalaman 11,4 m dengan $\text{conus } 110 \text{ kg/cm}^2$ dan tiang pancang persegi dengan dimensi 50 x 50 cm dengan kedalaman 11,4 m dengan $\text{conus } 110 \text{ kg/cm}^2$. Hasil perhitungan daya dukung kelompok tiang *bored pile* sebesar 970,54 KN, sedangkan untuk tiang pancang persegi sebesar 917,432 KN. Dan daya dukug lateral *bored pile* sebesar 888,64 KN sedangkan tiang pancang persegi sebesar 879,14 KN. Besar penurunan yang terjadi pada tiang pancang persegi tunggal 1,1 cm sedangkan kelompok 2,56 cm dan untuk *bored pile* tunggal sebesar 0,3 cm dan kelompok sebesar 0,6 cm. untuk pwnurunan PLAXIS v.8.6 sebesar 0,15 untuk tunggal dan 0,3 cm untuk kelompok. Penurunan tersebut dapat terjadi selama 2,795 tahun. Kesimpulan ini berdasarkan pada evaluasi yang terjadi pada fondasi *bored pile* dan tiang pancang persegi yang direncanakan kuat menahan beban struktur atas.

Kata Kunci : Fondasi, *Tiang pancang persegi*, *Bored Pile*, daya dukung dan penurunan fondasi.

ABSTRACT

The construction of the Kudus DPRD Faction Building designed 4 floors with a land area of 612 m² and a building area of 1680 m². In this construction project, the Kudus DPRD Faction building uses a tiang pancang persegi foundation of 25x25 cm. Due to the lack of proper foundation planning, the addition of piles was made to the construction project of the Kudus DPRD Faction building. Therefore, in this study, we plan the foundation for the construction project of the Kudus DPRD Faction building.

The analysis uses sondir data from a case study of the Kudus Regency DPRD Fraction Building Construction Project. The method used to calculate the carrying capacity is the Mayerhof method 1956 and the Brom method 1964. Meanwhile, the settlement analysis uses the Vessic 1977 method and Plaxis V.8.6 software.

Based on the analysis carried out, loading using SAP 2000 V.14 software obtained a load of 859,2162 KN, by planning a drill pile foundation with a diameter of 50 cm with a depth of 11.4 m with a cone of 110 kg/cm² and a tiang pancang persegi with dimensions of 50 x 50 cm with a depth of 11 ,4 m with a cone of 110 kg/cm². The results of the calculation of the carrying capacity of the bore pile pile group are 970.54 KN, while for the tiang pancang persegi it is 917.432 KN. And the lateral bore pile bearing capacity is 888.64 KN while the tiang pancang persegi is 879.14 KN. The magnitude of the decrease that occurred in the single tiang pancang persegi was 1.1 cm while the group was 2.56 cm and for the single boring pile it was 0.3 cm and the group was 0.6 cm. For PLAXIS v.8.6 the decrease was 0.15 for single and 0 ,3 cm for the group. The decline can occur for 2,795 years. This conclusion is based on the evaluation that occurred on the foundation of the pile foundation and tiang pancang persegis that are planned to withstand the load of the superstructure.

Keywords: Foundation, Tiang pancang persegi, Bored Pile, bearing capacity and foundation settlement.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewan Perwakilan Rakyat Daerah Kabupaten Kudus adalah lembaga legislatif yang menjadi mitra kerja Pemerintah Kabupaten Kudus. Dalam kegiatan DPRD dibutuhkan suatu fasilitas gedung, yang mana Gedung Fraksi DPRD termasuk dalam kategori Bangunan Gedung Negara Provinsi, yaitu bangunan gedung untuk keperluan dinas pelaksanaan tugas otonomi provinsi. Melihat kondisi sarana dan prasarana bangunan Gedung DPRD saat ini adalah bangunan lama. Fungsi bangunan atau ruang-ruang yang ada tidak mampu lagi menampung berbagai macam kegiatan yang ada. Oleh karena itu, dibangunlah gedung Fraksi DPRD Kudus.

Pembangunan Gedung Fraksi DPRD Kudus didesain 4 lantai dengan luas tanah 612 m² dan luas bangunan 1680 m². Pada proyek pembangunan gedung Fraksi DPRD Kudus ini menggunakan fondasi tiang pancang *mini pile* 20x20 cm. Dikarenakan adanya perencanaan fondasi yang kurang matang, sehingga diadakan penambahan tiang pancang persegi pada proyek Pembangunan gedung Fraksi DPRD Kudus. Oleh karena itu, pada penelitian ini merencanakan ulang fondasi untuk Proyek pembangunan gedung Fraksi DPRD Kudus. Dalam penelitian ini juga mempertimbangkan jenis beban dan kondisi tanah yang terdapat pada Proyek pembangunan gedung Fraksi DPRD Kudus. Seharusnya dalam merencanakan fondasi harus direncanakan dengan matang agar dapat menahan beba yang diterima dengan daya dukung fondasi. Dalam penelitian ini untuk menghitung beban dan perhitungan penurunan yang terjadi menggunakan PLAXIS v.8.

Maka berdasarkan penjelasan diatas penulis akan menyelesaikan penyusunan tugas akhir dengan judul “ **PERENCANAAN FONDASI TIANG PANCANG PERSEGI DAN BORED PILE PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG FRAKSI DPRD KUDUS** “.

1.2. Rumusan Masalah

Menurut latar belakang diatas, berikut rumusan masalahnya :

- a. Berapa beban yang akan diterima dalam perencanaan fondasi *tiang pancang persegi* dan *bored pile*
- b. Berapa daya dukung yang dapat diterima fondasi *tiang pancang persegi* dan *bored pile* pada perencanaan proyek pembangunan gedung Fraksi DPRD Kudus.
- c. Berapa dan sampai tahun berapa penurunan yang akan terjadi pada proyek pembangunan gedung Fraksi DPRD Kudus sesuai dengan data tanah yang telah diuji.

1.3. Maksud dan Tujuan

Pada rumusan masalah diatas, maksud dan tujuan penelitian sebagai berikut :

- a. Mengetahui berapa beban yang harus dipikul oleh fondasi *tiang pancang persegi* dan *bored pile* yang akan direncanakan.
- b. Mengetahui berapa daya dukung fondasi pada proyek pembangunan gedung Fraksi DPRD Kudus.
- c. Mengetahui nilai penurunan yang terjadi dan waktu penurunan yang terjadi akibat beban yang diterima fondasi *tiang pancang persegi* dan *bored pile* pada proyek Pembangunan gedung Fraksi DPRD Kudus.

1.4. Batasan Masalah

Beberapa hal yang menjadi batasan masalah pada penelitian yaitu :

- a. Merencanakan fondasi *tiang pancang persegi* dan *bored pile* menggunakan data tanah dari hasil uji tanah di proyek pembangunan gedung Fraksi DPRD Kudus oleh laboratorium mekanika tanah fakultas teknik Universitas Islam Sultan Agung berupa data sondir.
- b. Pembebanan struktur atas menggunakan aplikasi SAP 2000 v.14.
- c. Perhitungan nilai penurunan fondasi menggunakan aplikasi PLAXIS v.8.6]an unttuk mengetahui waktu penurunan menggunakna perhitungan manual.
- d. Aspek yang ditinjau hanya mengenai struktur fondasi tiang pancang persegi saja.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika laporan berfungsi untuk memberikan gambaran yang jelas. Sistematika penyusunan tugas akhir adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi konteks, rumusan masalah, tujuan penyusunan tugas akhir, batasan masalah serta sistematika penulisan yang akan dilakukan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi acuan dan syarat syarat yang akan dijadikan penyusun untuk menyelesaikan pokok pembahasna pada saat penelitian.

BAB III METODOLOGI

Bab ini berisi tentang metode persiapan, metode pengujian, metode hasil, bagan alir, jadwal pelaksanaan.

BAB IV HASIL PENELITIAN

Bab ini membahas tetang semua hasil uraian perhitungan perencanaan yang dilakukan oleh penulis.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang sekaligus sebagai bagian akhir dari laporan tugas akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Tanah

Tanah diartikan sebagai material yang terdapat butiran (agregat) mineral-mineral padat yang tidak terikat satu sama lain secara kimia serta dari bahan-bahan organik yang telah melapuk dengan zat cair dan gas yang mengisi rongga-rongga kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Pratikso, 2017). Tanah ialah bahan yang diperoleh dari butiran padar yang mengikat dan terurai dengan cairan dan gas yang mengisi rongga antar partikel (Das, 1995). Tanah adalah benda mati yang terletak pada kulit bumi dan berasal dari mineral hasil pelapukan hewan dan tumbuhan yang terjadi karena factor iklim, wilayah dan waktu pembentukannya (Yuliprianto, 2010).

Tanah merupakan bagian dari alam yang terdiri dari bahan anorganik dan bahan organik. Secara umum, tanah adalah kumpulan partikel mineral alam yang dipisahkan oleh siklus mekanis dan endapan sedimen yang relatif lepas pada batuan dasar (poor rock). Ikatan yang relatif lemah disebabkan oleh deposit intergranular karbon, organik, atau oksida. Ruang antar partikel dapat berisi udara, air, atau keduanya (Hardiyatmo, 1992).

Umumnya tanah dibagi menjadi dua yaitu lengket (kohesif) dan tidak lengket (non kohesif). Tanah tidak lengket ialah tanah yang lengas karena adanya tegangan permukaan dalam air, seperti pasir. Tanah lengket merupakan tanah yang bercampur dan mengering, seperti tanah liat/lempung (Bowles, 1991).

Jenis tanah yang terdapat di lapangan merupakan tanah non kohesif karena berupa pasir, dengan tanah keras pada kedalaman 11,5 m pada BM-01 dan kedalaman 9,8 m pada BM-02. Maka dalam perencanaan akan digunakan data tanah BM-01 karena memiliki kondisi tanah yang kurang baik dibandingkang BM-02. Dalam perencanaan tersebut memerlukan pemahaman mengenai karakteristik, sifat-sifat dan parameter tanah seperti daya dukung, berat jenis, kadar air, dll.

2.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem untuk mengklasifikasikan beberapa jenis tanah yang berbeda dengan sifat yang sama ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan kegunaannya. Kebanyakan sistem klasifikasi tanah yang dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat indeks tanah sederhana seperti distribusi ukuran dan plastisitas (Bowles, 1989).

klasifikasi tanah berdasarkan benda hasil benda uji sondir di lapangan dapat menentukan jenis tanahnya sesuai dengan data tekanan *conuss* (q_c) dan hambatan pelekat (f_s) yang terdapat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Parameter Tanah Dari Hasil Uji Sondir

Nilai Sondir		Klasifikasi
$q_c = \text{Pertahanan ujung conus (kg/cm}^2\text{)}$	$f_s = \text{Local Friction (kg/cm}^2\text{)}$	
6	0.15 – 0.4	<i>Humus, very soft clay</i>
6 – 10	0.2	<i>Loose sand, very loose sand</i>
	0.2 – 0.6	<i>Soft clay, soft silty clay</i>
10- 30	0.1	<i>Loose pebbles</i>
	0.1 – 0.4	<i>Loose sand</i>
	0.8 – 2	<i>Slightly chewy clay</i>
30 – 60	1.5	<i>Silty sand, dense sand</i>
	1- 3	<i>Silty clay</i>
	1	<i>Loose sand gravel</i>
60 -150	1 – 3	<i>Solid sand, silty sand or solid calay</i>
	3	<i>Gravel clay</i>
150 – 300	1- 20	<i>Dense sand, gravel sand, and rough sand</i>

(Sumber : Das, 2011)

Satu dari beberapa parameter daya dukungan tanah adalah kepadatan tanah dari uji penetrasi, yang di mana sifat yang dikorelasikan Antara lain γ , γ_m , C_c , C_v , q_u , c dan ϕ , dimana nilainya sama.

Tabel 2.2 Nilai Konsistensi dan Tekanan Konus

Kepadatan	Relatif Density (Yd)	Nilai N-SPT	Tekanan Conus q_c (Kg/Cm ²)	Sudut Geser (ϕ) (°)
<i>Very Loose</i>	< 0,2	< 4	< 20	< 30
<i>Loose (Lepas)</i>	0.2 –	4 - 10	20 – 40	30 – 35
<i>Medium Dense</i>	0.4 –	10 - 30	40 -120	35 – 40
<i>Dense</i>	0.6 –	30 -50	120 – 200	40 – 45
<i>Very Danse</i>	0.8 – 1	> 50	> 200	> 45

(sumber : Meyerhof, 1956)

Korelasi antara kestabilan tekanan *conus* serta *Undrained Cohesion* itu sama, nilainya berbanding lurus, semakin tinggi nilainya maka tanah lebih kaku. Berikut adalah klasifikasi konsistensi pada Tabel 2.3 .

Tabel 2. 3 Konsistensi dengan Tekanan Konus

Konsistensi Tanah	Tekanan Conus q_c (kg/cm ²)	<i>Undrained Cohesion</i>
<i>Very Soft</i>	< 2.5	< 1.25
<i>Soft</i>	2.5 – 5	1.25 – 2.5
<i>Medium Stiff</i>	5. – 10	2.5 – 5
<i>Stiff</i>	10 – 20	5 – 10
<i>Very Stiff</i>	20 – 40	10 – 20
<i>Hard</i>	> 40	> 20

(Sumber : Bogeman, 1965)

Ada beberapa jenis klasifikasi tanah, antara lain sistem klasifikasi AASHTO (American Association of Highway and Transportation Officials) dan Unified Soil Classification System (USCS). Namun, dalam hal ini kita akan fokus pada Unified Soil Classification System (USCS). Sistem ini pertama kali diperkenalkan oleh Casagrande (1942) untuk digunakan pada operasi lapangan terbang Army Corps of Engineers.

Yang paling luas adalah sistem klasifikasi tanah berdasarkan hasil percobaan laboratorium, sistem klasifikasi satuan tanah. Percobaan laboratorium yang digunakan adalah analisis ukuran partikel dan limit Atterberg. Semua tanah diberi dua huruf referensi berdasarkan hasil percobaan ini. Sistem ini mengklasifikasikan tanah menjadi dua kelompok utama, yaitu:

1. Tanah butiran kasar (*coarse grained soil*), yaitu tanah kerikil dan tanah pasir dimana kurang dari 50% dari berat total contohnya tanah lolos ayakan No. 200 ($F_{200} < 50$). Simbol dari kelompok tersebut dimulai dengan huruf awal **G**, adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil dan **S**, adalah untuk tanah pasir (*sand*) atau tanah berpasir (*sandy soil*).
2. Tanah berbutir halus (*fine – grained soils*) yang lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ($F_{200} \geq 50$). Simbol kelompok diawali dengan **M** untuk lanau *inorganic* (*inorganic silt*), atau **C** untuk tanah lempung *inorganic* (*inorganic clay*), atau **O** untuk lanau dan tanah lempung organik. Simbol **Pt** dipergunakan untuk gambut (*peat*), dan tanah dengan kandungan organik tinggi. Simbol lainnya yang digunakan untuk klasifikasi yaitu **W** sebagai gradasi baik (*well graded*), **P** untuk gradasi buruk (*poorly graded*), **L** sebagai plastisitas rendah (*low plasticity*), dan **H** sebagai plastisitas tinggi (*high plasticity*).

Tabel 2. 4 Simbol Tanah

Huruf Primer		Huruf Skunder	
G	Kerikil	W	Bergradasi baik
S	Pasir	P	Bergradasi buruk
M	Lanau	M	Butiran halus
C	Lempung	C	Butiran halus plastisitas
O	Tanah Organik	L	Plastisitas rendah ($LL < 50$)
Pt	Gambut	H	Plastisitas tinggi ($LL > 50$)

(Sumber : Craig, 1991)

2.3 Fondasi

Fondasi merupakan struktur bawah yang menyalurkan beban ketanah. Secara umum fondasi ada dua yaitu, fondasi dangkal dan fondasi dalam. Fondasi dangkal hanya bisa menerima beban relatif kecil. Sedangkan fondasi dalam dapat menerima beban bangunan yang lebih besar (Hardiyatmo, 2002).

Fondasi merupakan bagian bangunan yang yang digunakan sebagai peletakan bangunan dan meneruskan beban ke bagian bawahnya (Gunawan, 1990). Fondasi adalah struktur *bottom structure* yang berfungsi menyalurkan beban ke tanah bawahnya (Bowles, 1997).

Jadi dapat disimpulkan bahwa fondasi ialah *bottom structure* yang untuk menyalurkan beban sampai tanah dan tidak boleh terjadi pergeseran dan penurunan pada fondasi tersebut.

2.4 Klasifikasi Fondasi

2.4.1 Fondasi Dangkal

a. Fondasi Memanjang (*Continuous Footing*)

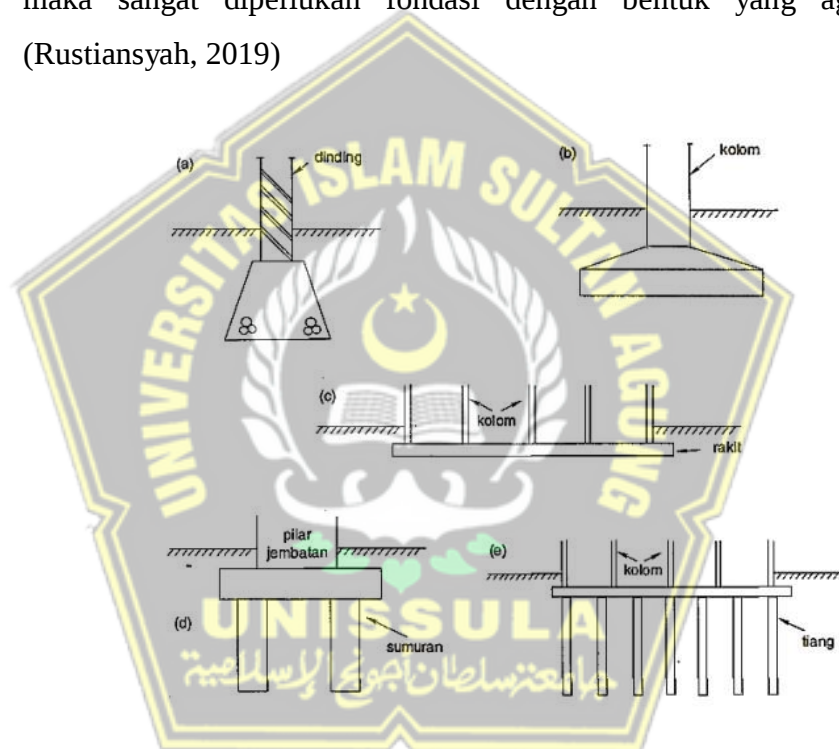
Fondasi memanjang biasa dinamakan dengan fondasi batu kali yang berfungsi untuk menyangga kolom dengan jarak dekat, bias juga untuk menyangga dinding. Biasanya berupa batu kali, pasangan batu bata atau beton tak bertulang.

b. Fondasi Telapak (*spread footing*)

Fondasi telapak digunakan untuk tumpuan kolom tunggal, biasanya menggunakan beton dengan tulangan dimanya bentuknya menyerupai telapak dan memiliki tebal dengan ukuran yang disesuaikan. Terkadang digunakan untuk bangunan tingkat.

c. Fondasi rakit (*raft foundation*)

Fondasi rakit biasanya digunakan pada daerah yang tanahnya bersifat lunak, karena tanah tersebut memiliki daya dukung yang rendah, maka sangat diperlukan fondasi dengan bentuk yang agak lebar (Rustiansyah, 2019)



Gambar 2.1 Macam Bentuk Fondasi (Hardiyatmo, 2002)

(a) Memanjang (b) Telapak (c) rakit (d) Sumuran (e) Tiang

2.4.2 Fondasi Dalam

a. Fondasi sumuran

Fondasi sumuran adalah fondasi Antara fondasi dalam dan fondasi dangkal, namun lebih digolongkan menjadi fondasi dnagkal karena lebih pangjang dari lebarnya. Fondasi ini berbuntak bulat berlubang dan ditutup

dengan beton bertulang atau pracetak dengan diameter yang bervariasi, antara lain 200 mm, 320 mm, 380 mm.

b. Fondasi *Tiang pancang persegi*

Fondasi *Tiang pancang persegi* adalah fondasi yang menggunakan kolom beton prefabrikasi yang dihubungkan langsung ke tanah dengan menggunakan alat tiang pancang persegi, seperti HSPD tergantung dari situasi keadaan lingkungannya. Fondasi ini sangat disarankan digunakan untuk daerah dengan tanah lunak untuk memudahkan dalam pengerjaan fondasinya.

c. Fondasi *Bored Pile*

Fondasi *bored pile* didirikan dari permukaan sampai kedalam rencana dengan membuat kubang pada tanah. Setelah mencapai ketinggian kedalam galian. Sistem pengeboran dapat dijalankan secara manual atau hidrolik. Kedalaman galian berdiameter besar dan sistem perkuatan beton bertulang dirancang sesuai dengan perencanaan. Struktur fondasi ini direncanakan untuk menahan gaya lateral dan guling. Berikut adalah kelemahan dan kekurangan fondasi *bored pile*.

