

TUGAS AKHIR

ANALISIS PERBANDINGAN PENGGUNAAN FONDASI MINIPILE DENGAN FONDASI BOREDPILE MENGGUNAKAN METODE MAYERHOFF, TOMLINSON DAN PROGRAM PLAXIS V.8.6

Studi Kasus: Mal Pelayanan Publik Sukoharjo

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



Disusun Oleh :

**Ega Fatmawati
NIM : 30201800052**

**Tazkia Gina Mardhatila
NIM : 30201800180**

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

2022

TUGAS AKHIR

ANALISIS PERBANDINGAN PENGGUNAAN FONDASI MINIPILE DENGAN FONDASI BOREDPILE MENGGUNAKAN METODE MAYERHOFF, TOMLINSON DAN PROGRAM PLAXIS V.8.6

Studi Kasus: Mal Pelayanan Publik Sukoharjo

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan

Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung



Disusun Oleh :

Ega Fatmawati

Tazkia Gina Mardhatilla

NIM : 30201800052

NIM : 30201800180

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

2022

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PERBANDINGAN PENGGUNAAN FONDASI *MINI PILE* DENGAN FONDASI *BORED PILE* MENGGUNAKAN METODE MAYERHOFF, TOMLISON DAN PROGRAM PLAXIS V.8.6

Studi Kasus : Mal Pelayanan Publik Sukoharjo



Ega Fatmawati
NIM : 3020180052



Tazkia Gina M
NIM : 30201800180

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 1 Agustus 2022

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D.**
NIDN: 0627115501
2. **Eko Muliawan Satrio, ST., MT.**
NIDN: 0610118101
3. **Dr. Abdul Rochim, ST., MT.**
NIDN: 0631128901

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: 30/A.2/SA-T/VII/2022

Pada hari ini tanggal 1 Agustus 2022 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Prof. Ir. Pratikso, MST., Ph.D.
Jabatan Akademik : Guru Besar
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Eko Muliawan Satrio, ST., MT.
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Ega Fatmawati Tazkia Gina Mardhatilla
NIM : 30201800052 NIM : 30201800180

Judul : Analisis Perbandingan Penggunaan Fondasi *Mini Pile* dengan Fondasi *Bored Pile* Menggunakan Metode Mayerhoff, Tomlison dan Program Plaxis V.8.6

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	07/02/2022	-
2	Seminar Proposal	29/03/2022	ACC
3	Pengumpulan data	10/04/2022	-
4	Analisis data	20/04/2022	-
5	Penyusunan laporan	01/06/2022	-
6	Selesai laporan	27/07/2022	ACC

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, MST., Ph.D.

Dosen Pembimbing Pendamping

Eko Muliawan Satrio, ST., MT.

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Anyar, ST., M.Eng.

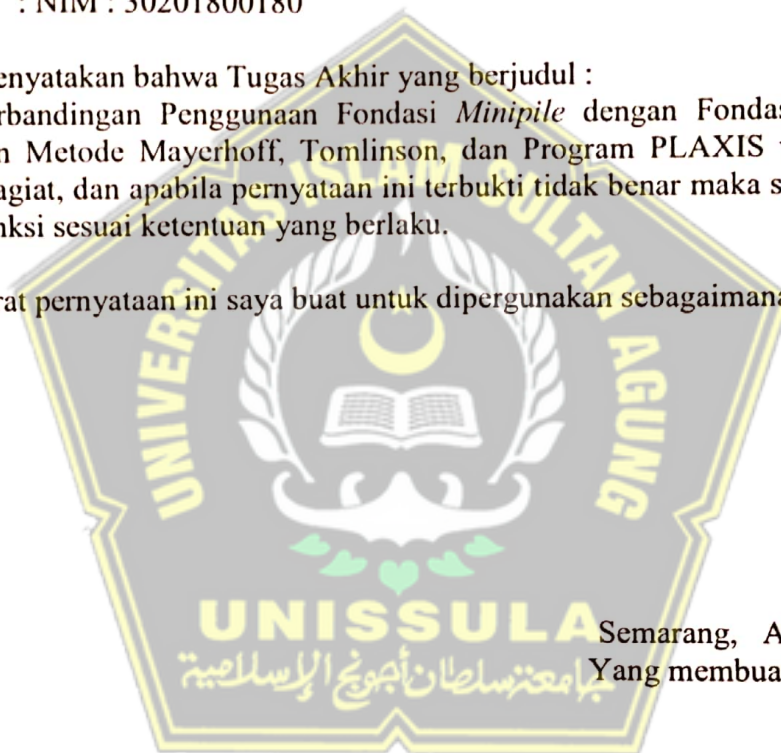
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Kami yang bertanda tangan di bawah ini :

1. NAMA : Ega Fatmawati
NIM : NIM : 30201800052
2. NAMA : Tazkia Gina Mardhatilla
NIM : NIM : 30201800180

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :
“Analisis Perbandingan Penggunaan Fondasi *Minipile* dengan Fondasi *Boredpile* Menggunakan Metode Mayerhoff, Tomlinson, dan Program PLAXIS v.8.6” 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, Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,

Ega Fatmawati

Tazkia Gina Mardhatilla

PERNYATAAN KEASLIAN

Kami yang bertanda tangan dibawah ini:

1. NAMA : Ega Fatmawati
NIM : NIM : 30201800052
2. NAMA : Tazkia Gina Mardhatilla
NIM : NIM : 30201800180

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 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,



Ega Fatmawati

Tazkia Gina Mardhatilla

MOTTO

Allah menganugerahkan al hikmah (kefahaman yang dalam tentang Al Quran dan As Sunnah) kepada siapa yang dikehendaki-Nya. Dan barangsiapa yang dianugerahi hikmah, ia benar-benar telah dianugerahi karunia yang banyak. Dan hanya orang-orang yang berakallah yang dapat mengambil pelajaran (dari firman Allah) (Q.S. Al-Baqarah:269)