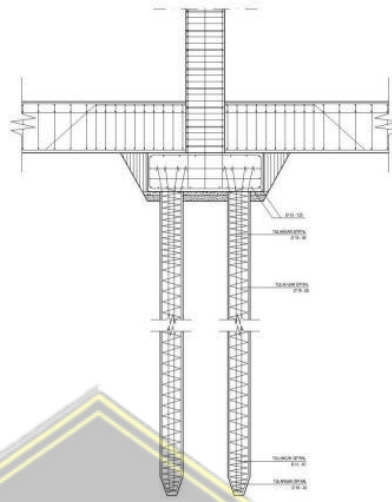
Kelebihan fondasi *bored pile* antara lain:

- a. Cocok digunakan untuk lingkungan yang padat.
- b. Tidak ada getaran, sehingga lingkungan sekitar tidak terganggu.
- c. Kedalaman dapat disesuaikan oleh kebutuhan.
- d. Fondasi *bored pile* kuat menahan beban lateral yang lebih besar.
- e. Bagian ujung fondasi lebih besar, yang dapat meningkatkan daya dukung.

Kekurangan fondasi *bored pile* Antara lain:

- a. Proses pengeboran sangat bergantung pada cuaca.
- b. Perbesaran ujung fondasi tidak dapat terjadi pada tanah pasir.
- c. Kebadatan tanah dapat menurun karena proses pengeboran.
- d. Bias menimbulkan longsor pada kondisi tanah tertentu.

- e. Apabila lubang bor kemasukan air, atau terisi dengan lumpur maka dapat menghambat proses pengebora.



Gambar 2.2 Fondasi *Bored Pile*

2.5 Kapasitas Daya Dukung Fondasi

Kapasitas daya dukung fondasi yaitu potensi tanah untuk memberikan dukungan berupa beban terbesar dari bangunan di atasnya. Kapasitas daya dukung fondasi kuat terhadap gaya geser untuk melindungi dari pergeseran yang akan terjadi. Dan fondasi juga harus diletakkan pada tanah keras agar daya dukungnya lebih stabil. Daya dukung fondasi berasal dari *friction end bearing* nya. Berikut ini adalah metode-metode untuk menghitung kapasitas fondasi.

2.5.1 Daya Dukung Ultimit Fondasi

Rumus daya dukung ultimit fondasi adalah:

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots\dots\dots 2.1$$

$$Q_{all} = Q_u / SF \dots\dots\dots 2.2$$

Tabel 2.5 Faktor Keamanan

Klasifikasi Struktur	Faktor Keamanan (SF)			
	Kontrol Baik	Kontrol Normal	Kontrol Jelek	Kontrol sangat jelek
Monumental	2.3	3	3.75	4
Permanen	2	2.5	2.8	3.4
Sementara	1.4	2	2.3	2.8

(Sumber : Hardiyatmo, 1996)

2.5.2 Kapasitas Daya Dukung Tiang pancang persegi Dari Hasil Sondir

Ini termasuk perbedaan uji coba lapangan, Sondir atau Cone Penetration Testing (CPT). Ini sering dihargai dalam peran rekayasa geoteknik. CPT atau Sondir adalah uji lapangan yang sangat cepat, sederhana, murah, dan andal dengan pengukuran bawah permukaan yang kontinu. CPT atau Sondir juga dapat mengklasifikasikan lapisan tanah dan memperkirakan kekuatan dan sifat tanah. Dalam perancangan pondasi tiang sudut (tiang pancang), data tanah sangat penting untuk perencanaan daya dukung tiang sudut sebelum memulai konstruksi untuk menentukan daya dukung akhir tiang sudut (Pagehgiri, 2015).

Kapasitas daya dukung ultimit ditentukan dengan Persamaan sebagai berikut :

$$Q_u = Q_b + Q_s = q_b \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana :

Q_u = Kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang pancang persegi (ton)

Q_b = Kapasitas tahanan di ujung tiang (ton)

Q_s = Kapasitas tahanan kulit (ton)

q_b = Kapasitas daya dukung di ujung tiang persatuan luas (kg/cm^2)

A_b = Luas di ujung tiang. (cm^2)

f = Satuan tahanan kulit persatuan luas.

A_s = Luas kulit tiang pancang persegi. (cm^2)

Dalam menentukan kapasitas daya dukung aksial ultimit (Q_u) dipakai Metode Aoki dan De Alencar. Aoki dan Alencar mengusulkan untuk memperkirakan kapasitas dukung ultimit dari data Sondir. Kapasitas dukung ujung persatuan luas (q_b) diperoleh sebagai berikut:

$$q_b = \frac{q_{ca}(\text{base})}{F_b} \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana :

$q_{ca}(\text{base})$ = Perlawanan konus rata-rata (g/cm^2)

1,5D diatas ujung tiang, 1,5D dibawah ujung tiang dan F_b adalah factor empirik tergantung pada tipe tanah. Tahanan kulit persatuan luas (f) diprediksi sebagai berikut:

$$F = q_c(\text{side}) \frac{\alpha_s}{f_s} \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana :

$q_c(\text{side})$ = Perlawanan konus rata-rata pada masing lapisan sepanjang tiang (kg/cm^2)

f_s = Faktor empiric tahanan kulit yang tergantung pada tipe tanah (kg/cm^2)

F_b = Faktor empiric tahanan ujung tiang yang tergantung pada tipe tanah.

α_s = Nilai factor empiric tanah.

Pada umumnya nilai α_s untuk pasir = 1,4 persen, nilai α_s untuk lanau = 3,0 persen dan nilai α_s untuk lempung = 1,4 persen. Untuk menghitung daya dukung tiang pancang persegi berdasarkan data hasil pengujian sondir dapat dilakukan dengan menggunakan metode Meyerhoff. Daya dukung ultimate fondasi tiang dinyatakan dengan rumus :

$$Q_a = (q_c \times A_b/3) + (JHP \times O/5) \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana :

Q_a = Daya dukung ujung tiang (kg/tiang)
 Q'_c = Tahananankonus dari CPT rata (kg/cm²)
 A_b = Luas penampang tiang (cm²)
 O = Keliling tiang (cm)
 JPH = Tahanan friksi dari selimut tiang rata (kg/cm²)
 SF = 3 dan 5 (Wesley untuk indonesia)

Daya dukung ijin fondasi dinyatakan dengan rumus

$$Q_{ijin} = \frac{q_c A_c}{3} + \frac{JHL \times K_{11}}{5} \dots\dots\dots 2.7$$

Dimana :

Q_{ijin} = Kapasitas daya dukung ijin fondasi (ton/cm²)
 q_c = Tahanan ujung sondir (kg/cm²)
 A_p = Luas penampang tiang (cm²)
 JHL = Jumlah hambatan lekat.
 K_{11} = Keliling tiang (cm)

2.5.3 Kapasitas Daya Dukung *Minipile Tunggal*

Daya dukung tunggal adalah daya dukung tiang tunggal untuk menghitung kapasitas daya dukung *tiang pancang persegi tunggal* menggunakan metode *Mayerhoff (1976)*. Perhitungan daya dukung pada tiang menurut *Mayerhoff* menggunakan Persamaan berikut:

$$P_{ult} = q_{cr} \cdot A_p + \sum f_s \cdot A_s \dots\dots\dots 2.8$$

$$P_{all} = \frac{P_{ult}}{FK} \dots\dots\dots 2.9$$

Dimana :

P_{ult} = Beban maksimum yang bekerja pada tiang
 P_{all} = Kapasitas beban yang diijinkan
 A_p = Luas penampang dasar fondasi (cm²)
 A_s = Keliling Fondasi tiang (cm)
 Q_{cr} = q_c rata – rata, sepanjang 4D Sebagian atas rencana ujung tiang, dan 1D dibawah ujung (ton)
 $\sum f_s$ = jumlah hambatan pelekak (ton)

FK = Faktor keamanan nilainya diantara 2,5-3, diambil 3.

2.5.4 Daya Dukung *Tiang pancang persegi Kelompok*

Fondasi tiang pancang persegi sangat umum dipasang dalam kelompok yang disebut pile cap, karena tiang pancang persegi diberi jarak dan diikat dengan pile cap. Ada beberapa pertimbangan ketika menghitung daya dukung beban tiang pancang kelompok:

1. Jumlah Tiang

Untuk menentukan jumlah tiang, hitung sesuai dengan beban aksial yang bekerja pada kolom dibagi dengan daya dukung yang diizinkan dari masing-masing tiang. Maka rumus yang digunakan adalah :

$$n = \frac{p}{Q_{ijin}} \dots\dots\dots 2.10$$

Dimana :

n = jumlah tiang

p = beban yang bekerja

Q_{ijin} = Kapasitas daya dukung ijin tiang tunggal (ton)

2. Jarak Antar Tiang

Berikut adalah rumus untuk menghitung jarak antar tiang pada fondasi:

$$S \leq 2,5D \dots\dots\dots 2.11$$

$$S \geq 3D \dots\dots\dots 2.12$$

Dimana :

S = pusat jarak antar tiang (m)

D = diameter tiang jarak antar *tiang pancang persegi* umumnya minimum 0,6 meter dan maksimum 2 meter.

3. Efisiensi Kelompok Tiang

Salah satu Persamaan yang rekomendasikan oleh *Converse-Labarre formula* berikut adalah rumus untuk menghitung efisiensi kelompok tiang :

$$Eg = 1 - \left[\frac{(n-1).m + (m-1).n}{90.m.n} \right] . \theta \dots\dots\dots 2.13$$

$$Qg = n. q_{ijin} \times Eg \dots\dots\dots 2.14$$

$$\theta = Arc\ tg \cdot \frac{D}{S} \dots\dots\dots 2.15$$

$$Pg = Eg. nt. Pall \dots\dots\dots 2.16$$

Dimana :

Eg = Efisiensi kelompok tiang (%)

M = Jumlah tiang pada deretan baris

N = Jumlah tiang pada deretan kolom

D = Diameter tiang (m)

S = Jarak antar tiang (diambil 2,5D) (m)

Pg = Kapasitas ijin tiang kelompok

$Pall$ = Kapasitas beban ijin tiang tunggal

Nt = Jumlah tiang dalam kelompok

Qg = Daya dukung aksial (kN)

4. Penulangan Tiang *Tiang pancang persegi*

$$A_{tiang} = F_b + n. F_e \dots\dots\dots 2.17$$

$$P_{tiang} = \sigma_b . A_{tiang} \dots\dots\dots 2.18$$

Dimana :

A_{tiang} = Luas tiang pancang persegi tunggal (m²)

F_b = Luas tang pancang tunggal (m²)

n = Jumlah tiang dalam 1 *pile cap*

F_e = Luas tulangan dalam 1 tiang pancang persegi (m²)

2.5.5. Distribusi Beban Pada Tiang

Ketika sekelompok tiang pancang persegi dibebani dari sebuah kolom, maka beban yang diterima oleh kepala tiang dipindahkan ke setiap tiang. Untuk menghitung distribusi beban pada tiang pancang tersebut dapat dilakukan seperti berikut:

$$P_{max} = \frac{\sum Vu}{n} \pm \frac{My.X_{max}}{ny.\sum X^2} \pm \frac{Mx.Y_{max}}{nx.\sum Y^2} \dots\dots\dots 2.19$$

Dimana :

P_{max} = Beban maksimum yang diterima tiap tiang

$\sum Vu$ = Total beban aksial

N_y	= Jumlah tiang dalam satu sumbu Y
N_x	= Jumlah tiang dalam satu sumbu X
N	= Jumlah tiang
M_x	= Momen yang bekerja tegak lurus sumbu X
M_y	= Momen yang bekerja tegak lurus sumbu Y
X_{max}	= Absis maksimum tiang ke pusat tiang kelompok
Y_{max}	= Koordinat maksimum tiang ke pusat tiang kelompok
$\sum X^2$	= Jumlah kuadrat absis tiang
$\sum Y^2$	= Jumlah koordinat tiang

2.5.6 Kapasitas Kuat Dukung *Bored Pile* dari Hasil Sondir

Diantara perbedaan tes dilapangan, sondir atau *cone enetration test* (CPT). Banyak yang menghargai peran rekayasa geoteknik. *Cone penetration test* (CPT) atau sondir ini dapat juga mengklasifikasi lapisan tanah dan dapat memperkirakan kekuatan dan karakteristik dari tanah. Didalam perencanaan fondasi tiang, data tanah sangat diperlukan dalam merencanakan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) dari *bored pile* sebelum pembangunan dimulai, guna menentukan kapasitas daya dukung ultimit dari fondasi tiang.

Untuk menghitung kuat dukung *bored pile* berdasarkan data hasil pengujian sondir dapat dilakukan dengan menggunakan :

a. Metode Aoki dan De Alencar

Daya dukung fondasi *Bored Pile* dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_u = (q_b \times A_b) \dots\dots\dots 2.20$$

Dimana :

Q_{ult} = Kapasitas daya dukung *bored pile* (kN)

Q_b = Tahanan ujung sondir (kN/m²)

A_b = Luas penampang tiang(m²)

Aoki dan Alencar mengusulkan estimasi daya dukung akhir dari data Sondir. Daya dukung suatu satuan luas (q_b) ditentukan sebagai berikut:

$$q_b = \frac{q_{ca} (base)}{f_b} \dots\dots\dots 2.21$$

Keterangan :

$q_{ca} (base)$ = Perlawanan konus rata-rata 1,5D di atas ujung tiang, 1,5D di bawah ujung tiang (kg/cm²)

F_b = Faktor empirik yang tergantung pada tipe tanah

Tabel 2. 6Faktor Empiris F_b

Tipe Tiang pancang persegi	F_b
<i>Bored Pile</i>	3,5
Baja	1,75
Beton Pratekan	1,75

(Sumber : Titi & Farsakh, 1999)

Saat menghitung kapasitas beban fondasi *bored pile* di Sondir, kapasitas beban penutup *bored pile* tidak diperhitungkan. Hal ini dikarenakan tahanan geser tanah yang terjadi pada fondasi *bored pile* sangat rendah sehingga dianggap tidak ada. Untuk mendapatkan beban kerja aman tiang, beban kerja aman harus dibagi dengan faktor keamanan tertentu.

Untuk dasar tiang yang dibesarkan dengan $d < 2$ m :

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5} \dots\dots\dots 2.22$$

Untuk dasar tiang tanpa pembesaran :

$$Q_a = \frac{Q_u}{2} \dots\dots\dots 2.23$$

b. Metode Schmertmann dan Notting ham (1975)

Kuat dukung ultimit neto (Q_u), dihitung dengan Persamaan

$$Q_u = A_b f_b + A_s f_s \dots\dots\dots 2.24$$

$$Q_u = A_b \omega q_{ca} + A_s K_f q_f \dots\dots\dots 2.25$$

Keterangan :

A_b = Luas penampang tiang (cm^2)

A_s = Luas selimut tiang (cm^2)

f_b = Tahanan ujung satuan (kg/cm^2)

f_s = Tahanan gesek satuan (kg/cm^2)

q_{ca} = Tahanan konus rata-rata (kg/cm^2)

q_f = Tahanan gesek sisi konus (kg/cm^2)

k_f = koefisien tak berdimensi

ω = koefisien korelasi

c. Metode Meyerhof (1976)

1. Tahanan Ujung

$$F_b = \omega_1 \cdot \omega_2 \cdot q_{ca} \dots\dots\dots 2.26$$

Dimana :

F_b = Tahanan ujung satuan, untuk tiang bor diambil 70% atau 50%-nya

q_{ca} = q_c rata-rata (kN/m^2) pada zona 1D dibawah ujung tiang dan 4D di atasnya

$\omega_1 = [(d + 0,5) / 2d]^n$; koefisien modifikasi pengaruh skala, jika $d > 0,5 \text{ m}$

$$\omega_1 = 1$$

$\omega_1 = L/10d$; koefisien modifikasi untuk penetrasi tiang dalam lapisan pasir padat saat $L < 10d$, Jika $L > 10d$, $\omega_2 = 1$

d = Diameter tiang (m)

L = Kedalaman penetrasi tiang di dalam lapisan pasir padat (m)

n = Nilai eksponensial [(1 untuk pasir longgar ($q_c < 5\text{Mpa}$), (2 untuk pasir kepadatan sedang (5 Mpa

< $q_c < 12 \text{ Mpa}$), (3 untuk pasir padat ($q_c > 12 \text{ Mpa}$))]

2). Tahanan gesek

Untuk tiang pancang persegi, tahanan gesek satuan diambil salah satu dari :

$$F_s = K_f \times q_f \text{ dengan } K_f = 1 \dots\dots\dots 2.27$$

atau, bila tidak dilakukan pengukuran tahanan gesek sisi konus :

$$F_s = K_c \times q_c \text{ dengan } K_c = 0,005 \dots\dots\dots 2.28$$

Keterangan :

F_s = Tahanan gesek satuan (kg/cm^2)

K_f = Koefisien modifikasi tahanan gesek sisi konus

q_f = Koefisien modifikasi tahanan konus (kg/cm^2)

Untuk tiang bor, Meyerhoff menyarankan menggunakan faktor reduksi 70% dan 50% dalam menghitung tahanan gesek tiang dengan menggunakan Persamaan (2.27) dan (2.28).

2.5.7 Efisiensi Daya Dukung Fondasi *Bored Pile* (kelompok)

Persamaan untuk efisiensi daya dukung fondasi *bored pile* kelompok dapat dirumuskan berdasarkan metode *Converse-Labarre* dan *Los Angeles Group*, berikut adalah Persamaan untuk metode *Converse-Labarre* (1960).

$$\eta = 1 - \left[\frac{(n-1)+(m-1)n}{90, m, n} \right] \times \theta \dots\dots\dots 2.29$$

Dimana :

η = efisiensi kelompok (%)

m = jumlah arah vertical

n = jumlah kolom arah horizontal

θ = $\text{arc tg } d \dots\dots\dots 2.30$

Dimana:

s = jarak as tiang (m)

d = diameter tiang (m)

2.6 Menentukan Jarak Antar Tiang

Menentukan jarak antar tiang penting dilakukan karena pada jarak tiang inilah yang menentukan daya dukung, friksi dan penurunan tiang yang akan terjadi. Apabila jarak antar tiang terlalu jauh maka daya dukung fondasinya juga kecil, tapi kalau jarak antar tiang terlalu dekat akan boros biaya, maka ada Persamaan yang dapat dijadikan acuan untuk menentukan jarak antar tiang dan dari acuan ini biasa bertambah namun sedikit saja Berikut Persamaanya:

$$2,5 D < s < 3D \dots\dots\dots 2.31$$

Dimana D adalah diameter tingginya.

2.7 Menentukan Banyak Tiang Fondasi Yang Dibutuhkan

Cara menentukan kebutuhan fondasi seorang perencana harus mengetahui berapa jumlah fondasi yang dibutuhkan untuk menerima beban dari struktur atasnya, karena jika sebuah fondasi tunggal tidak dapat menerima beban maka dapat direkomendasikan menggunakan fondasi kelompok, berikut adalah Persamaannya:

$$N_p = \frac{v}{Q_{tiang}} \dots\dots\dots 2.32$$

Dimana :

N_p = jumlah tiang

V = beban strukturnya (kN)

Q_{tiang} = daya dukung izin tiang tunggal (kN)

2.8 Perhitungan Daya Dukung Lateral

Saat memulai perhitungan kapasitas lateral tiang tunggal, hal utama yang harus diketahui adalah tentang sifat tiang itu sendiri. Apakah berupa tiang pendek (*rigid pile*) ataupun tiang panjang (*elastic pile*).

$$E = 4700 \times \sqrt{f_c} \dots\dots\dots 2.33$$

$$I = \frac{1}{6} \times \pi \times D^4 \dots\dots\dots 2.34$$

Cara menentukan R dan I, sebagai berikut :

- A. Pada tanah lempung yang kaku dan mengalami konsolidasi terlebih dahulu, maka modulus tanah dianggap permanen di seluruh kedalaman.

$$R = \sqrt[4]{\frac{El}{Kh \times d}} \dots\dots\dots 2.35$$

- B. Untuk tanah lempung dan granular yang mengalami konsolidasi normal, maka modulus tanah menjadi tak permanen atau meningkat dengan linier di kedalaman tertentu.

$$T = \sqrt[5]{\frac{Ep \times lp}{nh}} \dots\dots\dots 2.36$$

$$4T = 4 \times T \dots\dots\dots 2.37$$

Dimana :

E_p = Modulus Elastisitas Tiang (kN/m^2)

I = Momen Inersia (m^4)

nh = Koefisien Modulus Variasi (kN/m^3)

Kh = Modulus Reaksi Subgrade (kN/m^3)

D = Diameter (m)

Agar mengetahui tanah akan runtuh sebab beban lateral, maka momen max harus dihitung terlebih dahulu. Jika $M_{\max} > M_y$, maka tanah tidak runtuh dan H_u diperoleh dari kekuatan bahan tiang dalam menahan beban momen.

$$M_{\max} = B \times \gamma \times L^3 \times K_p \dots\dots\dots 2.38$$

- a. Perhitungan daya dukung lateral fondasi metode *Broms* (1964)
Digunakan untuk menghitung maksimal tanah disebabkan oleh gaya lateral (*rigid pile*) atau (*elastic pile*). Berikut merupakan rumus untuk *elastic pile* pada kondisi lapisan tanah yang sama dan tanah kohesif :

$$H_u = \frac{2 M_y}{e + \frac{2f}{3}} \dots\dots\dots 2.39$$

$$f = 0,82 \sqrt{\frac{Hu}{d \times kp \times \gamma}} \dots\dots\dots 2.40$$

$$H_{ijin} = Hu / Sf \dots\dots\dots 2.41$$

Dimana :

- Hu = Daya Dukung Lateral Tiang (kN)
- My = Momen Max Yang Dapat Ditahan Tiang (kN.m)
- γ = Berat Volume Tanah(kN/m³)
- D = Diameter (m)
- e = Jarak Titik Beban Horizontal ke Permukaan Tanah(m)
- Kp = Koefisien Tekanan Tanah Pasif
- f = Jarak Kedalaman Titik Dimana Gaya Geser = 0 (m)

b. Defleksi tiang

$$\alpha = \left[\frac{nh}{Ep \times Ip} \right]^{1/5} \dots\dots\dots 2.42$$

Dimana :

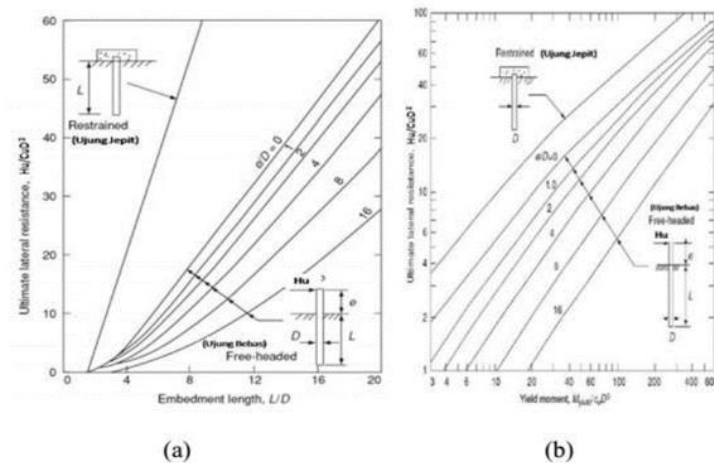
- Ep = Modulus Elastisitas Tiang (kN/m²)
- Ip = Momen Inersia Tiang (m⁴)
- nh = Koefisien Modulus Variasi (kN/m³)

- Tiang pendek jika $\alpha L < 2$, $yo = \frac{2H}{L^2 \times nh} \dots\dots\dots 2.43$

- Tiang pendek jika $\alpha L < 4$, $yo = \frac{0,93 H}{(nh)^{0,6} (Ep Ip)^{0,4}} \dots\dots\dots 2.44$

Dimana :

- H = Beban Lateral (kN)
- L = Panjang Tiang (m)
- Nilai Hu didapat berdasarkan grafik



Gambar 2.3 Defleksi dan mekanisme keruntuhan tiang ujungbebas (a) fondasi tiang pendek, (b) fondasi tiang panjang (Broms,1964)

- Untuk tiang pendek, dapat dihitung tahanan ultimate tiang terhadap beban *lateral* dengan Persamaan berikut:

$$M_{maks} = H_u (0,5L + 0,75D) \dots\dots\dots 2.45$$

Dimana:

- H_u = beban *lateral* (kN)
- d = diameter tiang (m)
- c_u = kohesi tanah (kN/m²)
- L = panjang tiang (m)
- g = jarak momen maksimum dasar tiang (m)

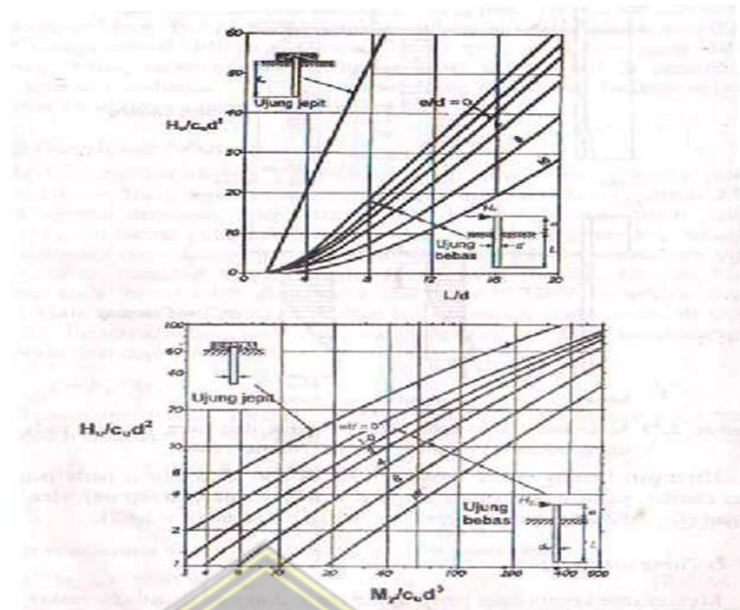
Nilai-nilai H_u dapat diplot dalam grafik hubungan L/D dan $H_u/c_u D^2$ ditunjukkan pada Gambar 2.3a.

- sedangkan untuk tiang panjang H_u dapat dicari dengan Persamaan berikut :

$$H_u = \frac{2m_y}{1,5D + 0,5f} \dots\dots\dots 2.46$$

Dimana :

- M_y = momen leleh (kN-m)
- f = jarak momen maksimum dari permukaan tanah (m)



Gambar 2. 4 Grafik Tahanan Lateral Ultimit Tiang Pada Tanah Kohesif
(a) Tiang Pendek, (b) Tiang Panjang (Broms,1964).

- Perhitungan lateral izin, sebagai berikut :
Tahanan momen ultimit (grafik) :

$$\frac{Hu}{D^4 \times \gamma \times kp} \dots\dots\dots 2.47$$

Tabel 2.7 Nilai-nilai n_h untuk tanah granular ($c = 0$)

Kerapatan relatif (D_r)	Tidak padat	Sedang	Padat
Interval nilai A	100 – 300	300 – 1000	1000 – 2000
Nilai A dipakai	200	600	1500
$n_{h,pasir}$ kering atau lembab (Terzaghi) (kN/m^3)	2425	7275	19400
$n_{h,pasir}$ terendam air (kN/m^3)			
Terzaghi	1386	4850	11779
Reese dkk	5300	16300	34000

Tabel 2.8 Nilai-nilai n_h untuk tanah kohesif (Hardiyatmo, 2011)

Tanah	n_h (kN/m^3)	Referensi
-------	--------------------	-----------

Lempung terkonsolidasi normal lunak	166-3518	Reese dan Matlock (1956)
	277-554	Davisson – Prakash
Lempung terkonsolidasi normal organik	111-277	Peck dan Davidson
	111-831	Davidson (1970)
Gambut	55	Davidson (1970)
	27,7-111	Wilson dan Hiltz (1967)
Loss	8033-11080	Bowles (1968)

2.9 Penurunan Pada Fondasi *Bored Pile*

Penurunan terhadap fondasi tiang pancang persegi dan *bored pile* biasanya hanya terjadi sedikit penurunan saja, karena dalam perencanaan fondasi diantara kedua fondasi tersebut sangat mempertimbangkan daya dukung ujung tiangnya serta friksinya. Berikut adalah Persamaan penurunan fondasi menurut Vesic (1977).

$$S_t = S_1 + S_2 + S_3 \dots \dots \dots 2.48$$

Dimana :

S = total penurunan (mm)

S_1 = akibat batang (mm)

S_2 = akibat beban di ujung (mm)

S_3 = akibat beban yang tersalurkan sepanjang selimut (mm)

Persamaan semi empiris untuk menentukan S_1 , S_2 dan S_3 adalah sebagai berikut :

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \varepsilon \times Q_{ws}) \times L}{E_b \times E_p} \dots \dots \dots 2.49$$

$$S_2 = \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p} \dots \dots \dots 2.50$$

$$S_3 = \frac{Q_{wp}}{P.L} \times \frac{D}{E_s} \times (1 - \mu_s^2) \times I_{ws} \dots \dots \dots 2.51$$

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} \dots \dots \dots 2.52$$

Dimana :

Q_{wp} = beban yang diterima ujung tiang (kN)

- Q_{ws} = bebain yang diterima selimut tiang (kN)
 L = panjang tiang (m)
 A_b = Luas peinampang tiang (m^2)
 E_p = modulus elastisitas tiang (MPa)
 ξ = 0,5 (diistribusi tahanan sepanjang tiang)
 q_p = tahanan ujung batas tiang (kN)
 C_p = koefisien empiris, dapat dilihat pada tabel 2.9

Tabel 2.9 Koefisien Empiris

Jenis Tanah	Tiang pancang	Tiang Bor
Sand (padat – lepas)	0.02 – 0.04	0.09 – 0.18
Clay (kaku - lunak)	0.02 – 0.03	0.03 – 0.06
Silty (padat – lepas)	0.03 – 0.05	0.09 – 0.12

(Sumber : Vesic, 1977)

Berikut Persamaan penurunan tiang kelompok :

$$S_g = S_t \sqrt{\frac{b'}{B}} \dots\dots\dots 2.53$$

Dimana :

S_g = Penurunan Kelompok Tiang (mm)

S_t = Penurunan Tiang Tunggal (mm)

b' = Lebar Kelompok Tiang (mm)

B = Diameter Fondasi (mm)

Dari hasil Persamaan diatas akan didapatkan nilai penurunannya, namun untuk lebih amanya harus diperhitungnya juga batasan izin untuk penurunan fondasi bored pile, berikut adalah Persamaannya :

$$S_{izin} = 10\% \times D \dots\dots\dots 2.54$$

Dimana D adalah diamter fondasi, dan hasil penuruna tidak boleh melebihi dari S_{izin} tersebut.

2.10 Waktu Penurunan

Waktu penurunan pada tanah harus diketahui untuk mengetahui solusi apa yang cocok untuk mempercepat penurunan tersebut, agar dalam pembangunan lebih aman dan tidak terjadi penurunan lagi. Salah satu cara untuk mempercepat penurunan adalah dengan menggunakan vertical drain. Berikut adalah rumus menghitung penurunan / *settlement* :

$$T = \frac{T_v \times H^2}{C_v} \dots\dots\dots 2.55$$

Dimana :

T = waktu penurunan

T_v = factor waktu (derajat konsolidasi rata-rata), pada tabel 2.10

H² = seluruh panjang lintasan fondasi (m)

C_v = derajat konsolidasi (0.0045 m² / dtk)

Tabel 2.10 Derajat konsolidasi

U _{av} (%)	T _v
0	0
10	0,008
20	0,031
30	0,071
40	0,126
50	0,197
60	0,403
70	0,197
80	0,567
90	0,0848
100	∞

(Sumber : Adi Mardani, 2014)

2.11 Perhitungan Penulangan

a. Penulangan *Pile Cap*

- Menghitung rasio tulangan

$$\frac{M_u}{b.d^2} = \rho \cdot 0,8 \cdot f_y \cdot (1 - 0,588 \frac{f_y}{f_{cr}}) \dots\dots\dots 2.56$$

$$pb = \frac{0,8 \cdot f_c'}{f_y} \beta_1 \frac{600}{600 + f_y}, \beta_1 = 0,85 \dots\dots\dots 2.57$$

$$p_{\max} = 0,7 \cdot pb \dots\dots\dots 2.58$$

$$p_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots 2.59$$

Syarat = $p_{\min} < p < p_{\max}$

- Menghitung luas tulangan

$$A_s = p \cdot b \cdot d_{\text{rencana}} \dots\dots\dots 2.60$$

- Menghitung diameter jarak dan tulangan

$$A_{s_{\text{tul}}} = \frac{1}{4} \cdot \Pi \cdot D^2 \dots\dots\dots 2.61$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan $A_s/A_{s_{\text{tul}}}$

$$S = \text{lebar } n / \text{tulangan} \dots\dots\dots 2.62$$

- Cek tinggi efektif ($d_{\text{pakai}} > d_{\text{rencana}}$)

$$D_{\text{pakai}} = h - \text{selimut beton} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan} \dots\dots\dots 2.63$$

- Kontrol terhadap pons 1 arah

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d, \text{ dengan } V_n \leq V_c \dots\dots\dots 2.64$$

$$\text{Maka, } \frac{V_u}{\phi} \leq \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \dots\dots\dots 2.65$$

Dimana :

B_w = lebar fondasi (m)

d = $h - d'$ (tinggi pelat – selimut beton) (m)

ϕ = 0,6

- Pons geser 2 arah

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_0} \right) 2 \times \sqrt{f_c'} \times b_0 \times d \dots\dots\dots 2.66$$

Dimana :

B_0 = $2(b_o + h_o)(m)$

β_0 = h/b , (sisi panjang / sisi pendek kolom)(m)

d = tinggi efektif (m)

b. Penulangan *bored pile* (Karim, 2020)

- Menghitung eksentrisitas penulangan

$$e = M_u / P_u \dots\dots\dots 2.67$$

- Menghitung gaya aksial nominal

$$P_n \text{ perlu} = \frac{P_u}{\phi} \dots\dots\dots 2.68$$

- Menghitung tulangan yang akan dibutuhkan

$$A_g = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \dots\dots\dots 2.69$$

$$A_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot p \cdot D^2 \dots\dots\dots 2.70$$

$$A_{s \text{ tul}} = \frac{1}{4} \times \pi \times D_{st}^2 \times n \dots\dots\dots 2.71$$

$$n = \frac{A_s}{A_{s \text{ tul}}} \dots\dots\dots 2.72$$

$$A_{st} = \frac{1}{4} \times \pi \times D_{st}^2 \times n \dots\dots\dots 2.73$$

Dimana :

A_g = luas penampang beton (mm^2)

A_{st} = luas tulangan (mm^2)

D = diameter fondasi (mm)

D_{st} = diameter tulangan (mm)

n = jumlah tulangan

$p = 0,0117$

- Perhitungan kekuatan beban aksial max

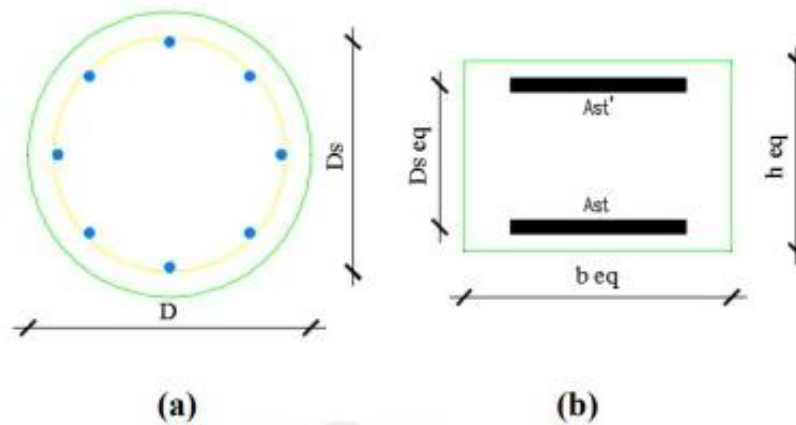
$$\phi P = 0,8 \cdot \phi (0,8 \times f_c' (A_g - A_{st})) + (f_y \times A_{st}) \dots\dots\dots 2.74$$

$$P_{n \text{ max}} = P / 0,8 > P_u \dots\dots\dots 2.75$$

- Perhitungan kekuatan penampang

$$H_{\text{ekiv}} = 0,8 h \dots\dots\dots 2.76$$

h adalah diameter kolom bulat



Gambar 2. 5 (A) Penampang Lingkaran , (B) Penampang Persegi

(<http://eprints.umm.ac.id>)

$$L_{ekiv} = \frac{1/4 \times \pi \times D^2}{H_{ekiv}} \dots\dots\dots 2.77$$

Luas penampang total As'

$$As' = As = 1/2 \times Ast \dots\dots\dots 2.78$$

$$d'_{kolom\ bundar} = \text{selimut beton} + 0,5D \text{ tulangan utama} + \text{Sengkang} \dots\dots\dots 2.79$$

$$Ds = D - 2d'_{kolom\ bundar} \dots\dots\dots 2.80$$

$$D_{seq} = 2/3 \times Ds \dots\dots\dots 2.81$$

$$d'_{ekuv} = h_{ekiv} - D_{seq} / 2 \dots\dots\dots 2.82$$

- Cek tegangan tekan

$$d'_{ekuv} = h_{ekiv} + \frac{h_{ekiv} - D_{seq}}{2} \dots\dots\dots 2.83$$

$$Cb = \frac{600}{600 + f_y} \times d_{ekiv} \dots\dots\dots 2.84$$

$$Ab = 0,85 \times Cb \dots\dots\dots 2.85$$

$$FS = \frac{0,003 \times Es \times (d_{ekiv} - Cb)}{d_{ekiv}} \dots\dots\dots 2.86$$

Batasnya adalah f_y rencana.