“Barangsiapa menelusuri jalan untuk mencari ilmu padanya Allah akan mudahkan baginya jalan menuju surga” (HR. Muslim)

“Waktu bagaikan pedang, jika kamu tidak bisa menggunakan pedang itu, maka iala yang akan menebasmu” (Imam Syafi’i)

Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik.(QS. Ali – ‘Imran:110)

Dan Tuhanmu telah memerintahkan supaya kamu jangan menyembah selain. Dia dan hendaklah kamu berbuat baik pada ibu bapakmu dengan sebaik-baiknya. (QS. Al Isra:23)

Dan hendaklah ada di antara kamu segolongan umat yang menyeru kepada kebajikan, menyuruh kepada yang makruf dan mencegah dari yang munkar; merekalah orang-orang yang beruntung. (QS. Ali ‘Imran/3:104)

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya tercinta, Bapak Sudikan dan Ibu Asrofah yang telah memberikan dorongan semangat, material dan spiritual.
2. Kakak saya Siti Aisah yang selalu menghibur dan memberikan semangat serta doa.
3. Tazkia Gina Mardhatilla selaku patner yang sabar dan sungguh sungguh dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Teman – teman dekat saya yang tak disebutkan Namanya. Yang selalu memberikan semangat, dan mendengarkan keluh kesahnya, menemani, membantu dan mengingatkan saya dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini.
5. Rekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung periode 2018 yang membantu dan mendukung dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
6. Semua pihak yang telah membantu penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak bias disebutkan satu persatu.
7. Diri saya sendiri yang sudah mau dan mampu bertahan, berjuang untuk tidak menyerah selama menyelesaikan pendidikan S1 di program studi teknik sipil. Terimakasih untuk diriku sendiri kamu hebat.

Ega Fatmawati

NIM : 30201800052

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orangtua saya, Bapak Mashudi, Ibu Sofiana, dan kakak saya, Nisa Ayunda Adni yang selalu memberikan dukungan material dan spiritual.
2. Semua dosen dan karyawan Fakultas Teknik Unissula, terimakasih atas ilmu yang bermanfaat.
3. Ega Fatmawati selaku *partner* saya, terimakasih atas semua waktu dan semangatnya sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Sahabat saya Mbom, Ersya, dan Tyak yang telah menyediakan pondok untuk menangis dan memberi bantuan saat saya membutuhkannya. Afi, Firda, Farras, dan teman *kost* ratu yang telah bersedia menemani saya ketika saya sedang butuh hiburan.
5. Teman saya Qurrota A'yun dan Putri Widya Ningrum yang telah memberikan dukungan, membantu, dan memberikan semangat dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
6. Rekan Fakultas Teknik Unissula angkatan 2017 dan 2018, yang telah mendukung, membantu, dan memberikan semangat.
7. *Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me, I wanna thank me for doing all this work. I wanna thank me for never quitting.*

Tazkia Gina Mardhatilla
NIM : 30201800180

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “ANALISA PERBANDINGAN PENGGUNAAN FONDASI MINI PILE DENGAN FONDASI BORED PILE MENGGUNAKAN METODE MAYERHOFF, TOMLISON DAN PROGRAM PLAXIS V. 8.6. Studi Kasus : Mal Pelayanan Publik Sukoharjo” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, 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 Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan dorongan dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D, selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Eko Muliawan Satrio, ST., MT, selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ix
BERITA ACARA PEMBIMBING TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	xv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR NOTASI	xvii
ABSTRAK	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 Tinjauan Umum	4
2.2 Klasifikasi Tanah	5
2.3 Parameter Tanah	5
2.3.1 Klasifikasi Tanah dari Data Sondir	8
2.3 Fondasi	10
2.4.1 Klasifikasi Fondasi	10
2.5 Kapasitas Daya Dukung Fondasi	16
2.5.1 Perhitungan Daya Dukung Ujung Fondasi Metode <i>Mayerhoff</i>	18
2.5.2 Perhitungan Daya Dukung Ujung Fondasi Metode <i>Tomlison</i>	19
2.5.3 Daya Dukung Ijin Fondasi	20
2.6 Efisiensi Daya Dukung Fondasi (kelompok)	20
2.7 Menentukan Banyak Tiang Fondasi yang dibutuhkan	22

2.8 Menentukan Jarak Antar Tiang	22
2.9 Perhitungan Daya Dukung Lateral dengan Metode <i>Brooms</i>	23
2.10 Penurunan Tiang	26
2.10.1 Penurunan Elastis Tiang Tunggal.....	28
2.10.2 Penurunan Tiang Kelompok.....	33
2.10.3 Penurunan Tiang yang diijinkan.....	33
2.11 Faktor Keamanan	34
2.12 Permodelan Menggunakan <i>Software</i>	35
2.12.1 SAP2000 V.14.....	36
2.12.2 Plaxis	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	37
3.1 Pendahuluan	37
3.2 Lokasi Proyek.....	37
3.3 Data Proyek.....	38
3.4 Studi Literatur	39
3.5 Teknik Pengumpulan Data	39
3.6 Tahapan Penelitian	39
3.6.1 Analisis Pembebanan Menggunakan SAP2000 V.14	39
3.6.2 Analisa Daya Dukung Fondasi Menggunakan Metode <i>Mayerhoff</i>	39
3.6.3 Analisis Daya Dukung Fondasi Menggunakan Metode <i>Tomlison</i>	40
3.6.4 Perhitungan Daya Dukung Ultimit Fondasi	40
3.6.5 Perhitungan Efisiensi Grup Tiang	41
3.6.6 Kapasitas Lateral Ultimit Tiang dengan Metode <i>Brooms</i>	41
3.6.7 Analisis Data Penurunan Fondasi.....	42
3.6.8 Analisa Menggunakan Program Plaxis	42
3.7 Bagan Alir	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	44
4.1 Tinjauan Umum.....	44
4.2 Permodelan Struktur Atas dengan Program SAP2000 V.14.....	47
4.3 Desain Dan Pembebanan Struktur.....	45
4.4 Analisa Daya Dukung Fondasi <i>Minipile</i>	51
4.4.1 Daya Dukung Fondasi <i>MiniPile</i> Metode <i>Mayerhoff</i>	51
4.4.2 Daya Dukung Fondasi <i>Minipile</i> Metode <i>Tomlison</i>	53
4.4.3 Penurunan Tiang Tunggal	53