- Perhitungan axial balance

$$P_n = (0,85 \cdot f_c' \cdot Ab \cdot b) + (As' \cdot f_s') - (As \cdot f_y) \dots\dots\dots 2.87$$

$$\text{Syarat } \phi P_n \geq P$$

c. Perhitungan tulangan sengkang (Handri. Dkk, 2019)

- Menghitung $H_{ekivalen}$, sesuai dengan Persamaan

- Menghitung B_{min} , $b_{min} = A_g / h_{ekiv} \dots\dots\dots 2.88$

- Menghitung luas penampang (A_g) 2.89
- Menghitung luas penampang sengkang
 $A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times \text{jumlah Sengkang}$ 2.90
- Menghitung $V_{n \text{ perlu}} = V_u / 0,8$ 2.91
- Menghitung $V_c = \frac{1}{6} \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \times 0,85 \times f_c^{0,5} \times b_w \times d \right)$ 2.92
- Menghitung $V_s = V_{n \text{ perlu}} - V_c$ 2.93
- Menghitung $\phi V_c = V_c / 0.75$ 2.94

2.12 Pemodelan Menggunakan Software

Pada penyelesaian tugas akhir ini penulis akan menggunakan software SAP2000 V.14 dan software PLAXIS V 8.6. Berikut adalah penjelasannya.

a. SAP2000 V.14

Analisa pembebanan pada Proyek Pembangunan Gedung Fraksi DPRD Kudus diperhitungkan dengan menggunakan aplikasi SAP2000 V.14. Software SAP2000 V.14 merupakan program aplikasi yang akan digunakan untuk menghitung pembebanan pada struktur atas bangunan dalam perencanaan fondasi yang akan direncanakan.

Software ini dapat digunakan untuk merencanakan gedung, jembatan, tower, dll. Dan dalam merencanakannya dapat menggunakan material baja dan beton sesuai dengan kebutuhan. Program ini sudah lengkap dan mudah digunakan karena fitur-fitur di dalamnya sudah sesuai dengan apa yang ingin kita rencanakan. *Output* dari program ini berupa momen, gaya geser, serta gaya normal, maka dari output tersebut akan mendapatkan beban terbesar dari kolom-kolom perencanaan yang akan digunakan dalam perencanaan fondasi.

b. PLAXIS V.8.6

Plaxis merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis kestabilan tanah dengan mengaplikasikan elemen sehingga kita dapat

memperkirakan kejadian yang nyata. Dimana pada program ini menyediakan berbagai analisa yang dapat digunakan. Namun sayangnya program ini jarang dikenal oleh anak teknik sipil karena program ini digunakan untuk masalah geoteknik saja, tetapi dalam pekerjaan sipil juga tidak dapat terlepas pada masalah geoteknik, bisa berupa tanah ataupun batuan.

Perhitungan penurunan yang terjadi pada perencanaan fondasi akan dihitung secara manual dan dihitung menggunakan *software* *software* PLAXIS V 8.6. Dimana *software* ini merupakan program aplikasi analisa geoteknik yang dapat menganalisis kestabilan tanah. Program ini dapat menganalisa penurunan tanah, galian, tanggul, dan timbunan tanah. Pada perencanaan kali ini plaxis digunakan untuk menghitung penurunan yang terjadi pada perencanaan fondasi, dan dijadikan pembandingan dengan perhitungan manual.



BAB III METODOLOGI

3.2 Metode Persiapan

3.1.1 Pendahuluan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui beban fondasi menggunakan tipe fondasi tiang pancang persegi dan bored pile. Pada proyek Pembangunan Gedung Fraksi DPRD Kudus terletak di Jl. R. Agil Kusumadya No. 44, Getas, Getas Pejaten, Kec. Kota Kudus, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah 59343. Proyek Pembangunan Gedung Fraksi DPRD Kudus terdiri dari 4 Intai. Penyusunan tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisis beban bangunan dengan menggunakan aplikasi SAP 2000v.14. Hasil dari pemodelan di *software* SAP 2000v.14 akan mendapatkan beban terbesar pada bangunan serta reaksi- reaksi pada kolom dan balok akibat beban diatasnya. Untuk menghitung nilai penurunan fondasi menggunakan perhitungan manual dan *software* PLAXIS V 8.6.

3.1.2 Pengumpulan Data

Dalam penyusunan tugas akhir, setelah prosedur pengumpulan data sekunder berupa data Sondir dan gambar denah fondasi, yang digunakan sebagai perhitungan fondasi. Untuk pengujian data sondir ada dua titik. Berdasarkan dua titik uji sondir ditemukan letak kedalaman tanah keras ($q_c > 150 \text{ kg/cm}^2$). Berikut adalah data hasil dari titik uji sondir.

Tabel 3.1 Hasil Titik Uji Sondir

No	Titik	Kedalaman (m)	q_c (kg/cm^2)	JPH (kg/cm^2)	keterangan
1	S.1	20,00	175,00	1576,00	Ditemukan
2	S.2	20,00	38,00	1150,00	Tidak ditemukan

(Sumber : Dokumen CV. Daya Cipta Mandiri,2021)

3.1.3 Lokasi Proyek

Proyek Pembangunan Gedung Fraksi DPRD Kabupaten Kudus di Jl. R. Agil Kusumadya No. 44, Getas, Getas Pejaten, Kec. Kota Kudus, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah 59343.



Gambar 3. 1 Denah Lokasi Pembangunan Gedung Fraksi DPRD Kabupaten Kudus

3.1.4 Data Umum Proyek

Data-data umum pada Proyek Pembangunan Gedung Fraksi DPRD Kabupaten Kudus sebagai berikut :

Tabel 3.2 Data Umum Proyek

a.	Nama Proyek	:	Pembangunan Gedung Fraksi DPRD Kudus.
b .	Lokasi Proyek	:	Jl. R. Agil Kusumadya No. 44, Getas, Getas Pejaten, Kec. Kota Kudus, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah 59343
c.	Pemilik Proyek	:	Sekretariat DPRD Kudus
d.	Nilai Kontrak	:	Rp. 4.828.030.000,-
e.	Sumber Dana	:	Pemerintah Kabupaten Kudus

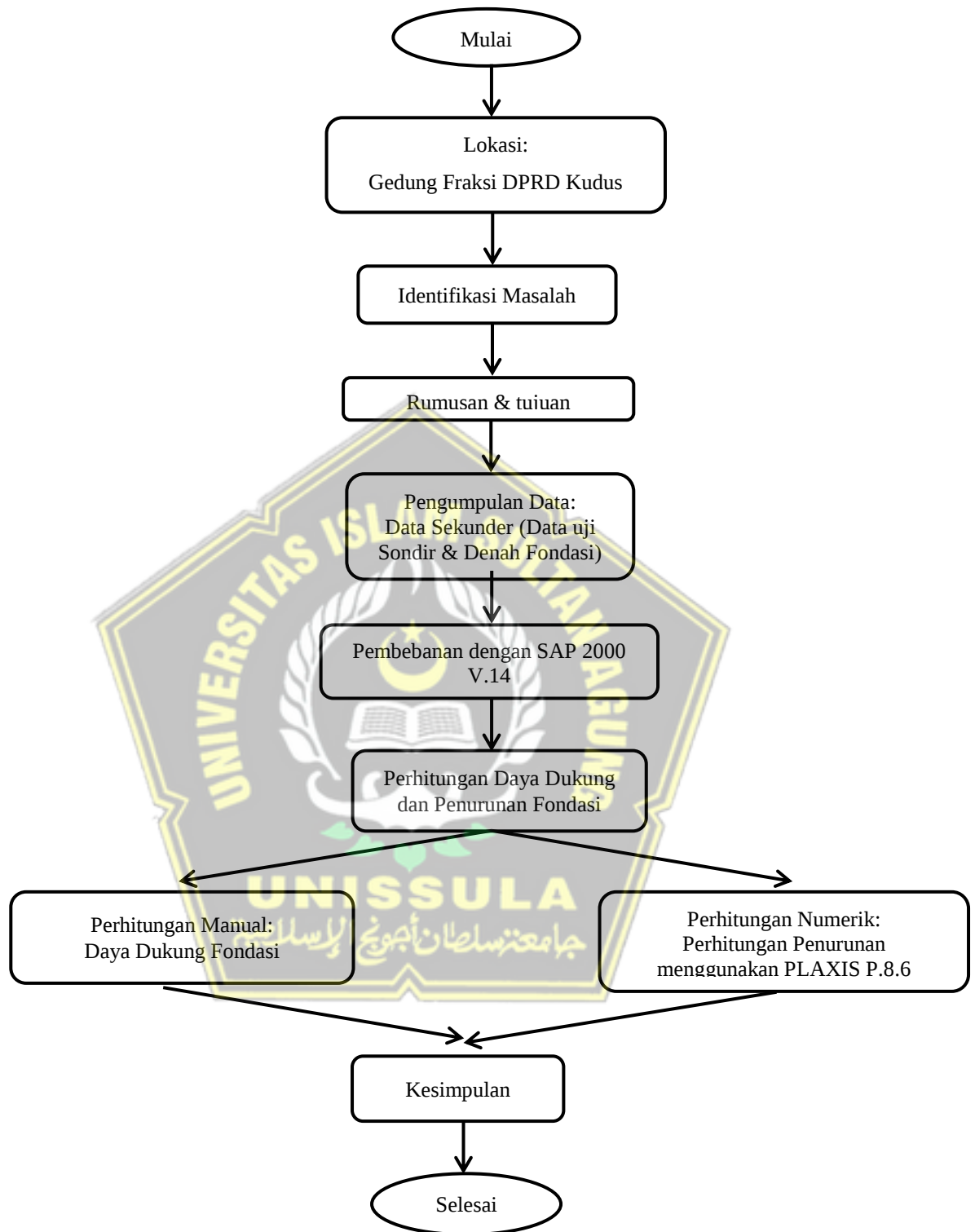
f.	Waktu Pelaksanaan	:	150 (Seratus lima Puluh) Hari Kalender
g.	Konsultan Perencana	:	CV. Daya Cipta Mandiri
h.	Konsultan Manajemen Konstruksi	:	CV. Weganda Sri Cahya
i.	Kontraktor Pelaksana	:	CV. Simpatik Karya Mandiri

Data-data spesifikasi tanah pada Pembangunan Gedung Fraksi DPRD Kabupaten Kudus sebagai berikut :

Tabel 3.3 Data Teknis

a.	Fondasi	:	Tiang pancang persegi K400
b.	Kolom	:	Beton Bertulang D 60x60 K300
c.	Balok	:	Beton Bertulang K300
d.	<i>Ring Balk</i>	:	Beton Bertulang K300
e.	Atap	:	Dak Beton Bertulang K300

3.2. Bagan Alir



3.3 Permodelan menggunakan Program SAP

Perhitungan beban bangunan menggunakan aplikasi SAP 2000 v.14. berikut langkah-langkahnya:

- a. Model frame 3D, *new model*, ganti satuan menjadi kN, m, C lalu klik 3D model.
- b. Mengatur koordinat, klik kanan, lalu klik *Edit Grid data*
- c. Lalu klik *define – materials - modify*
- d. Klik *define – section properties – frame section* –lalu pilih bahannya karena pakai beton jadinya pilih *concrete*.
- e. Lalu pilih bentuk sesuai kebutuhan dan klik *concreate reinforcemet*
- f. Untuk plat, klik *Define – section properties – area section – modify*
- g. Setelah bahan dan material ditentukan, lalu seleksi batang sesuai dengan tipe materialnya, *Assign – Frame Section*, lalu pilih propertisnya
- h. Klik *define – load pattrens* – lalu muncul dialognya, dan isi sesuai beban yang akan di input
- i. Selanjutnya membuat kombinasi beban yang akan digunakan berdasarkan SNI 1727 2013 : 11 :
 - 1.4 D
 - 1.2 D + 1.6 L
 - 1.2 D + L + RSX
 - 1.2 D + L + RSY
 - 0.9 D + RSX
 - 0.9 D + RSY
- j. Untuk pembebanan balok, seleksi dulu kemudian dibebani, klik *Assign- frameload – distriibuted*
- k. Untuk beban mati dan hidup tambahan pada plat, seleksi plat yang akan dibebani, klik *assign – area load – uniform to frame*
- l. Masukkan beban gempa respon spektrum sesuai data yang diambil dariwebsite http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia dan juga SNI 1726 : 2019. Caranya klik *define – funtions – respons*

spectrum- pilih IBC2006

m. Klik *define – load cases- modify RSX* dan *RS*

n. Setelah semua data di input, klik *Analyze – Run Analyze – ok*

3.4 Permodelan menggunakan Program Software Plaxis 8.2

Situasi yang terjadi di lapangan disimulasikan dengan program *Plaaxis* 8.2

Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan hasil perhitungan pada program

Plaaxis 8.2 sebagai cerminan dari kerja nyata di lapangan.

Tahapan pengerjaan pada program *plaxis* 8.2 meliputi:

Tahap 1 : *Plaxis 8.2* → *new file* → Input data

Tahap 2 : Pendefisian dan input parameter diantaranya meliputi parameter tanah, *vertical drain*, timbunan, perkerasan, dan *service load*.

Tahap 3 : Pembentukan *mesh* secara keseluruhan

Tahap 4 : *Instal condition*: menyatakan kondisi asli tanah perlapisan dan tinggi muka air tanah

Tahap 5 : Menonaktifkan timbunan tanah yang berada pada tanah asli

Tahap 6 : *K0* Prosedur → perbarui, kemudian hitung

Tahap 7 : Aktifkan timbunan tiap 1 m

Tahap 8 : Aktifkan timbunan tiap 2 m

Tahap 9 : Melakukan tahap 6 sampai tahap 8 sampai timbunan 33 m

Tahap 10 : Aktifkan perkerasan

Tahap 11 : Aktifkan pembebanan

Tahap 12 : Konsolidasi selama 1 tahun

Tahap 13 : Konsolidasi selama 3 tahun

Tahap 14 : Konsolidasi selama 10 tahun

Tahap 15: Perhitungan *safety fact*

3.5 Metode Perhitungan

3.5.1 Perhitungan Daya Dukung Ultimit Fondasi

Berdasarkan persamaan 2.1 dan 2.2

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$Q_{all} = Q_u / SF$$

3.5.2 Perhitungan Daya Dukung Fondasi Metode Meyerhoff

Berdasarkan Persamaan 2.6 (Meyerhof)

$$Q_a = (q_c \times A_b/3) + (JHP \times O/5)$$

3.5.3 Perhitungan Efisiensi Daya Dukung Fondasi

a. Tiang pancang persegi

Berdasarkan Persamaan 2.13 (Converse-Labare)

$$E_g = 1 - \left[\frac{(n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n}{90 \cdot m \cdot n} \right] \cdot \theta$$

b. Bored Pile

Berdasarkan Persamaan 2.29 (Converse-Labare)

$$\eta = 1 - \left[\frac{(n-1) + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n} \right] \times \theta$$

3.5.4 Menentukan Banyak Tiang Fondasi yang Dibutuhkan

Berdasarkan Persamaan 2.32

$$N_p = \frac{v}{Q_{tiang}}$$

3.5.5 Perhitungan Daya Dukung Lateral Metode Broms

Berdasarkan Persamaan 2.39 (Broms, 1964)

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

3.5.6 Perhitungan Waktu Penurunan

Berdasarkan Persamaan 2.55

$$T = \frac{T_v \times H^2}{C_v}$$

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

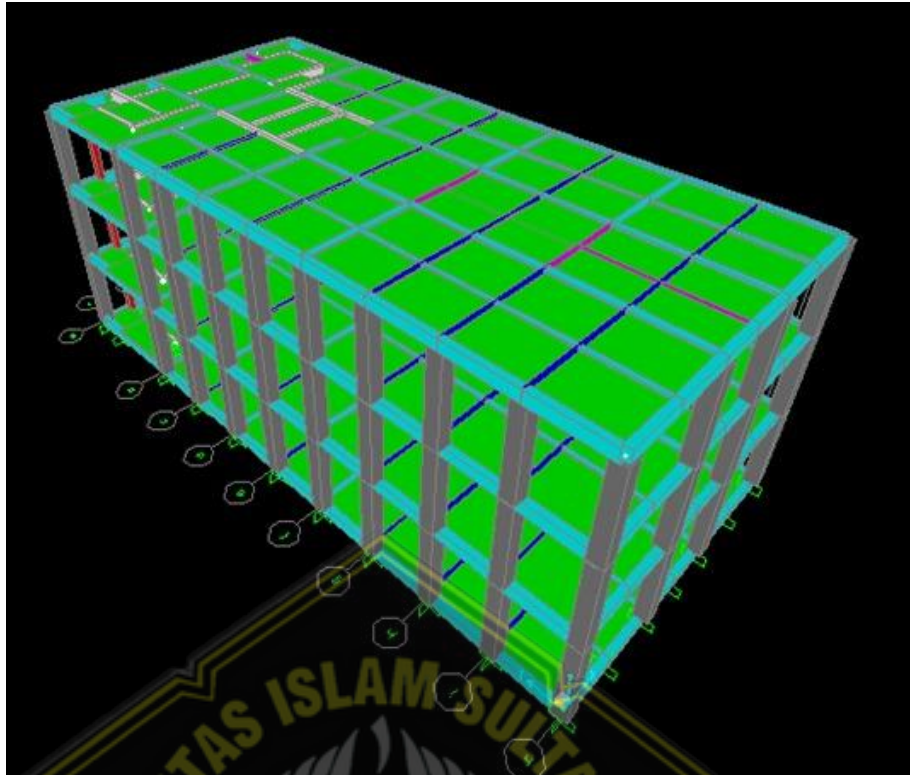
4.1 Tinjauan Umum

Bab ini berisi tentang analisis Data yang diperoleh sebagai hasil pemrosesan data real estat untuk pekerjaan konstruksi gedung Fraksi DPRD Kudus. Sebelumnya fondasi pada perencanaan proyek tersebut menggunakan minipile ukuran 20x20 cm. Sedangkan pada tugas akhir ini kami akan merencanakan ulang fondasi *tiang pancang persegi* dengan ukuran 50x50 cm dan *bored pile* dengan ukuran 50 cm. Data tersebut dibuat untuk menganalisa daya dukung dan penurunan fondasi dengan menggunakan data survey tanah berupa hasil uji sondir. Pada Perhitungan daya dukung fondasi menggunakan metode *meyerhoff* dan metode *Converse-labarre* untuk perhitungan daya dukung kelompok, perhitungan penurunan fondasi secara manual dengan metode *vesic* dan juga menggunakan *software* PLAXIS V.8.6.

Untuk mengetahui beban maksimum yang di topang oleh fondasi yang direncanakan, kami akan menggunakan perhitungan beban struktur dengan *software* SAP 2000. Yang mengacu pada SNI 1727-2020 mengenai beban minimum mengenai beban hidup gedung, SNI 1726-2019 mengenai beban gempa dan PPIUG 1983 tentang peraturan pembebanan untuk beban mati.

4.2 Design Struktur Atas dengan Software SAP 2000 v.14

Besar gaya pada struktur atas yang ada pada bangunan akan di design menggunakan *software* SAP 2000 v.14. Gaya yang didapat digunakan untuk perhitungan selanjutnya pada perencanaan fondasi *tiang pancang persegi* dan *bored pile*.



Gambar 4.1 Desain struktur atas aplikasi SAP v.14

4.3 Design dan Pembebanan Struktur

Berikut adalah data yang digunakan :

- Berat jenis beton bertulang = 24 kN/m^3
- Tebal plat lantai dan atap = 12 cm
- Mutu beton = K-300
- Mutu baja tulangan = $f_y 400 \text{ MPa}$

Berikut adalah beban mati yang digunakan mengacu PPIUG 1983

a. Beban mati plat lantai

- Pasir (1cm) = $0,01 \times 1600 \text{ kg/m}^3 = 16 \text{ kg / m}^2$
- Adukan semen (3cm) = $0,03 \times 21 \text{ kg/m}^3 = 0.63 \text{ kg / m}^2$

• Plat Lantai	= 2400 x 12	= 288 kg / m ²
• Keramik (1cm)	= 0,01 x 24 kg/m ³	= 0,24 kg / m ²
• ME	= 25 kg / m ²	= 25 kg / m ²
• Plafond & penggantung	= 18 kg / m ²	= 18 kg / m ²
TOTAL		= 347,87 kg / m²

b. Beban mati plat atap

• ME	= 25 kg/m ²	= 25 kg/m ²
• Plafond & penggantung	= 18 kg/m ²	= 18 kg/m ²
• Penutup Atap	= 40 kg/m ²	= 40 kg/m ²
TOTAL		= 83 kg/m²

Berikut adalah beban hidup yang digunakan mengacu pada SNI 1727-2020, terlihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Beban Hidup

Hunian	Merata (T/m ²)	Terpusat (T)
Gedung Perkantoran :		
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian lobi dan koridor lantai pertama	47,9	89,0
Kantor		
Koridor diatas lantai pertama	24,0	89,0
	38,3	89,0

(sumber : SNI 1727-2020)

Berikut adalah beban gempa yang digunakan mengacu pada SNI 1726 : 2019, dapat dilihat Tabel 4.2 hingga Tabel 4.6

Tabel 4.2 Kategori Resiko

Kegunaan	Kategori Resiko
Sema gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I, II, III, dan IV termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: ➤ Perumahan ➤ Rumah toko dan rumah kantor ➤ Pasar ➤ Gedung Perkantoran ➤ Gedung apartemen dan Rumah susun ➤ Pusat perbelanjaan mall ➤ Bangunan Industri ➤ Fasilitas manufaktur ➤ Pabrik	II

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 4.3 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa (Ie)
I / II	1
III	1.25
IV	1.5

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 4. 4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai S_{DS}

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} \leq 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} \leq 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber : SNI 1726 : 2019)

Tabel 4. 5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai S_{D1}

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{D1} \leq 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{D1} \leq 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{D1}$	D	D

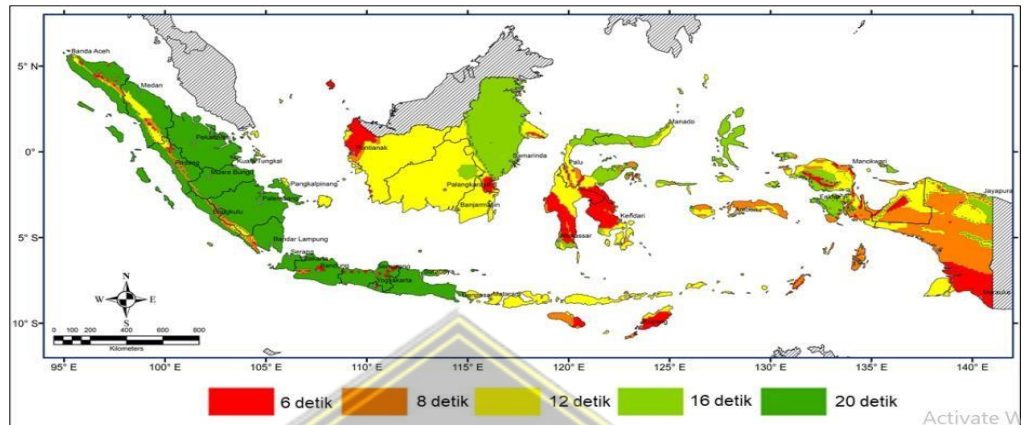
(Sumber : SNI 1726 : 2019)

Tabel 4.6 Faktor Reduksi Gempa

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons R^d	Faktor kuat leboh system Ω_0^e	Faktor pembesaran defleksi C_a^b	Batasan system struktur dan batasan tinggi struktur $h_n(m)^c$				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB

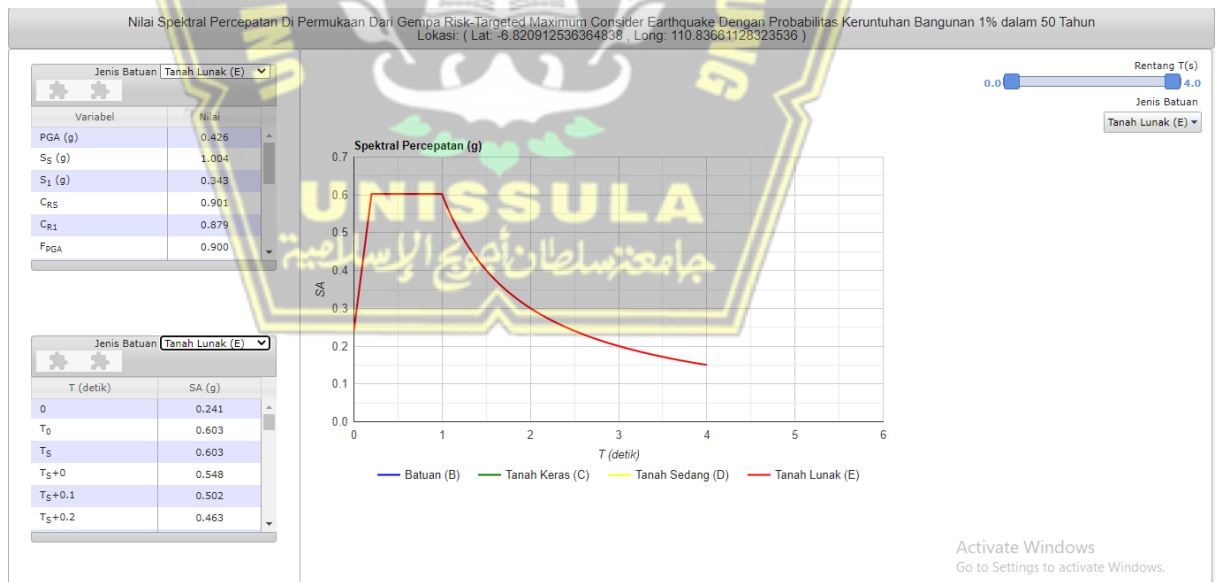
(Sumber : SNI 1726 : 2019)

Untuk menentukan periode gempa dapat dilihat pada Gambar 4.2 dengan menggunakan peta periode pada SNI 1726:2019, karena perencanaan ada di Kudus jadi menggunakan periode sebesar 6 detik.



Gambar 4.2 Peta Periode Gempa (SNI 1726 : 2019)

Untuk zona wilayah gempa didapatkan dari website : http://puskimm.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia, dan diperoleh pada Gambar 4.3



Gambar 4. 3 Nilai *Respon Spektrum*

(http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia)

Setelah semua data pembebanan dimasukkan pada SAP2000 v.14, maka didapatkan hasil *output joint reaction* dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Hasil *Output Joint Reaction*

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
60	0.9D + QY	Combination	-41,246	-123,873	2436,542	160,8597	-51,6843	-0,1409
64	1.2D + L + QX	Combination	-62,622	-138,977	3605,606	174,6237	-76,6144	-0,6131
64	1.2D + L + QY	Combination	-62,622	-138,977	3605,606	174,6237	-76,6144	-0,6131
64	1.2D + 1.6L	Combination	-59,153	-141,695	3651,722	178,0903	-65,9487	-0,6301
64	1.4D	Combination	-66,948	-156,75	4138,431	196,8257	-74,602	-0,7024
66	1.2D + L + QX	Combination	32,686	-167,598	2555,793	211,8381	46,4214	-0,2109
66	1.2D + L + QY	Combination	32,686	-167,598	2555,793	211,8381	46,4214	-0,2109
66	1.2D + 1.6L	Combination	36,613	-168,818	2583,341	213,3165	57,6764	-0,2143
60	1.2D + L + QY	Combination	-54,687	-167,157	3273,954	217,08	-66,3331	-0,1826
60	1.2D + L + QX	Combination	-54,687	-167,157	3273,954	217,08	-66,3331	-0,1826
60	1.2D + 1.6L	Combination	-52,007	-168,386	3283,922	218,7163	-56,711	-0,1722
66	1.4D	Combination	41,112	-193,047	2962,03	244,011	64,8643	-0,2157
60	1.4D	Combination	-59,307	-192,756	3780,119	250,3742	-64,6974	-0,2052
86	1.2D + L + QY	Combination	-22,986	5,259	3343,046	529,6364	-218,9092	-0,7024
86	1.2D + L + QX	Combination	-22,986	5,259	3343,046	529,6364	-218,9092	-0,7024
88	1.2D + L + QY	Combination	15,856	4,152	3324,55	532,9782	201,5403	-0,698
88	1.2D + L + QX	Combination	15,856	4,152	3324,55	532,9782	201,5403	-0,698
86	1.2D + 1.6L	Combination	-20,097	5,327	4183,998	855,7976	-320,498	-0,7145
88	1.2D + 1.6L	Combination	19,462	4,186	4162,109	859,2162	323,3691	-0,7092

Dari hasil output joint reaction software Sap2000 V.14 tabel 4.7 dihasilkan beban maksimum sebesar 859,2162 kN.

4.4 Analisa Daya Dukung Fondasi *Tiang pancang persegi*

Untuk menganalisis daya dukung fondasi *min pile* didapat Data fondasi *tiang pancang persegi* sebagai berikut:

Diameter (D) = 50 cm

Keliling (O) = $4 \times s$
 $= 4 \times 50$
 $= 200 \text{ cm}$

Luas Penampang (A) = $s \times s$
 $= 50 \times 50$
 $= 2.500 \text{ cm}$

Kedalaman = 11,4 m

Tabel 4. 8 data tanah

Kedalaman / Depth (m)	Conus Resistant (kg / cm ²)	Conus + Cleep Resistant (kg / cm ²)	Lokal Friction (kg / cm ²)	Total Friction (kg / cm)
10.8	9	11	2	498
11.0	65	75	10	518
11.2	100	115	15	548
11.4	110	125	15	578
11.6	50	58	8	594
11.8	22	27	5	604
12.0	30	38	8	620
12.2	40	50	10	640
12.4	50	60	10	660
12.6	48	57	9	678
12.8	55	65	10	698
13.0	35	42	7	712
13.2	37	44	7	726
13.4	55	65	10	746
13.6	60	75	15	776
13.8	33	40	7	790
14.0	20	25	5	800
14.2	23	30	7	814
14.4	32	40	8	830
14.6	19	24	5	840
14.8	16	20	4	848
15.0	15	19	4	856
15.2	25	30	5	866
15.4	28	35	7	880
15.6	37	43	6	892
15.8	43	54	11	914
16.0	60	70	10	934

4.4.1 Daya Dukung Fondasi *Tiang pancang persegi* Metode Mayerhoft (1976)

Untuk menghitung daya dukung fondasi *tiang pancang persegi* Metode Mayerhoft (1976) dengan kedalaman tanah 11,4 m, berdasarkan Persamaan (2.6) adalah sebagai berikut :

- ❖ Perhitungan daya dukung ujung tiang berdasarkan Persamaan (2.6)

$$\begin{aligned}
 Q_p &= q_c \times A_b/3 \\
 &= 110 \times 2.500/3 \\
 &= 91.666,67 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

- ❖ Perhitungan daya dukung selimut fondasi *tiang pancang persegi* berdasarkan Persamaan (2.6)

$$\begin{aligned}
 Q_s &= JHP \times O/5 \\
 &= 112 \times 200/5 \\
 &= 4.480 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- ❖ Perhitungan daya dukung ultimat fondasi berdasarkan Persamaan (2.1)

$$\begin{aligned}
 Q_u &= Q_p + Q_s \\
 &= 91.666,67 + 4.480 \\
 &= 96.146,67 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan daya dukung fondasi metode Mayerhoff selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.8 di bawah ini.

Tabel 4. 9 Hasil Daya Dukung Fondasi *Tiang pancang persegi* Metode Mayerhoff

Dept	Qc	Ab	O	JHP	Qb(kg)	QS (kg)	Qult (kg)	Qult (t)
0	0	2500	200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	14	2500	200	12,00	11666,67	480,0	12146,67	12,14667
6	13	2500	200	58,00	10833,33	2320,0	13153,33	13,15333
11,4	110	2500	200	112,00	91666,67	4480,0	96146,67	96,14667

4.4.2 Perhitungan Jarak Antar Fondasi *Tiang pancang persegi* dan Jarak As ke Tepi

Perhitungan jarak antar fondasi *tiang pancang persegi* berdasarkan Persamaan (2.11) adalah sebagai berikut :

$$S \geq 3D = 3 \cdot 0,5 = 1,5 \text{ m}$$

4.4.3 Kebutuhan Jumlah Fondasi *Tiang pancang persegi*

Untuk menentukan banyaknya fondasi yang dibutuhkan dalam kelompok tiang berdasarkan Persamaan (2.10) adalah sebagai berikut :

$$\text{Beban (p)} = 859,216 \text{ Kn} = 87,6156 \text{ t}$$

$$n = \frac{p}{Q_{ijin}} = \frac{87,6156}{38,4586} = 2,2781 \text{ dibulatkan menjadi 3 buah}$$

4.4.4 Efisiensi Daya Dukung Tiang

Perhitungan efisiensi daya dukung tiang dengan menggunakan metode Converse-Labarre berdasarkan Persamaan (2.13) adalah sebagai berikut:

Perhitungan efisiensi tiang dengan jumlah rencana 3 buah

$$\theta = \text{Arc tan} \frac{D}{S} = \text{Arc} \frac{0,5}{1,5} = 18,43$$

$$n = 2 ; m = 2$$

$$Eg = 1 - \left[\frac{(n-1).m + (m-1).n}{90.m.n} \right] . \theta$$

$$= 1 - \left[\frac{(2-1).2 + (2-1).2}{90.2.2} \right] . 18,43$$

$$= 0,79 = 79 \%$$

$$Qg = n . q_{ijin} \times Eg$$

$$= 3 . 38,45867 \times 0,79$$

$$= 91,7432 \text{ t}$$

Didapatkan $P (87,6156 \text{ t}) \leq Qg (91,7432 \text{ t})$, maka **AMAN**

4.4.5 Penurunan Tiang Tunggal

Perhitungan penurunan tiang tunggal menurut Vesic, berdasarkan Persamaan (2.48), adalah sebagai berikut:

$$Fc' = 24,9 \text{ kN}$$

$$\text{Beban yang diterima ujung tiang (Qwp)} = 91,67 \text{ kN}$$

$$\text{Beban yang diterima selimut tiang (Qws)} = 4,48 \text{ kN}$$

$$\text{Modulus elastisitas tiang (Ep)} = 23452,95 \text{ MPa} = 2345295 \text{ t}$$

$$\text{Distribusi tahanan sepanjang tiang (\epsilon)} = 0,5$$

$$\text{Tahanan ujung batas tiang (Qp)} = 366,6667 \text{ t}$$

$$\text{Koefisien empiris (Cp)} = 0,02$$

$$\text{Diameter tiang (D)} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Panjang tiang (L)} = 11,4 \text{ m}$$

$$Eb = 0,25 \text{ m}$$

Es	= 50000
Kapasitas tahanan ultimit (Qs)	= 4,48
Iws	= 3,432
P	= 2

Berikut adalah perhitungan penurunan fondasi akibat batang berdasarkan Persamaan (2.49)

$$S1 = \frac{(Qwp + \varepsilon \times Qws) \times L}{Eb \times Ep} = \frac{(91,67 + 0,5 \times 4,48) 11,5}{0,25 \times 2345295} = 0,0018258$$

Berikut adalah perhitungan penurunan fondasi akibat beban di ujung, berdasarkan Persamaan (2.50)

$$S2 = \frac{Qwp \times Cp}{D \times qp} = \frac{91,67 \times 0,02}{0,5 \times 366,6667} = 0,01$$

$$Iws = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{11,4}{0,5}} = 3,432$$

Berikut adalah perhitungan penurunan fondasi akibat beban yang disalurkan sepanjang selimut, berdasarkan Persamaan (2.51)

$$S3 = \frac{Qwp}{P \cdot L} \times \frac{D}{Es} \times (1 - \mu s^2) \times Iws$$

$$= \frac{91,67}{2 \times 11,4} \times \frac{0,5}{50000} \times (1 - 0,2^2) \times 3,432 = 0,000006474$$

Untuk perhitungan total penurunan, berdasarkan Persamaan (2.48) adalah sebagai berikut :

$$St = S1 + S2 + S3$$

$$= 0,0018258 + 0,01 + 0,000006474$$

$$= 0,01189059 \text{ m} = 1,1 \text{ cm}$$

Penurunan yang diizinkan adalah $S_{izin} = 10\% \times D = 10\% \times 50 = 5 \text{ cm}$

Maka penurunan total tiang total tunggal **AMAN**, karena $1,1 < 5 \text{ cm}$

4.4.6 Penurunan Kelompok Tiang

Perhitungan penurunan kelompok tiang fondasi *tiang pancang persegi* menurut

Persamaan (2.53) adalah sebagai berikut :

$$Sg = St \sqrt{\frac{b'}{B}} = 1,1 \sqrt{\frac{2,5}{0,5}} = 2,65 \text{ cm}$$

4.4.7 Waktu Penurunan Tanah Fondasi *Tiang pancang persegi*

Perhitungan penurunan tanah pada fondasi tiang pancang persegi, berdasarkan

Persamaan (2.55) adalah sebagai berikut:

$$\text{Faktor waktu (Tv)} = 0,0848$$

$$\text{Derajat konsolidasi (Cv)} = 0,0045$$

$$T = \frac{Tv \times H^2}{Cv} = \frac{0,0848 \times 11,4^2}{0,0045} = 24490,24 \text{ jam} = 2,795 \text{ tahun}$$

Jadi, waktu penurunan fondasi *tiang pancang persegi* adalah selama 2,795 tahun.