4.4.4	Penurunan Kelompok Tiang.....	55
4.4.5	Waktu Penurunan Tanah Pada Fondasi <i>Minipile</i>	56
4.4.6	Perhitungan Daya Dukung Lateral Fondasi <i>Minipile</i>	56
4.5	Analisa Daya Dukung Fondasi <i>Boredpile</i>	58
4.5.1	Daya Dukung Fondasi Bored pile Metode Mayerhoff.....	58
4.5.2	Daya Dukung Fondasi <i>Bored pile</i> Metode <i>Tomlinson</i>	60
4.5.3	Penurunan Tiang Tunggal	62
4.5.4	Penurunan Kelompok Tiang.....	63
4.5.5	Waktu Penurunan Tanah Pada Fondasi Bored Pile.....	63
4.5.6	Perhitungan Daya Dukung Lateral Fondasi <i>Boredpile</i>	64
4.6	Penurunan Pondasi Menggunakan Program PLAXIS V. 8.6.....	66
4.7	Hasil Perbandingan Daya Dukung Fondasi dan Penurunan.....	82
BAB V PENUTUP		84
5.1	Kesimpulan.....	84
5.2	Saran.....	85
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai Perkiraan Modulus Young	6
Tabel 2. 2 Hubungan Antara Jenis Tanah dan Passion Ratio	7
Tabel 2. 3 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam.....	7
Tabel 2. 4 Nilai – nilai Kohesi (c) untuk deskripsi tanah	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2. 5 Klasifikasi Tanah dan Data Sondir	8
Tabel 2. 6 Hubungan Antara Konsistensi dengan Tekanan Conus.....	9
Tabel 2. 7 Mengenai Hubungan antara Konsistensi dan tekan Conus.....	10
Tabel 2. 8 Hal-hal yang perlu dipertimbangkan untuk penentuan harga N	17
Tabel 2. 9 Faktor Keamanan	18
Tabel 2. 10 Nilai – nilai nh untuk tanah granuler (c=0).....	23
Tabel 2. 11 Nilai nilai nh untuk tanah kohesif.....	23
Tabel 2. 12 Nilai-nilai untuk Tanah Granular.....	26
Tabel 2. 13 Nilai-nilai untuk tanah kohesif.....	26
Tabel 2. 14 Perkiraan angka poisson (μ).....	32
Tabel 2. 15 Faktor aman yang disarankan (Reese & O'Neill, 1989).....	35
 Tabel 3. 1 Data Umum Proyek.....	 38
 Tabel 4. 1 Beban Hidup	 47
Tabel 4. 2 Kategori Resiko.....	47
Tabel 4. 3 Faktor Keutamaan Gempa	48
Tabel 4. 4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai SDS.....	48
Tabel 4. 5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai SD1.....	48
Tabel 4. 6 Faktor Reduksi Gempa	49
Tabel 4. 7 Hasil <i>Output Joint Reaction</i>	50
Tabel 4. 8 Hasil Daya Dukung Fondasi Minipile Metode Mayerhoff	52
Tabel 4. 9 Hasil Daya Dukung Fondasi Minipile Metode Tomlinson.....	54
Tabel 4. 10 Hasil Daya Dukung Fondasi Boredpile Metode Mayerhoff	59
Tabel 4. 11 Hasil Daya Dukung Fondasi Boredpile Metode Tomlinson.....	61
Tabel 4. 12 Parameter Tanah	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Fondasi Memanjang	11
Gambar 2. 2 Fondasi Telapak	11
Gambar 2. 3 Fondasi Sumuran.....	12
Gambar 2. 4 Fondasi Minipile	14
Gambar 2. 5 Fondasi Bored pile	15
Gambar 2. 6 Metode Pelaksanaan Fondasi Bored pile	16
Gambar 2. 7 Faktor Adhesi (Tomlinson dan woodword, 2015)	20
Gambar 2. 8 Penurunan Io (Poulos dan Davis).....	29
Gambar 2. 9 Koreksi Kompresi, R_k (Poulos dan Davis)	29
Gambar 2. 10 Koreksi Kedalaman, R_h (Poulos dan Davis).....	30
Gambar 2. 11 Koreksi angka Poisson, R_μ (Poulos dan Davis).....	30
Gambar 2. 12 Koreksi kekakuan lapisan pendukung, R_b	31
 Gambar 3. 1 Lokasi Proyek.....	 38
 Gambar 4. 1 Pemodelan Struktur atas dengan program SAP2000 V.14	 45
Gambar 4. 2 Peta Periode gempa (SNI 1726:2019).....	49
Gambar 4. 3 Nilai Respon Spektrum	58
Gambar 4. 4 Grafik Nilai Tahanan Momen Ultimit.....	66
Gambar 4. 5 Grafik Nilai Tahanan Momen Ultimit.....	63
Gambar 4. 6 Pengaturan Global	68
Gambar 4. 7 Pengaturan Global	68
Gambar 4. 8 Pemodelan Kontur Tanah.....	69
Gambar 4. 9 Mohr-Coulomb.....	69
Gambar 4. 10 Mohr-Coulomb.....	69
Gambar 4. 11 Mohr-Coulomb.....	70
Gambar 4. 12 Sifat Pelat Mini Pile	70
Gambar 4. 13 Sifat Pelat Bored Pile	70
Gambar 4. 14 Pemodelan	71
Gambar 4. 15 Input Pembebanan	71
Gambar 4. 16 Susunan Elemen Jaringan.....	72
Gambar 4. 17 Muka Air Tanah	72
Gambar 4. 18 Tegangan Efektif Tanah	73
Gambar 4. 19 Prosedur-K0	73
Gambar 4. 20 Tekanan Air Pori Aktif.....	73
Gambar 4. 21 Penurunan Fondasi Mini Pile	74
Gambar 4. 22 Penurunan fondasi Bored Pile	74
Gambar 4. 23 Pengaturan Global	75
Gambar 4. 24 Pengaturan Global	75
Gambar 4. 25 Pemodelan kontur tanah	76