4.4.8 Perhitungan Daya Dukung Lateral Fondasi *Tiang pancang persegi*

Perhitungan daya dukung lateral fondasi *tiang pancang persegi* berdasarkan

Persamaan (2.46) adalah sebagai berikut :

Diketahui :

$$V = 1,6 \text{ t} = 15,69 \text{ kN/m}^3$$

$$\Theta = 28,32^\circ$$

$$kp = \frac{1}{ka} = \frac{1}{\tan(45 \frac{\Theta}{2})} = \frac{1}{\tan(45 \frac{28,32}{2})} = \frac{1}{0,4125} = 2,42$$

$$Fc' = 24,9 \text{ Mpa}$$

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

$$nh = 150 \text{ kN/m}^3$$

$$L = 11,4 \text{ m}$$

- ❖ Untuk mengecek kekakuan tiang fondasi *tiang pancang persegi*, berdasarkan Persamaan (2.33) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} E &= 4700 \times \sqrt{fc} \\ &= 4700 \times \sqrt{24,9} \end{aligned}$$

$$= 23452,95 \text{ kN/m}^3$$

- ❖ Berikut adalah perhitungan kekakuan tiang fondasi, berdasarkan Persamaan (2.34)

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{6} \times \pi \times D^4 \\ &= \frac{1}{6} \times 3,14 \times 0,5^2 \\ &= 0,032708 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

- ❖ Faktor kekakuan R dan T

Berikut adalah perhitungan faktor kekakuan pada tanah granular, berdasarkan Persamaan (2.36) dan (2.37)

$$\begin{aligned} T &= \sqrt[5]{\frac{Ep \times lp}{nh}} \\ &= \sqrt[5]{\frac{23452,95 \times 0,02708}{n150}} \\ &= 1,385 \text{ m} \\ 4T &= 4 \times T \\ &= 4 \times 1,385 \\ &= 5,543 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan, $L (11,4 \text{ m}) > 4T (5,543 \text{ m})$, sehingga tiang fondasi merupakan tiang fondasi panjang elastis.

- ❖ Cek keruntuhan tanah

Untuk mengecek Perhitungan keruntuhan tanah berdasarkan Persamaan (2.38) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_{\max} &= D \times \gamma \times L^3 \times K_p \\ &= 0,5 \times 15,69 \times 11,4^3 \times 2,423 \\ &= 28172,5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- ❖ Karena pada tiang fondasi panjang dan ujung jepit, $M_{\max} > M_y$, dan asumsi $M_y = 1500 \text{ kN/m}$. Sedangkan untuk perhitungannya sesuai dengan Persamaan (2.40) adalah sebagai berikut:

- Berikut adalah perhitungan jarak kedalaman titik dimana gaya geser=0 (m), berdasarkan Persamaan (2.40)

$$\begin{aligned}
 f &= 0,82 \sqrt{\frac{Hu}{d \times k_p \times \gamma}} \\
 &= 0,82 \sqrt{\frac{Hu}{0,5 \times 2,423 \times 15,69}} \\
 &= 0,188 \sqrt{hu}
 \end{aligned}$$

- Berikut adalah perhitungan daya dukung lateral tiang, berdasarkan Persamaan (2.39)

$$\begin{aligned}
 H_u &= \frac{2My}{e + \frac{2f}{3}} \\
 &= \frac{2 \times 1500}{0 + \frac{2(0,188\sqrt{hu})}{3}} \\
 &= 830,56 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

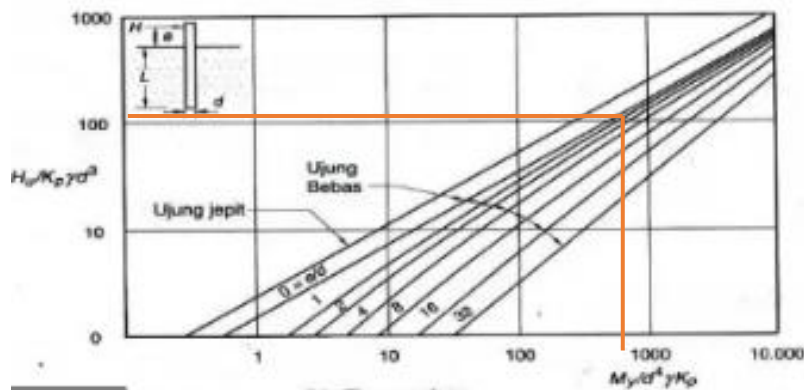
- Berikut adalah perhitungan daya dukung lateral izin tiang, berdasarkan Persamaan (2.41)

$$\begin{aligned}
 H_{izin} &= \frac{H_u}{sf} = \frac{830,56}{2,5} \\
 &= 332,224 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- ❖ Daya dukung ultimit fondasi *tiang pancang persegi* terhadap gaya lateral berdasarkan grafik. Dibawah ini adalah perhitungan daya dukung ultimit fondasi *tiang pancang persegi*:

$$\begin{aligned}
 \text{Tahanan momen ultimit} &= \frac{My}{D^4 \times \gamma \times K_p} \\
 &= \frac{1500}{0,5^4 \times 15,69 \times 2,423} \\
 &= 631 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Nilai tahanan ultimit didapatkan 631 kN, lalu di input ke dalam grafik, dilihat pada Gambar 4.4 didapat sebesar 185.



Gambar 4.4 Tahanan Ultimit Fondasi *Tiang pancang persegi*

$$185 = \frac{Hu}{Kp \times \gamma \times D^3}$$

$$Hu = 185 \times 2,423 \times 15,69 \times 0,5^3$$

$$= 879,14 \text{ kN}$$

4.5 Analisa Daya Dukung Fondasi *Bored Pile*

Berikut adalah Data untuk perhitungan fondasi *bored pile* :

$$\text{Diameter (D)} = 50 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Keliling (P)} &= \pi \cdot D \\ &= 3,14 \cdot 0,50 \\ &= 1,57 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{luas Penampang (Ap)} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= 0,19625 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Kedalaman} = 11,4 \text{ m}$$

4.5.1 Daya Dukung Fondasi *Bored Pile* Metode Mayerhoff

Untuk perhitungan Daya dukung tanah kedalaman 11,4 m, berdasarkan Persamaan (2.6) adalah sebagai berikut :

- ❖ Perhitungan daya dukung ujung tiang berdasarkan Persamaan (2.6)

$$Qp = qc \times Ab/3$$

$$= \frac{110 \cdot 1962,5}{3}$$

$$= 71958,33 \text{ Kg}$$

- ❖ Perhitungan daya dukung selimut fondasi *tiang pancang persegi* berdasarkan Persamaan (2.6)

$$Q_s = JHP \times O/5$$

$$= 112 \times 157/5$$

$$= 3516,8 \text{ Kg}$$

- ❖ Perhitungan daya dukung ultimat fondasi berdasarkan Persamaan (2.1)

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$= 71958,33 + 18149,2$$

$$= 75475,13 \text{ Kg}$$

Untuk hasil perhitungan daya dukung fondasi *bored pile* selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.9 di bawah ini.

Tabel 4.10 Hasil Daya Dukung Fondasi Bored Pile Metodee Mayerhoff

Dept	Qc	Ap	JHL	Kll	Qu
0	0	1962,50	0,00	157,00	0,00
2	14	1962,50	12,00	157,00	9535,13
6	13	1962,50	58,00	157,00	10325,37
11,4	110	1962,50	112,00	157,00	75475,13

4.5.2 Perhitungan Jarak Antar Fondasi *Bored Pile* Dan Jarak As Ke Tepi

Untuk menentukan jarak antar fondasi *bored pile* dapat digunakan rumus berdasarkan Persamaan (2.11)

$$S \geq 3D = 3 \cdot 0,50 = 1,50 \text{ m}$$

4.5.3 Kebutuhan Jumlah Fondasi *Bored Pile*

Untuk menentukan banyakNya fondasi *bored pile* yang dibutuhkan dalam kelompok tiang berdasarkan Persamaan (2.32) adalah sebagai berikut:

$$Np = \frac{p}{Q_{ijin}} = \frac{87,6156}{30,19005} = 2,902135 \text{ dibulatkan menjadi 3 buah.}$$

4.5.4 Efisiensi Daya Dukung Tiang

Berikut adalah perhitungan Efisiensi daya dukung tiang fondasi menggunakan metode Coverse-Labarre berdasarkan Persamaan (2.29)

$$\theta = \text{Arc tan } \frac{D}{S} = \text{Arc } \frac{0,5}{1,5} = 18,43$$

$$n = 3; m = 1$$

$$\eta = 1 - \left[\frac{(n-1).m + (m-1).n}{90.m.n} \right] . \theta$$

$$\eta = 1 - \left[\frac{(3-1).1 + (1-1).3}{90.1.3} \right] . 18,43$$

$$= 0,89$$

$$Qg = Np \times q_{all} \times \eta$$

$$= 3 \times 30,19005 \times 0,89$$

$$= 90,57016 \text{ t}$$

Didapatkan $V (90,57016 \text{ Ton}) \leq Qg (97,054 \text{ Ton})$, maka **AMAN**

4.5.5 Penurunan Tiang Tunggal

Berikut adalah Perhitungan penurunan tiang tunggal menurut Vesic, berdasarkan Persamaan (2.48)

F_c'	= 24,9 kN
Beban yang diterima ujung tiang (Q_{wp})	= 71,96 kN
Beban yang diterima selimut tiang (Q_{ws})	= 18,15kN
Modulus elastisitas tiang (E_p)	= 23452952,21 t
Distribusi tahanan sepanjang tiang (ϵ)	= 0,5
Tahanan ujung batas tiang (Q_p)	= 1,59 = 0,159
Koefisien empiris (C_p)	= 0,03
Panjang tiang (L)	= 11,4 m
E_s	= 50000
I_{ws}	= 10,86667

Berikut adalah perhitungan penurunan fondasi akibat batang berdasarkan Persamaan (2.49)

$$S1 = \frac{(Qwp + \varepsilon \times Qws) \times L}{Eb \times Ep} = \frac{(71,96 + 0,5 \times 18,15) 11,4}{1962,500 \cdot 23452952,21} = 0,00001601 \text{ cm}$$

Berikut adalah perhitungan penurunan fondasi akibat beban di ujung, berdasarkan Persamaan (2.50)

$$S2 = \frac{Qwp \times Cp}{D \times qp} = \frac{71,96 \times 0,03}{5 \times 0,143283158} = 1,5550 \text{ cm}$$

Berikut adalah perhitungan penurunan fondasi akibat beban yang disalurkan sepanjang selimut, berdasarkan Persamaan (2.51)

$$S3 = \frac{Qwp}{P.L} \times \frac{D}{Es} \times (1 - \mu_s^2) \times lws = \frac{71,96}{1,57 \times 11,4} \times \frac{0,5}{50000} \times (1 - 0,2^2) \times 10,86667 = 0,003775 \text{ cm}$$

Untuk perhitungan total penurunan, berdasarkan Persamaan (2.48) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} St &= S1 + S2 + S3 \\ &= 0,00001601 + 1,5550 + 0,003775 \\ &= 1,55 \text{ cm} \end{aligned}$$

Penurunan yang diizinkan adalah $S_{izin} = 10\% \times D = 10\% \times 50 = 5 \text{ cm}$

Maka penurunan total tiang total tunggal AMAN, karena $1,55 \text{ cm} < 5 \text{ cm}$

4.5.6 Penurunan Kelompok Tiang

Untuk menentukan perhitungan penurunan kelompok tiang *bored pile* digunakan Persamaan (2.53), adalah sebagai berikut :

$$Sg = St \sqrt{\frac{b'}{B}} = 1,55 \sqrt{\frac{2,5}{0,5}} = 3,48 \text{ cm}$$

4.5.7 Waktu Penurunan Tanah Fondasi Bored Pile

Berikut adalah perhitungan Penurunan tanah pada fondasi *bored pile*, berdasarkan Persamaan (2.55)

Factor waktu (T_v) = 0,863

Derajat konsolidasi (C_v) = 0,0045

$$T = \frac{T_v \times H^2}{C_v} = \frac{0,848 \times 11,4^2}{0,0045} = 24490,24 \text{ jam} = 2,795 \text{ tahun}$$

Jadi, waktu penurunannya adalah selama 2,795 tahun.

4.5.8 Perhitungan Daya Dukung Lateral Fondasi *Bored Pile*

Perhitungan daya dukung lateral fondasi *bored pile* berdasarkan Persamaan (2.46) adalah sebagai berikut :

Diketahui :

$$\gamma = 1,6 \text{ t} = 15,69 \text{ kN/m}^3$$

$$\Theta = 28,32^\circ$$

$$k_p = \frac{1}{ka} = \frac{1}{\tan(45 \frac{\Theta}{2})} = \frac{1}{\tan(45 \frac{28,32}{2})} = \frac{1}{0,4125} = 2,42$$

$$f_c' = 24,9 \text{ Mpa}$$

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

$$\gamma_h = 150 \text{ kN/m}^3$$

$$L = 11,4 \text{ m}$$

- ❖ Untuk mengecek kekakuan tiang fondasi *bored pile*, berdasarkan Persamaan (2.33), adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} E &= 4700 \times \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \times \sqrt{24,9} \\ &= 23452,95 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

- ❖ Untuk menentukan Kekakuan tiang fondasi, berdasarkan Persamaan (2.34), adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{6} \times \pi \times D^4 \\ &= \frac{1}{6} \times 3,14 \times 0,5^4 \\ &= 0,032708 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

- ❖ Faktor kekakuan R dan T

Untuk menghitung Faktor kekakuan pada tanah granular, berdasarkan Persamaan (2.36) dan (2.37), adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
T &= \sqrt[5]{\frac{Ep \times lp}{nh}} \\
&= \sqrt[5]{\frac{23452,95 \times 0,03708}{n150}} \\
&= 1,385 \text{ m} \\
4T &= 4 \times T \\
&= 4 \times 1,385 \\
&= 5,543 \text{ m}
\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan, $L (11,4 \text{ m}) > 4T (5,543 \text{ m})$, sehingga tiang fondasi merupakan tiang fondasi panjang elastis.

❖ Cek keruntuhan tanah

Untuk menentukan perhitungan keruntuhan tanah berdasarkan Persamaan (2.38), adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
M_{\max} &= D \times V \times L^3 \times K_p \\
&= 0,5 \times 15,69 \times 11,4^3 \times 2,423 \\
&= 28172,5 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

❖ Karena pada tiang fondasi panjang dan ujung jepit, $M_{\max} > M_y$, dan asumsi $M_y = 1500 \text{ kN/m}$. Sedangkan untuk perhitungannya sesuai dengan Persamaan (2.40), adalah sebagai berikut:

- Berikut adalah perhitungan jarak kedalaman titik dimana gaya geser=0 (m), berdasarkan Persamaan (2.40)

$$\begin{aligned}
f &= 0,82 \sqrt{\frac{Hu}{d \times kp \times v}} \\
&= 0,82 \sqrt{\frac{Hu}{0,5 \times 2,423 \times 15,69}} \\
&= 0,188 \sqrt{hu}
\end{aligned}$$

- Berikut adalah perhitungan daya dukung lateral tiang, berdasarkan Persamaan (2.39)

$$\begin{aligned}
Hu &= \frac{2My}{e + \frac{2f}{3}} \\
&= \frac{2 \times 1500}{0 + \frac{2(0,188\sqrt{hu})}{3}} \\
&= 830,56 \text{ kN}
\end{aligned}$$

- Berikut adalah perhitungan daya dukung lateral izin tiang, berdasarkan Persamaan (2.41)

$$H_{izin} = \frac{Hu}{sf} = \frac{895,23}{2,5}$$

$$= 332,224 \text{ kN}$$

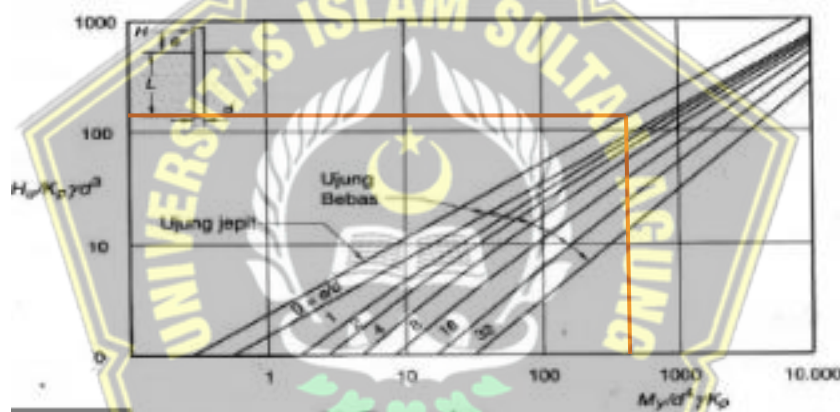
- ❖ Daya dukung ultimit fondasi *bored pile* terhadap gaya lateral berdasarkan grafik.

$$\text{Tahanan momen ultimit} = \frac{My}{D^4 \times \gamma \times Kp}$$

$$= \frac{1500}{0,5^4 \times 15,69 \times 2,423}$$

$$= 631 \text{ kN}$$

Nilai tahanan ultimit didapatkan 631 kN, lalu di input ke dalam grafik, dilihat pada Gambar 4.4 didapat sebesar 184.