Gambar 4. 26 Mohr-Coulomb.....	76
Gambar 4. 27 Mohr-Coulomb.....	76
Gambar 4. 28 Mohr-Coulmb.....	77
Gambar 4. 29 Data Material Fondasi Mini pile	77
Gambar 4. 30 Data Material Fondasi Bored Pile	77
Gambar 4. 31 Pemodelan Fondasi	78
Gambar 4. 32 Beban Terpusat.....	78
Gambar 4. 33 Susunan Jaringan Element	79
Gambar 4. 34 Water Weight	79
Gambar 4. 35 Output Muka Air	79
Gambar 4. 36 Output Soil	80
Gambar 4. 37 Prosedur-K0	80
Gambar 4. 38 Prosedur-K0	81
Gambar 4. 39 Penurunan Mini Pile Kelompok.....	81
Gambar 4. 40 Penurunan Bored Pile Kelompok.....	82



DAFTAR NOTASI

Q_p	= Daya Dukung Ujung Tiang (kN)
A_p	= Luas Penampang (m^2)
C_u	= Kohesi Tanah
α	= Faktor Adhesi Empiris
P	= Keliling Tiang (m)
L_i	= Tebal Lapisan Tanah (m)
Q_p	= Daya Dukung Ujung Tiang (kN)
Q_s	= Daya Dukung Slimut Tiang (kN)
Q_u	= Daya Dukung Ultimat Tiang (kN)
C_u	= Kohesi Tanah (kN/m^2)
η	= Efisiensi Kelompok Tiang (%)
m	= Jumlah Tiang Arah Vertical
n	= Jumlah Kolom Arah Vertical
θ	= Arc tg d/s
s	= Jarak As Tiang (m)
d	= Diameter Tiang (m)
n'	= Jumlah Tiang
Q_g	= Kapasitas Izin Kelompok Tiang (kN)
N_p	= Jumlah Tiang
V	= Beban Strukturnya (kN)
Q_{tiang}	= Daya Dukung Izin Tiang Tunggal (kN)
E_p	= Modulus Elastis Tiang (kN/m^2)

I	= Momen Inersia (m^4)
nh	= Koefisien Modulus Variasi (kN/m^3)
Kh	= Modulus Reaksi Subgrade (kN/m^3)
Hu	= Daya Dukung Lateral Tiang (kN)
My	= Momen Max Yang Dapat Ditahan Tiang (kN.m)
Y	= Berat Volume Tanah (kN/m^3)
e	= Jarak Beban Horizontal ke Permukaan Tanah (m)
Kp	= Koefisien Tekanan Tanah Pasif
f	= Jarak Kedalaman Titik Dimana Gaya Geser = 0 (m)
lp	= Momen Inersia Tiang (m^4)
H	= Beban Lateral (kN)
L	= Panjang Tiang (m)
S	= Total Penurunan (mm)
S1	= Penurunan Batang Tiang (mm)
S2	= Penurunan Tiang Akibat Beban Diujung Tiang (mm)
S3	= Penurunan Tiang Akibat Beban Selimut (mm)
Qwp	= Beban yang Ujung Tiang (kN)
Qws	= Beban Yang Selimut Taing (kN)
Ab	= Luas PEnampang Tiang (m^2)
ξ	= 0,5 (Distribusi Tahanan Sepanjang Tiang)
Cp	= Koefisien Empiris
Sg	= Penurunana Kelompok Tiang (mm)
St	= Penurunan Tiang Tunggal (mm)

- b' = Lebar Kelompok Tiang (mm)
 B = Diameter Fondasi (mm)
 T = Waktu Penurunan
 T_v = Factor Waktu (Derajat Konsolidasi Rata-Rata)
 H^2 = Seluruh panjang Lintas Fondasi (m)
 C_v = Derajat Konsolidasi ($0.0045 \text{ m}^2/\text{dtk}$)
 B_w = Lebar Fondasi (m)
 A_g = Luas Penampang Beton (mm^2)
 A_{st} = Luas Tulangan (mm^2)
 D_{st} = Diamater Tulangan (mm)



ANALISIS PERBANDINGAN PENGGUNAAN FONDASI MINIPILE DENGAN FONDASI BOREDPILE MENGGUNAKAN METODE MAYERHOFF, TOMLINSON, DAN PLAXIS V.8.6

Studi Kasus: Mal Pelayanan Publik Sukoharjo

Oleh :