Gambar 4.5 Tahanan Ultimit Fondasi Bored Pile

$$184 = \frac{Hu}{Kp \times \gamma \times D^3}$$

$$Hu = 187 \times 2,423 \times 15,69 \times 0,5^3$$

$$= 874,79 \text{ Kn}$$

4.6 Penurunan Fondasi Menggunakan Software PLAXIS 8.6

dapat Software PLAXIS ini digunakan untuk membuat pemodelan fondasi bore pile untuk mengetahui besarnya penurunan fondasi bored pile akibat beban aksial yang diterima. Berikut adalah data yang digunakan untuk permodelan pada program plaxis untuk merencanakan fondasi dilihat pada tabel 4.11

Tabel 4.11

Tabel 4.11 Parameter Tanah korelasi dengan N-SPT gedung fraksi DPRD Kudus

Dept.	N SPT	Deskripsi	Konsistensi	E (KN/m ²)	C (KN/m ²)	φ (phi)	kx (m/s)	ky (m/s)	V	γ dry (KN/M ³)	γ sat (KN/m ³)
0-4	7	Clays	Medium	7000	10	25	1.10E-07	1.10E-07	0.3	14	16
4-5	21	Silts clay	Stiff	21000	45	30	1.10E-05	1.10E-05	0.3	13	18
5-11	15	Clays	Medium	15000	25	25	1.10E-07	1.10E-07	0.3	14	16
11-14	17	Silts clay	Stiff	17000	45	30	1.10E-05	1.10E-05	0.3	13	18
14-15	11	Clays	Medium	11000	25	25	1.10E-07	1.10E-07	0.3	14	16
15-20	21	Silts clay	Stiff	21000	45	30	1.10E-05	1.10E-05	0.3	13	18

(Sumber : Das (1985))

Untuk melanjutkan permodelan fondasi *bored pile* pada plaxis V 8.6, digunakan data-data sebagai berikut :

$$E = 4700\sqrt{fc} = 4700 \sqrt{24,9} = 23452950 \text{ m}$$

$$I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 = \frac{1}{2} \cdot 2400 \cdot 0,25^2 = 75 \text{ m}$$

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

$$EA = 23452950 \times 0,196 = 4596778,2 \text{ kN/m}$$

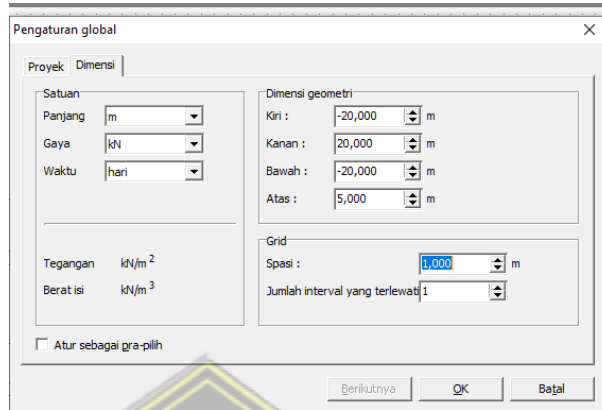
$$EI = 23452950 \times 0,196 = 1758971250 \text{ kN/m}$$

❖ Berikut langkah-langkah untuk perhitungan penurunan fondasi tiang tunggal menggunakan *software* PLAXIS V 8.6 :

1. Untuk tahap pertama input data menggunakan *software* PLAXIS V 8.6 dengan menentukan judul dan satuan, dapat dilihat pada gambar 4.6

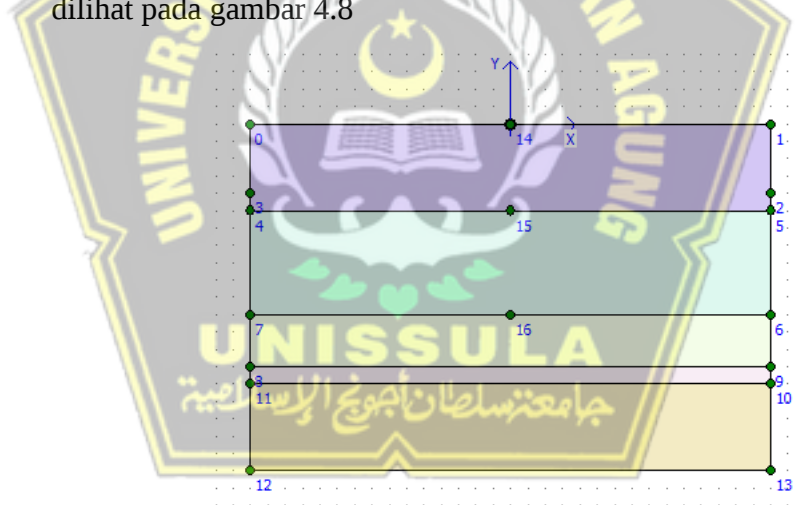
Gambar 4. 6 *General Setting*

2. Kemudian input data dimensi sesuai dengan fondasi yang direncanakan, dapat dilihat pada gambar 4.7



Gambar 4. 7 *General Setting*

3. Selanjutnya, klik  untuk mengatur permodelan kontur, dapat dilihat pada gambar 4.8



Gambar 4. 8 Permodelan Kontur Tanah

4. Lalu klik  untuk menentukan material tanah sesuai data yang digunakan, dilihat pada gambar 4.9 hingga gambar 4.11

Mohr-Coulomb - clays (0-4)

Umum | Parameter | Antarmuka

Kumpulan material

Identifikasi: clays (0-4)

Model material: Mohr-Coulomb

Jenis material: Tak terdrainase

Sifat umum

γ_{unsat} : 14,000 kN/m³

γ_{sat} : 16,000 kN/m³

Permeabilitas

k_x : 9,504E-03 m/hari

k_y : 9,504E-03 m/hari

Tingkat lanjut...

SoilTest Berikutnya OK Batjal

Gambar 4. 9 Data Umum Tanah

Mohr-Coulomb - clays (0-4)

Umum | Parameter | Antarmuka

Kekakuan

E_{ref} : 2000,000 kN/m²

ν (nu): 0,300

Alternatif

G_{ref} : 2692,308 kN/m²

E_{oed} : 9423,000 kN/m²

Kekuatan

C_{ref} : 10,000 kN/m²

ϕ (phi): 25,000 °

ψ (psi): 0,000 °

Kecepatan

V_s : 43,410 m/dtk

V_p : 81,220 m/dtk

Tingkat lanjut...

SoilTest Berikutnya OK Batjal

Gambar 4. 10 Mohr Coulomb

Mohr-Coulomb - clays (0-4)

Umum | Parameter | Antarmuka

Kekakuan

☒ Kekui

☐ Manual

R_{inter} : 1,000

Tebal antarmuka sebenarnya

δ_{inter} : 0,000

Tingkat lanjut...

SoilTest Berikutnya OK Batjal

Gambar 4. 11 Mohr Coulomb

- Setelah input data material tanah,selanjutnya input data material fondasi sesuai dengan data yang digunakan, sesuai gambar 4.12

Sifat pelat

Kumpulan material
 Identifikasi: pondasi
 Jenis material: Elastis

Komentar

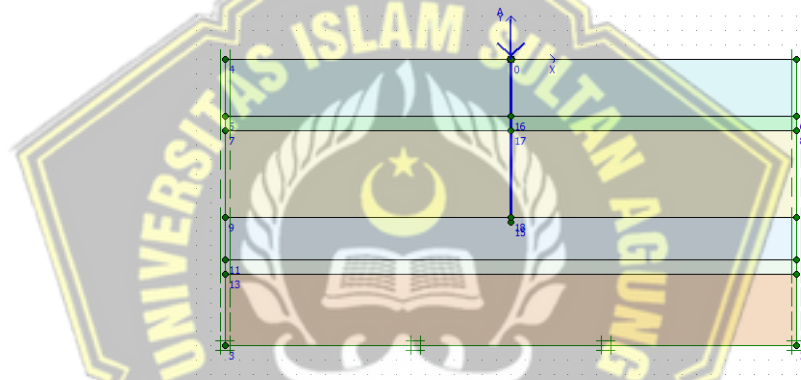
Sifat-sifat

EA :	4,597E+06	kN/m
EI :	1,759E+09	kNm ² /m
d :	67,763	m
w :	0,000	kN/m/m
v :	0,000	
M _p :	1,000E+15	kNm/m
N _p :	1,000E+15	kN/m
α Rayleigh :	0,000	
β Rayleigh :	0,000	

OK Batalkan

Gambar 4. 12 Data Material Fondasi

6. Kemudian klik  untuk menentukan fondasi bored pile yang telah ditentukan, seperti gambar 4.13



Gambar 4. 13 Permodelan

7. Selanjutnya klik  untuk memberi beban yang akan digunakan, beban yang digunakan sebesar 859,2162 kN/m², sesuai gambar 4.14

Beban terpusat - sistem beban A statis

Titik geometri 0

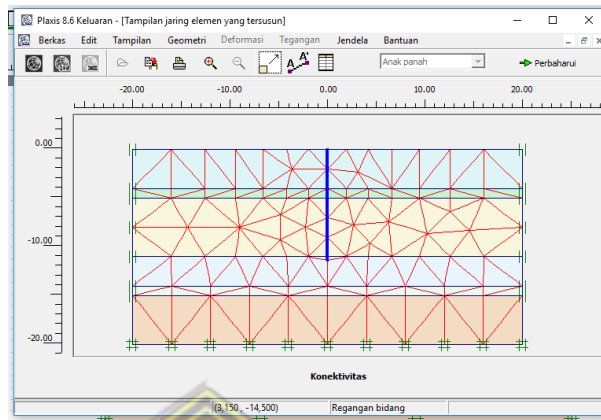
Nilai-X : 0,000 kN/m

Nilai-Y : -859,200 kN/m

OK Batalkan

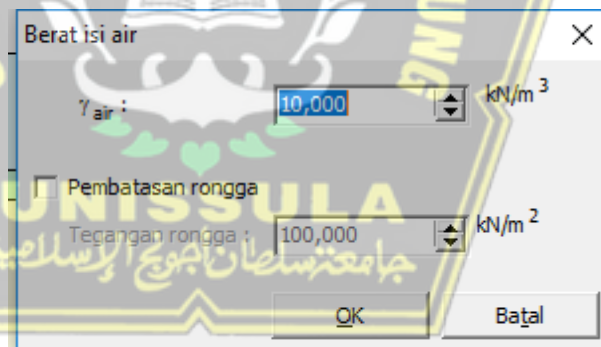
Gambar 4. 14 Input Pembebanan

8. Lalu klik  untuk mengetahui susunan jaringan antara elemen, sesuai pada gambar 4.15

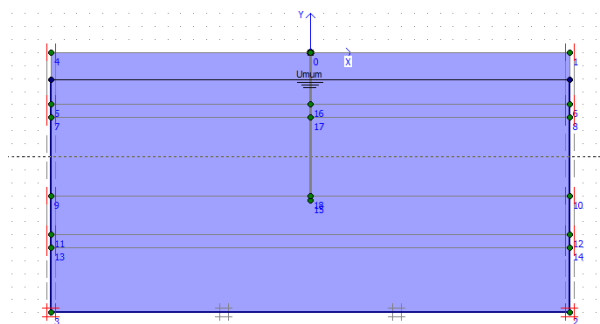


Gambar 4. 15 Susunan Jaringan Elemen

9. Kemudian klik  Kondisi awal yang ada pada toolbar, selanjutnya klik  untuk mengetahui berat isi air dan muka air tanah 2,10m dibawah permukaan tanah, dapat dilihat pada gambar 4.16 sampai gambar 4.17

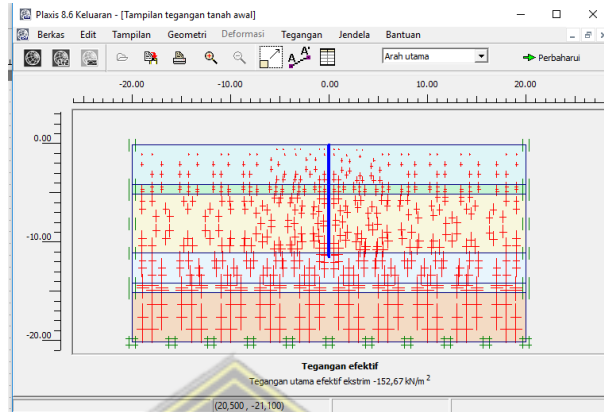


Gambar 4. 16 Water Waight



Gambar 4. 17 Muka Air Tanah

10. Kemudian klik  seperti gambar 4.18



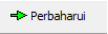
Gambar 4. 18 Output Soil Stress

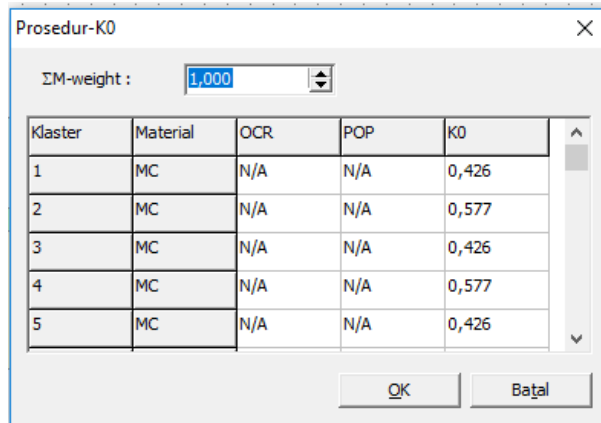
11. Selanjutnya klik  dan akan di dapatkan seperti gambar 4.19



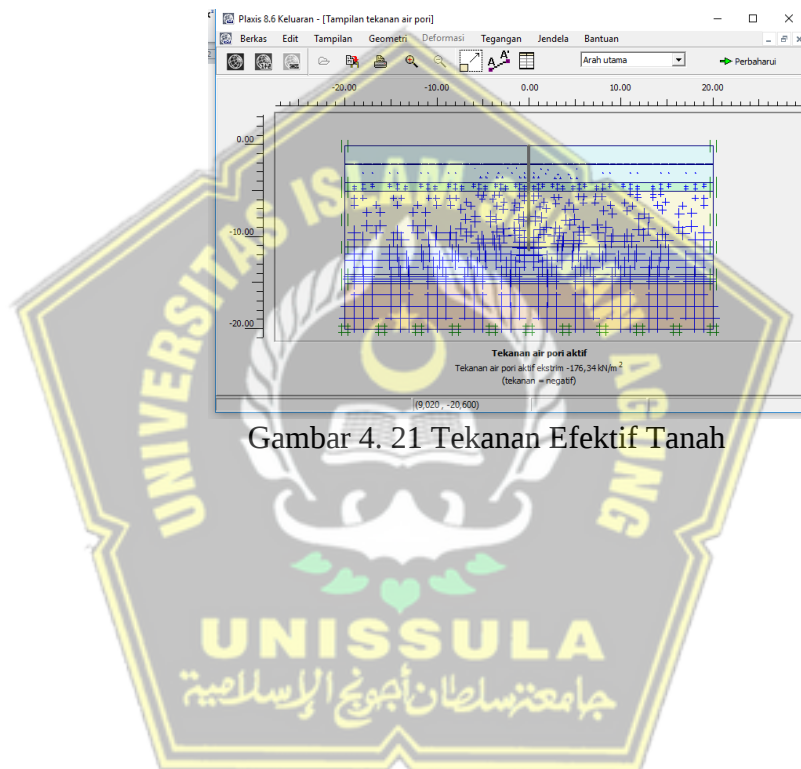
Gambar 4. 19 Tekanan Air Pori

12. Kemudian klik  lalu akan muncul prosedur K0 sesua gambar

4.20. lalu klik  untuk mengetahui hasil dari perhitungan permodelan menggunakan *software* PLAXIS V 8.6,dapat dilihat pada gambar 4.21

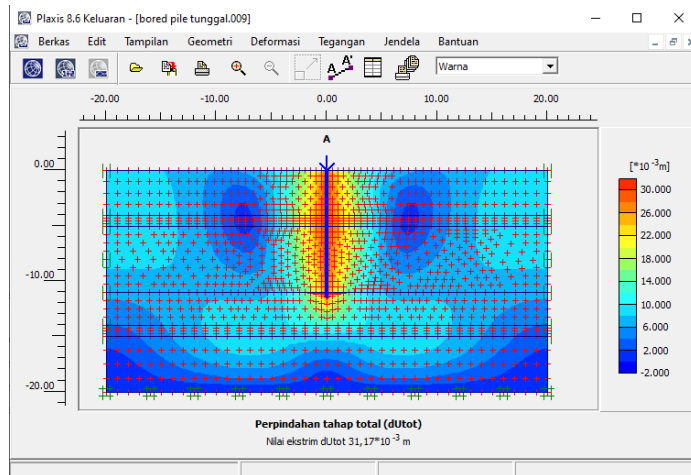


Gambar 4. 20 Prosedur K0



Gambar 4. 21 Tekanan Efektif Tanah

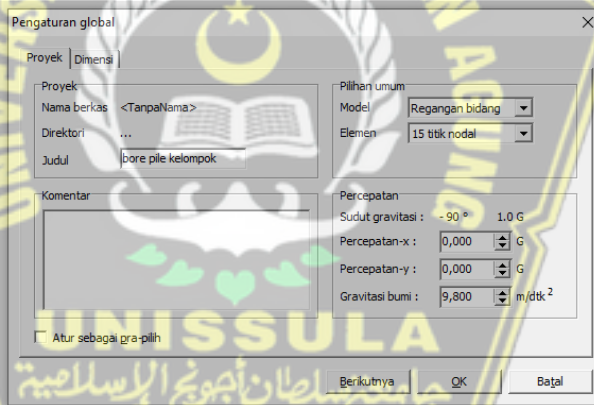
13. Hasil dari permodelan *software* PLAXIS v 8.6 menghasilkan penurunan sebesar 3,117 cm, dapat dilihat pada gambar 4.22



Gambar 4.22 Deformasi otal yang Terjadi $31,17 \times 10^{-3} \text{ m}$

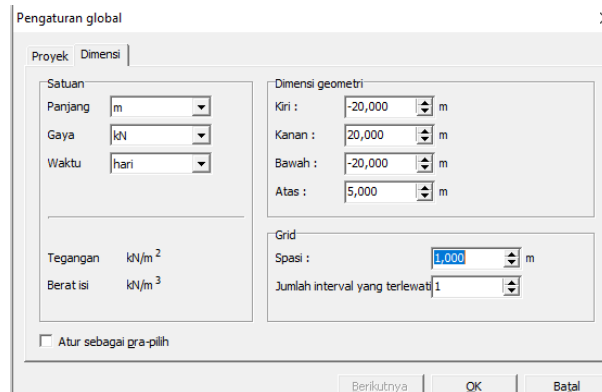
❖ Berikut langkah – langkah perhitungan penurunan fondasi kelompok tiang menggunakan software PLAXIS V 8.6

1. Tahapan pertama input data menggunakan software PLAXIS V 8.6 dengan menentukan judul dan satuan, sesuai Gambar 4.23



Gambar 4.23 Pengaturan *Global-Project*

2. Lalu input data dimensi sesuai dengan fondasi rencana, sesuai gambar 4.24



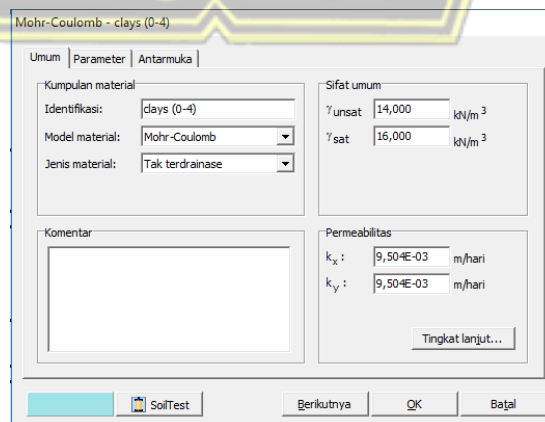
Gambar 4.24 Pengaturan *Global-Dimensi*

3. Kemudian paa tahap selanjutnya klik  untuk mengatur pemodelan kontur tanah, sesuai gambar 4.25



Gambar 4.25 Permodelan Kontur Tanah

4. Klik  dan akan muncul dialog seperti gambar 4.26 hingga 4.28



Gambar 4.26 Mohr-Coloumb

Mohr-Coulomb - clays (0-4)

Umum Parameter Antarmuka

Kekakuan

E_{ref} : 7000,000 kN/m²

ν (nu) : 0,300

Kekuatan

C_{ref} : 10,000 kN/m²

ϕ (phi) : 25,000 °

ψ (psi) : 0,000 °

Alternatif

G_{ref} : 2692,308 kN/m²

E_{oed} : 9423,000 kN/m²

Kecepatan

V_s : 43,410 m/dtk

V_p : 81,220 m/dtk

Tingkat lanjut...