Ega Fatmawati ¹⁾, Tazkia Gina Mardhatilla ¹⁾, Pratikso ²⁾, Eko Muliawan Satrio ²⁾

Dalam Proyek pembangunan gedung, biasanya pekerjaan terbagi menjadi 2 bagian, yaitu struktur atas seperti balok, kolom, dll. Kemudian struktur bawah yaitu konstruksi fondasi. Fondasi ialah struktur bagian bawah bangunan yang berfungsi untuk menyalurkan beban ke dalam tanah tanpa disertai penurunan yang berlebihan, penurunan diferensial, dan keruntuhan geser. Setiap fondasi harus mampu menahan beban sampai batas aman yang ditentukan, termasuk daya dukung beban maksimum yang terjadi. Dalam hal ini, kita mencari tahu dengan mencoba menganalisis daya dukung dan efisiensi dari masing-masing jenis fondasi tersebut.

Perhitungan daya dukung dilakukan dengan metode Mayerhoff dan metode Tomlinson. Sedangkan perhitungan komputatif, menggunakan program Plaxis V.8.6. Perhitungan nilai efisiensi menggunakan metode Converse-Labarre. Penurunan pondasi tiang tunggal menggunakan metode semi empiris dan penurunan kelompok tiang menggunakan metode Vesic.

Berdasarkan Analisa yang telah dilakukan dan dihitung dengan pembebanan menggunakan program SAP2000 V.14 didapatkan beban maksimum sebesar 1199,731 kN dan beban lateral sebesar 129,06 kN, dengan merencanakan fondasi *minipile* 30cm x 30cm dan boredpile berdiameter 35 cm dengan kedalaman 16 m. Hasil dari perhitungan daya dukung menggunakan metode mayerhoff yaitu 1849,28 kN untuk fondasi *minipile*, 1757,48 kN untuk fondasi *boredpile*. Sedangkan menggunakan metode *tomlinson*, didapat hasil daya dukung sebesar 1944,97 kN untuk fondasi *minipile*, dan 1884,9 kN untuk fondasi *boredpile*. Untuk penurunan fondasi tiang tunggal fondasi *minipile*, mendapatkan hasil sebesar 0,903 cm pada perhitungan manual dan 0,164 cm perhitungan menggunakan plaxis. Sedangkan pada fondasi *boredpile*, mendapat hasil 1,078 cm perhitungan manual, 0,773 cm perhitungan plaxis. Untuk penurunan fondasi tiang kelompok fondasi *minipile*, mendapatkan hasil sebesar 2,6 cm pada perhitungan manual dan 2,18 cm perhitungan menggunakan plaxis. Sedangkan pada fondasi *boredpile*, mendapat hasil 3,02 cm perhitungan manual, 3,85 cm perhitungan plaxis.

Kata kunci: Daya Dukung Fondasi; Fondasi Boredpile; Fondasi Minipile; Metode Mayerhoff; Metode Tomlinson; Penurunan Fondasi

COMPARISON ANALYSIS OF THE USE OF MINIPILE FOUNDATION WITH BOREDPILE FOUNDATION USING MAYERHOFF, TOMLINSON, AND PLAXIS METHODS V.8.6

Case Study : Sukoharjo Public Service Mal

By :

Ega Fatmawati ¹⁾, Tazkia Gina Mardhatilla ¹⁾, Pratikso ²⁾, Eko Muliawan Satrio ²⁾

In a building construction project, the work is usually divided into 2 parts, namely the superstructure such as beams, columns, etc. Then the lower structure is the foundation construction. The foundation is the bottom structure of the building which serves to channel the load into the soil without being accompanied by excessive settlement, differential settlement, and shear failure. In this case, we find out by trying to analyze the bearing capacity and efficiency of each type of foundation.

The calculation of the carrying capacity is carried out by the Meyerhof method and the Tomlinson method. While the computational calculations, using the Plaxis V.8.6 program.

Based on the analysis calculated by loading using the SAP2000 V.14 program, the maximum load is 1199.731 kN and the lateral load is 129.06 kN, by designing the 30cm x 30cm minipile foundation and 35 cm boredpile with a depth of 16 m. The results of the calculation of the carrying capacity using the Mayerhoff method are 1849.28 kN for minipile foundations, 1757.48 kN for bored pile foundations. Meanwhile, using Tomlinson's method, the bearing capacity results are 1944.97 kN minipile foundation, and 1884.9 kN boredpile foundation. For the reduction of the single pile foundation for the minipile foundation, the results are 0.903 cm in manual calculations and 0.164 cm in calculations using plaxis. While on the borepile foundation, the result is 1.078 cm manual calculation, 0.883 cm plaxis calculation. For the reduction of the pile foundation of the minipile foundation group, the results are 2.6 cm in manual calculations and 2.18 cm in calculations using plaxis. On the borepile foundation, the result is 3.02 cm manual calculation, 3.85 cm plaxis calculation.

Keywords: Foundation Bearing Capacity; Boredpile Foundation; Minipile Foundation; Mayerhoff method; Tomlinson method; Foundation Drop

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam rangka memberikan pelayanan yang cepat, sederhana, ekonomis, aman, dan nyaman, dibangun Gedung Mal Pelayanan Publik Sukoharjo sebagai tempat kegiatan atau untuk mengkoordinasikan pelayanan public atas barang, jasa dan/atau pelayanan administrasi. Pemilik proyek Pembangunan Mal Pelayanan Publik Sukoharjo yaitu Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Kabupaten Sukoharjo. Dengan luas bangunan 2620 m² dan memiliki 3 lantai yang berlokasi di Jl. Abu Tholib Sastrotenoyo No.378, Gabusan, Jombor, Kec. Bendosari, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah 57528.

Dalam Proyek pembangunan gedung, biasanya pekerjaan terbagi menjadi 2 bagian, yaitu struktur atas seperti balok, kolom, plat, dan lainlain. Kemudian struktur bawah yaitu kontruksi fondasi. Fondasi ialah struktur bagian bawah bangunan yang terletak dibawah permukaan tanah yang berfungsi meneruskan beban bagian bangunan lain diatasnya (*Bowles, 1997*).

Fondasi merupakan salah satu hal yang sangat penting dalam proses konstruksi karena fondasi merupakan penyangga yang menghubungkan secara langsung dan meneruskan ke tanah dasar. Dalam pelaksanaan konstruksi di lapangan, sangat penting untuk memperhatikan analisis daya dukung beban yang akurat dan tepat, guna menciptakan fondasi yang kokoh dan aman untuk pekerjaan konstruksi sipil. Pemilihan fondasi harus dapat menjamin posisi dan keamanan struktur terhadap gaya tumukan.

Setiap fondasi harus mampu menahan beban sampai batas aman yang ditentukan, termasuk daya dukung beban maksimum yang terjadi. Pondasi harus sesuai dengan tanah di sekitarnya. Tanah mempunyai peran yang sangat penting dalam konstruksi, yaitu sebagai dasar untuk menopang suatu struktur itu sendiri. Pada umumnya bangunan terletak di atas tanah, sehingga membutuhkan fondasi yang kokoh.

Dalam hal ini, kita mencari tahu dengan mencoba menganalisis daya dukung dan efisiensi dari masing-masing jenis fondasi tersebut, jika ada perbedaan teknis dalam perhitungannya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam tugas akhir ini, ialah :

- a. Berapa besar daya dukung antara pondasi *minipile* dan *bored pile* sesuai perhitungan manual dan program *Plaxis*?
- b. Berapa nilai efisiensi tiang kelompok pada fondasi *minipile* dan *bored pile*?
- c. Berapa besar gaya lateral yang terjadi pada fondasi *minipile* dan *bored pile*?
- d. Membandingkan hasil perbandingan perhitungan secara manual (metode *Meyerhoff* dan metode *Tomlinson*) dengan program *Plaxis*.

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dan Tujuan penelitian dalam Tugas Akhir ini, ialah:

- a. Mengetahui kapasitas daya dukung pada fondasi *minipile* dan *bored pile* sesuai perhitungan manual dan program *Plaxis*.
- b. Mengetahui nilai efisiensi tiang kelompok pada fondasi *minipile* dan *bored pile*.
- c. Mengetahui besar gaya lateral yang terjadi pada fondasi *minipile* dan *bored pile*
- d. Mengetahui hasil perbandingan perhitungan secara manual (metode *Meyerhoff* dan metode *Tomlinson*) dengan program *Plaxis*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penulisan Tugas Akhir, ialah:

- a. Data tanah yang digunakan yaitu data *sondir* yang diambil sampelnya di tanah sekitar Gedung Mal Pelayanan Publik.
- b. Pada penelitian ini, hanya membandingkan fondasi *minipile* dan *borepile* dari segi daya dukung dan penurunan menggunakan metode perhitungan manual dan metode perhitungan komputatif

- c. Metode manual yang digunakan yaitu metode *Mayerhoff* dan *Tomlinson*
- d. Metode perhitungan komputatif menggunakan program *Plaxis v.8.6*.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada Tugas Akhir ini terdiri dari 5 (bab), antara lain:

BAB – I PENDAHULUAN

Berisi Latar belakang penulisan, rumusan malah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, metode pengumpulan data, serta sistematika penulisan.

BAB – II STUDI PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang landasan teori *minipile* dan *bored pile* berupa pengertian – pengertian serta perhitungan teoritis yang merupakan rujukan yang relevan dengan pembahasan pada laporan tugas akhir.

BAB – III METODOLOGI

Bab ini menjelaskan tentang pengumpulan data dan analisis data, pemodelan menggunakan program *plaxis V.8.6*.

BAB – IV HASIL PEMBAHASAN

Semua uraian perhitungan perencanaan yang dilakukan oleh penulis terdapat pada bab ini.

BAB – V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari analisis perhitungan yang telah di dapatkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Tanah adalah ikatan antar partikel yang relatif lemah, yang dapat disebabkan oleh pengendapan oksida, bahan organik, atau karbonat antar partikel. Ruang antar partikel dapat berisi udara, air atau lainnya. (Hardiyatmo, 1992). Dengan demikian, lahan yang akan dibangun untuk infrastruktur membutuhkan lahan yang stabil dan tidak mengalami penurunan yang signifikan. Tanah merupakan 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 juga dapat diartikan sebagai bahan yang terdapat butiran (agregat) mineral - mineral padat yang terlepas dari satu sama lain secara kimia serta dari bahan organik yang telah melapuk dengan zat cair dan gas yang mengisi rongga-rongga kosong diantara partikel-partikel padat. (Pratikso, 2017)

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

Setelah mengidentifikasi tanah dan memperoleh tanah dari laboratorium , langkah selanjutnya adalah merencanakan pondasi dengan mempertimbangkan perkiraan beban yang akan diterima. Pada proyek Mal Pelayanan Publik Kabupaten Sukoharjo pondasi yang digunakan adalah pondasi tipe *minipile*. Hal ini dikarenakan jenis tanah yang teridentifikasi sebagai tanah lunak. Oleh karena itu, pondasi *mini pile* dapat dimanfaatkan sebagai pondasi kokoh bagi bangunan yang akan dibangun karena cukup kuat untuk menopang lapisan tanah yang lebih keras.