SoilTest Berikutnya OK Batalkan

Gambar 4.27 Mohr Colomb

Mohr-Coulomb - clays (0-4)

Umum Parameter Antarmuka

Kekakuan

☒ Kaku

☐ Manual

R_{inter} : 1,000

Tebal antarmuka sebenarnya

δ_{inter} : 0,000

SoilTest Berikutnya OK Batalkan

Gambar 4.28 Dialog Muka Material Pasir

- Setelah input data material tanah, tahap selanjutnya input data material fondasi sesuai dengan yang direncanakan, terdapat di gambar 4.29

Sifat pelat

Kumpulan material

Identifikasi : pondasi

Jenis material : Elastis

Komentar

Sifat-sifat

EA : 4,597E+06 kN/m

EI : 1,759E+09 kNm²/m

d : 67,763 m

w : 0,000 kN/m/m

ν : 0,000

M_p : 1,000E+15 kNm/m

N_p : 1,000E+15 kN/m

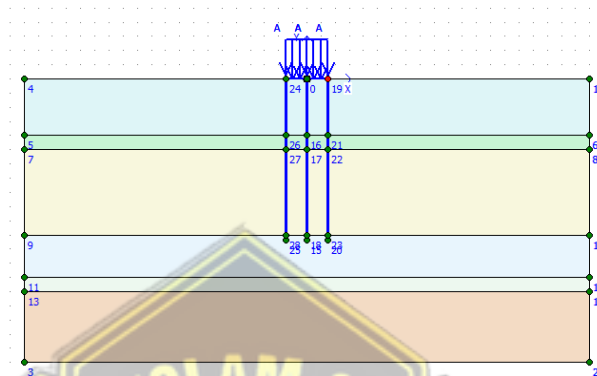
α Rayleigh : 0,000

β Rayleigh : 0,000

OK Batalkan

Gambar 4.29 Data Material Fondasi

6. Kemudian klik  untuk menentukan fondasi bored pile yang sudah ditentukan. Setelah itu klik  untuk mengaktifkan tekanan positif dan negatif di daerah sekeliling fondasi sesuai Gambar 4.30



Gambar 4.30 Permodelan Fondasi *Bored Pile Kelompok*

7. Setelah itu klik  untuk mengisi beban dari beban bangunan, beban yang di gunakan sebesar 859,216 kN/m² sesuai gambar 4.31

Beban terpusat - sistem beban A statis

Titik geometri 0

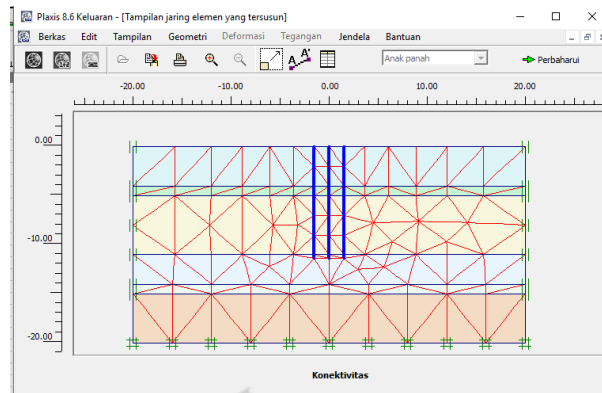
Nilai-X : 0,000 kN/m

Nilai-Y : -859,200 kN/m

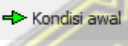
OK Batalkan

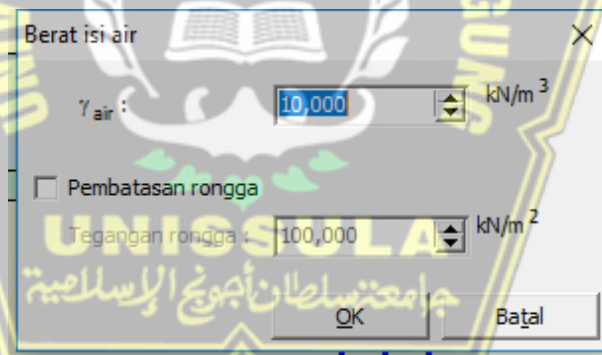
Gambar 4.31 Point Load

8. Klik  untuk mengetahui susunan jaringan elemen, terdapat pada gambar 4.32

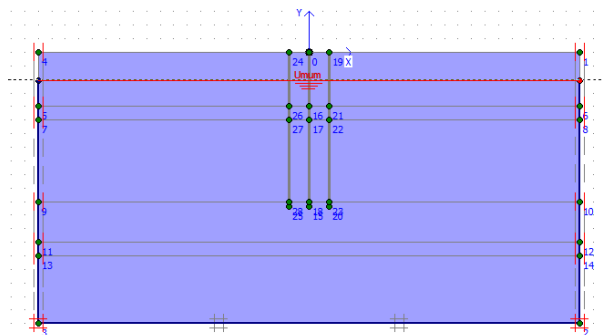


Gambar 4.32 Susunan Jaringan Elemen

9. Lalu klik  yang ada di toolbar, kemudian klik  untuk mengetahui berat isi air dan muka air tanah yang berada dikedalaman 8m dibawah permukaan tanah sesuai gambar 4.33 hingga gambar 4.34

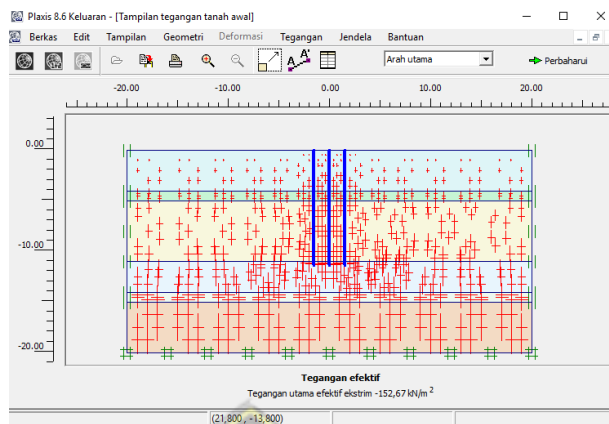


Gambar 4.33 Water Waight



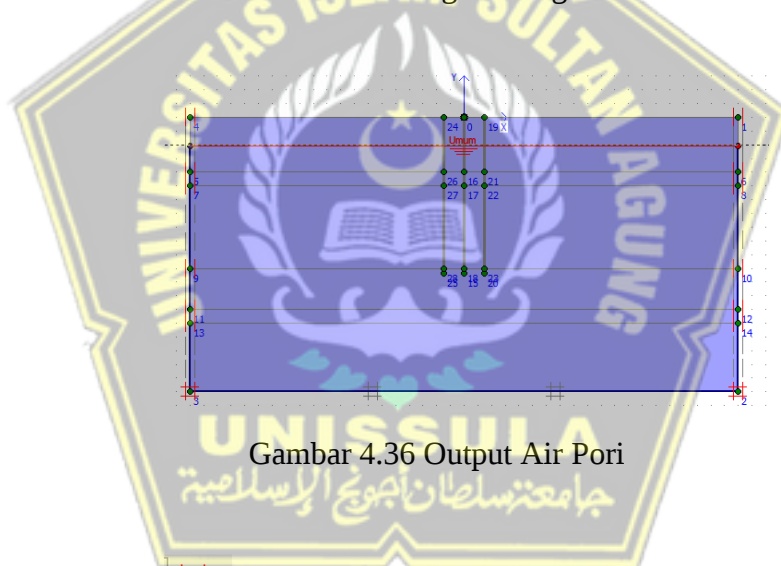
Gambar 4. 34 Output Muka Air Tanah

10. Kemudian klik  maka akan muncul dialog sesuai gambar 4.35



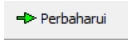
Gambar 4.35 Output Soil Stressess

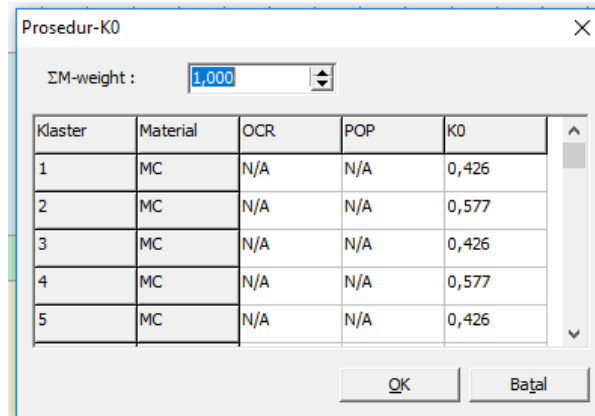
11. Klik  maka akan muncul dialog sesuai gambar 4.36



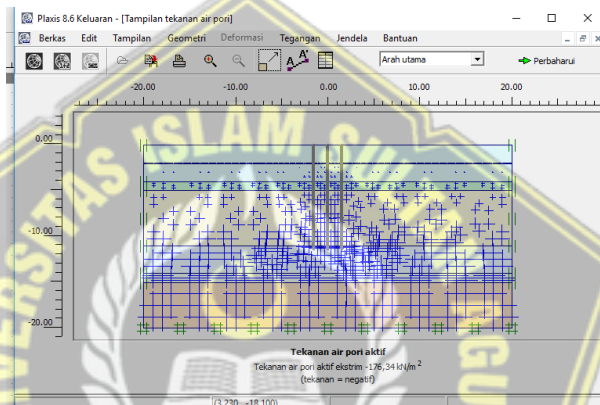
Gambar 4.36 Output Air Pori

12. Kemudian klik  lalu akan muncul prosedur – K0 dapat dilihat pada

Gambar 4.37. tekan tombol  untuk mengetahui hasil dari perhitungan permodelan menggunakan software PLAXIS V 8.6, dapat dilihat digambar 4.38

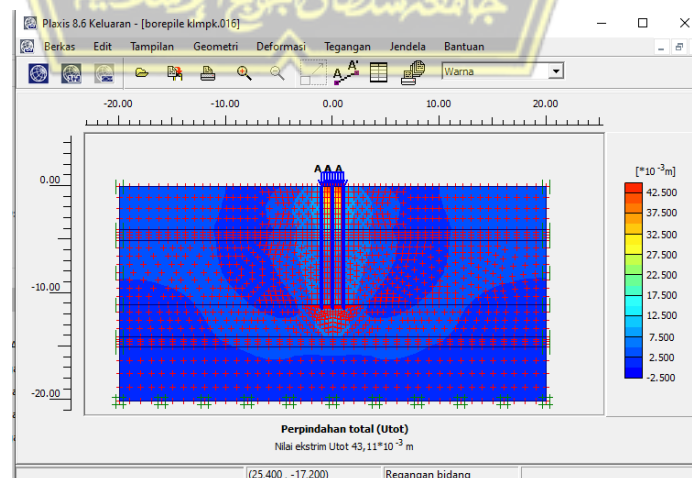


Gambar 4.37 Prosedur K0



Gambar 4.38 Tekanan Efektif Tanah

13. Hasil dari pemodelan menggunakan software PLAXIS V.8.6 menghasilkan penurunan sebesar 4,311 cm sesuai gambar 4.39



Gambar 4.39 Deformasi Total yang Terjadi $43,11 \times 10^{-3} \text{ m}$

4.7 Pembahasan

4.7.1 Perhitungan Daya Dukung

Hasil dari perhitungan Daya dukung fondasi aksial dan lateral menggunakan metode mayerhoff dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Perbandingan Perhitungan Daya Dukung Fondasi

No	Perhitungan	Aksial (kN)	Lateral (kN)
1	Tiang pancang persegi	917,432	879,14
2	Bored Pile	754,13	874,39

Perhitungan diatas didapat dari Persamaan Meyerhoff :

$$Q_{ijin} = \frac{q_c A_c}{3} + \frac{JHL \times K_{ll}}{5}$$

Dari tabel 4.11 diperoleh Daya dukung fondasi pada *Bored Pile* lebih kecil dibandingkan daya dukung tiang pancang persegi karena perhitungan dasar luas dan keliling hasilnya lebih kecil *bored pile* dibandingkan tiang pancang persegi.

4.7.2 Perhitungan Penurunan

Berikut adalah perbandingan perhitungan penurunan fondasi *bored pile* dan tiang pancang persegi serta plaxis:

Tabel 4.13 Perbandingan Perhitungan Penurunan Fondasi

No	Perhitungan	Tunggal (cm)	Kelompok (cm)
1	Tiang pancang persegi	1,1	2,56
2	Bored Pile	1,55	3,48
3	Plaxis	3,117	4,311

Dari tabel 4.13 penurunan fondasi Tiang pancang persegi lebih kecil dari *bored pile* ini dikarenakan Daya dukung fondasi Tiang pancang persegi lebih besar dari pada *bored pile*.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil analisis proyek pembangunan Gedung Fraksi DPRD Kudus dapat di tarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan pembebanan gedung menggunakan software SAP2000 V.14, didapatkan hasil beban maksimal yang terjadi sebesar 859,2162 kN.
2. Hasil perhitungan mengenai dimensi *tiang pancang persegi* dan *bored pile* sama-didapatkan ukuran 50 cm x 50 cm, dengan kedalaman fondasi 11,4 m. Hasil perhitungan daya dukung aksial dan lateral secara manual untuk fondasi *tiang pancang persegi* dengan metode *Mayerhof* dengan kedalaman 11,4 m, dihasilkan daya dukung tiang kelompok dengan nilai sebesar 917,432 kN. Dan untuk daya dukung lateral (H_u) didapatkan hasil sebesar 879,14 kN. Hasil perhitungan daya dukung aksial dan lateral secara manual untuk fondasi *bored pile* dengan metode *Mayerhof* dengan kedalaman 11,4 m, dihasilkan daya dukung tiang kelompok dengan nilai sebesar 754,75 kN. Dan untuk daya dukung lateral (H_u) didapatkan hasil sebesar 874,79 kN.
3. Hasil perhitungan penurunan yang terjadi pada fondasi *tiang pancang persegi* tunggal sebesar 1,1 cm, sedangkan untuk penurunan tiang kelompok sebesar 2,56 cm, yang akan terjadi selama 2,795 tahun. Dan untuk hasil perhitungan penurunan yang terjadi pada fondasi *bored pile* tunggal sebesar 1,55 cm, sedangkan untuk penurunan fondasi *bored pile* kelompok sebesar 3,48 cm. Hasil dari perhitungan penurunan menggunakan software PLAXIS V.8.6 di dapat nilai penurunan fondasi *bored pile* sebesar 3,117 cm, sedangkan penurunan fondasi kelompok sebesar 4,311 cm.

5.2 Saran

1. Untuk menghitung fondasi grup tiang bisa divariasikan dengan menvariasikan jenis fondasi terhadap daya dukung dan penurunan tanah
2. Untuk validasi dan penurunan fondasi bisa menggunakan aplikasi *allpile*

3. Konfigurasi fondasi terhadap daya dukung bisa bervariasi lagi seperti menggunakan fondasi jenis lainnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, F. M. (2021). *Analisi Daya Dukung Fondasi Kelompok Tiang Bangunan*. Bandung Utara.
- Bogeman, M. L. (1965). *Teknologi Mekanika*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J. E. (1998). *Analisa dan Desain Fondasi : Edisi Keempat Jilid II*, Erlangga, Jakarta.
- Bowless, J. E. (1997). *Analisis Dan Desain Fondasi Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J. E., & Henlim, J. K. (1991). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: PT . Erlangga.
- Craig, R. F. (1991). *Mekanika Tanah*. Jakarta: PT. Erlangga.
- Das, B. M. (2011). *Principle Of Foundastion Engineering, edisi 7*. Cengage Laerning, Stamford USA.
- Fitriyana, Lisa. (2020). *Modul Mata Kuliah Perencanaan Bangunan Sipil III*. Semarang: Universitas Islam Sulatan Agung,
- Gunawan, R. (1990). *Pengantar Teknik Fondasi*. Yogyakarta: Kanisius.
- Hardiiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I Edisis 3*. Jakarta: PT. Gramedia Pusat Utara,
- Jusi, U. (2015). *Analisa Kuat Dukung Fondasi Bored Pile Berdasarkan Data Pengujian Lapangan*. Jurnal Teknik Sipil Siklus. pp. 50-82.
- Mayerhoff, G. G. (1965). *Shallow Foundation*. Journal Of The Soil Mechanics And Foundations Devision. ASCE. Vol. 91. No. SM2. pp 21-23,
- Pamungkas, E. T., Gardjito, E., Winarto, S., & Azhari, F. M., (2021). *Meningkatkan Daya Dukung Tanah dengan Fondasi Tiang pancang persegi Pada Gedung PT. Maju Jaya Kecamatan Ngasem, Kab. Kediri*. Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil.
- Pagehgiri, J. (2015). *Analisis Penggunaan Fondasi Tiang pancang persegi dan Fondasi Bored Pile Terhadap Biaya dan Waktu Pelaksanaan Pembangunann Ruang Kelas SMPN 10 Denpasar*. Jurnal Teknik Sipil. Surabaya: Untag.
- Pratikso. (2017). *Mekanika Tanah I*. Semarang: UNISSULA PRESS,

- Rustiansyah, M. D. (2019). *Studi Perencanaan Fondasi Rakit (Raft Foundation) Pada Proyek Pembangunan Rumah Sakit Gigi Dan Mhulut Universitas Brawijaya*. Undergraduate (S1) thesis, University of Muhammadiyah Malang,
- Tomlinson, M., and Woodward, J. 2015. *Pile Design Construction Practice 6th ed. CRC Pres Taylor & Francis Group A Spon Press Book*. Landen, New York,
- Vesic, A. S. 1977. *Design of Pile Foundations*. NCHRRP Synthesis of Practice. No. 42. Transportation Research Board. Washinton DC,
- Yusti, A., & Fahriani, F. (2014). *Analaisis Daya Dukung Fondasi Tiang pancang persegi Diverifikasi dengan Hasil Uji Pile Driving Analyzei Rest dan CAPWAP (Studi: Kasus Proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel Di Palangkalpinang)*. Jurnal Fropil, 2 (1). pp. 19-31,