Untuk memperoleh tanah yang stabil dan tidak rusak, langkah pertama dalam pekerjaan konstruksi adalah menentukan tanah, yang mengidentifikasi geologi

dan daya tanah, termasuk sifat-sifatnya dan susunan lapisan tanah. Kemudian harus dilakukan dengan menggunakan perencanaan struktur yang akan dibuat dilapangan, seperti menentukan jenis, kedalaman dan ukuran pondasi yang paling efektif, dan paling aman untuk di gunakan. Diantara metode lain, Uji SPT (*Standard Penetration Test*), *Convexity Test*, *Core Drilling*, *Sondir* dan lain-lain. Dari sampel tanah yang dikumpulkan di lokasi, selanjutnya dilakukan uji laboratorium untuk menentukan sifat dan karakteristik tanah dilapangan.

2.2 Klasifikasi Tanah

Untuk memberikan informasi tentang fitur dan sifat tanah mengklasifikasikan atau mengumpulkan jenis tanah berdasarkan kesamaan atau definisi. Informasi ini biasanya disertakan dalam laporan klasifikasi tanah. Tujuan Klasifikasi tanah merupakan untuk memberikan informasi dasar kepada masyarakat umum mengenai isu – isu seperti berat jenis, kekuatan tanah, dan karakteristik pemadatan. (Bowles, 1989).

Sistem klasifikasi American Association of State Highway and Transportation 8 Official (AASHTO) dan jenis tanah yang menggunakan pendekatan Unified Soil Classification System (USCS) adalah 2 sistem yang paling umum digunakan untuk klasifikasi tanah.

2.3 Parameter Tanah

Parameter tanah merupakan dasar untuk mengetahui suatu perubahan yang terjadi pada tanah. Faktor - faktor dari parameter ini adalah jenis tanah, tingkat kepadatan, kadar air, dan lain sebagainya. Elemen tanah terdiri dari 3 elemen yaitu butiran padat, air dan udara. Berikut adalah parameter yang digunakan untuk menggambarkan macam macam pada tanah, yaitu:

a. *Modulus Young (Young's Modulus)*

Young's Modulus atau *Modulus Young* memiliki angka elastis tanah berupa perbandingan antara tegangan yang terjadi pada regangan. Angka ini diperoleh dari triaxial test. Angka (E_s) ditentukan dari data

sondir dan jenis tanah. Dapat dilihat pada **Tabel 2.1** mengenai perkiraan nilai *modulus young*.

Tabel 2. 1 Nilai Perkiraan *Modulus Young*

Macam Tanah	E (kN/m ²)
LEMPUNG	
Sangat Lunak	300-3000
Lunak	2000-4000
Sedang	4500-9000
Berpasir	30000-42500
PASIR	
Berlanau	5000-20000
Tidak Padat	10000-25000
Padat	50000-100000
PASIR DAN KRIKIL	
Padat	80000-200000
Tidak Padat	50000-140000
Lanau	2000-20000
Loses	15000-60000
Cadas	140000-1400000

(Bowless,1997) 

b. *Passion Ratio*

Untuk angka *passion ratio* yang ditentukan sebagai kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Angka *passion ration* dapat ditentukan melalui jenis jenis tanah pada **Tabel 2.2** dibawah ini:

Tabel 2. 2 Hubungan Antara Jenis Tanah dan *Poisson Ratio*

Jenis Tanah	<i>Poisson Ratio</i> (P)
Lempung Jenuh	0,4-0,5
Lempung Tak Jenuh	0,1-0,3
Jenis Tanah	<i>Poisson Ratio</i> (P)
Lempung Berpasir	0,2-0,3
Lanau	0,3-0,35
Pasir	0,1-0,1
Batuan	0,1-0,4
Umum Dipakai Tanah	0,3-0,4

(Das, 2011)

c. *Sudut geser dalam (ϕ)*

Angka *sudut geser dalam* (ϕ) dan kohesivitas yang menentukan ketahanan tanah, karena tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Angka tersebut dapat diperoleh melalui pengukuran *Direct Shear Test*, berikut adalah **Tabel 2.3** mengenai hubungan antara sudut geser dan jenis tanah.

Tabel 2. 3 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam
Kerikil Kepasiran	35°-40°
Kerikil Kerakat	35°-40°
Pasir Padat	35°-40°
Pasir Lepas	30°
Lempung Kelanauan	25°-30°

(Das, 2011)

d. *Kohesi*

Kohesi adalah gaya yang tarik menarik antara partikel tanah dan dinyatakan dalam berat / luas. Kohesi tanah berbanding lurus dengan kuat geser tanah dan kerapatan suatu benda. Nilai (c)

didapatkan dari *direct shear strength tes* dan *triaxial tes*, kerapatan dan jarak antara molekul benda menjadi pengaruh dari nilai kohesi. Nilai kohesi dapat diperoleh dari data sondir dan **Tabel 2.4** dibawah:

$$(c) = q_u/20 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

Tabel 2. 4 Nilai – nilai Kohesi (c) untuk deskripsi tanah

Jenis Tanah	Kohesi (kg/m ²)	Jenis Tanah	Kohesi (kg/m ²)
Kerikil Bergradasi Baik	#	Pasir Berlempung	0,766 ± 0,155
Kerikil Bergradasi Jelek	#	Lumpur	0,673 ± 0,063
Kerikil Berpasir	#	Lumpur Berlempung	0,647 ± 0,167
Kerikil Berlempung	#	Lempung	0,386 ± 0,105
Pasir Bergradasi Baik	0,401 ± 1,042	Lempung Organik	#
Pasir Bergradasi Jelek	0,232 ± 0,063	Lumpur Elastis	0,738 ± 0,301
Pasir Berlumpur	0,520 ± 0,063	Lempung Jenuh	1,048 ± 0,345
Pasir Berlempung, Lumpur	0,513 ± 0,218	Tanah Organik	#

2.3.1 Klasifikasi Tanah dari Data Sondir

Klasifikasi tanah menurut benda hasil benda uji sondir di lapangan dapat menentukan jenis tanahnya sesuai dengan data tekanan *conus* (qc) dan *hambatan pelekat* (fs) dapat dilihat **Tabel 2.5** .

Tabel 2. 5 Klasifikasi Tanah dan Data Sondir

Hasil Sondir		Klasifikasi
Qc (Kg/cm ²)	Fs (Kg/cm ²)	
6,0	0,15-0,40	Humus, lempung sangat lunak
6,0-10,0	0,20	Pasir kelanauan lepas, pasir sangat lepas
	0,20-0,60	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek
10,0-30,0	0,10	Krikil lepas
	0,10-0,40	Pasir lepas
	0,80-2,00	Lempung agak kenyal
30-60	1,50	Pasir kelanaun, pasir agak padat
	1,0-3,0	Lempung atau lempung kelanauan kenyal
	1,0	Kerikil kepasiran lepas
60-150	1,0-3,0	Pasir padat, pasir kelanauan atau lempung padat, dan lempung kelanauan
	3,0	Lempung kekerikilan kenyal
150-300	1,0-20	Pasir padat, pasir kekerikilan, dan pasir kasar

(Das, 2011)

Hubungan antara konsistensi pada tekanan conus serta *undrained cohesion* merupakan setara, bila nilai c dan q_c tinggi maka tanah bertambah keras. Pada tabel ini tanah keras berada pada $q_c > 40 \text{ kg/cm}^2$, dan tanah lunak berada pada $q_c < 2,5 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan tanah sedang berada pada $q_c > 200 \text{ kg/cm}^2$, dan tanah lunak berada pada $q_c < 20 \text{ kg/cm}^2$. Selengkapnya **Tabel 2.6** didapat dilihat.

Tabel 2.6 Hubungan Antara Konsistensi dengan Tekanan

Konsistensi Tanah	Tekanan Conus q_c (kg/cm^2)	<i>Undrained Cohesion</i> (T/m^2)
<i>Very Soft</i>	$<2,50$	$<1,25$
<i>Soft</i>	$2,50-5,0$	$1,25-2,50$
<i>Medium Stiff</i>	$5,0-10,0$	$2,50-5,0$
<i>Stiff</i>	$10,0-20,0$	$5,0-10,0$
<i>Very Stiff</i>	$20,0-40,0$	$10,0-20,0$
<i>Hard</i>	$>40,0$	$>20,0$

Conus

(Bogeman, 1965)

Satu dari beberapa parameter daya dukungan tanah adalah kepadatan tanah yang didapatkan dari uji penetrasi, dimana sifat yang dikorelasikan antara lain γ_d , y_m , C_c , C_v , q_u , c dan ϕ . Hubungan antara kepadatan dengan *Relative Density*, nilai $N-SPT$, q_c dan ϕ adalah setara, dibawah ini merupakan **Tabel 2.7**.

Tabel 2. 7 Mengenai Hubungan antara Konsistensi dan tekan Conus

Kepadatan	Relatif Density (γ_d)	Nilai N- SPT	Tekanan Conus q_c (Kg/Cm ²)	sudut Geser (ϕ) (°)
<i>Very Loose</i> (Sangat Lepas)	< 0,2	< 4	< 20	< 30
<i>Loose</i> (Lepas)	0,2-0,4	4-10	20-40	30-35
<i>Medium Dense</i> (Agak Kompak)	0,4-0,6	10-30	40-120	35-40
<i>Dense</i> (Kompak)	0,6-0,8	30-50	120-200	40-45
<i>Very Dense</i> (Sangat Kompak)	0,8-1,0	>50	>200	>45

(Mayerhoff, 1965)

2.4 Fondasi

Ialah bagian bawah bangunan yang bertujuan untuk menyalurkan beban ke dalam tanah tanpa disertai penurunan yang berlebihan, penurunan diferensial, dan keruntuhan geser (Pratikso, 2022)

Jadi bisa disimpulkan bahawa fondasi ialah struktur dasar pada bangunan yang berperan meneruskan beban ketanah dan menghindari perpindahan ataupun penyusutan pada fondasi tersebut.

2.4.1 Klasifikasi Fondasi

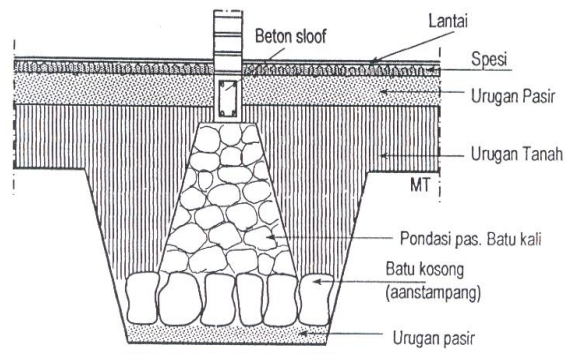
Pondasi adalah struktur bawah bangunan yang mentransfer beban ke batu atau tanah dibawahnya. Secara umum, pondasi 2, yaitu pondasi dangkal dan dalam. pondasi dangkal adalah pondasi yang hanya bisa menahan beban minimal. Sedangkan beban bangunan yang lebih berat dapat ditopang oleh pondasi dalam (Hardiyatmo, 2002).

- Macam-macam fondasi dangkal:

a. Fondasi Memanjang

Fondasi memanjang sering disebut dengan fondasi batu kali yang berfungsi untuk menyangga kolom yang jaraknya dekat, biasa juga

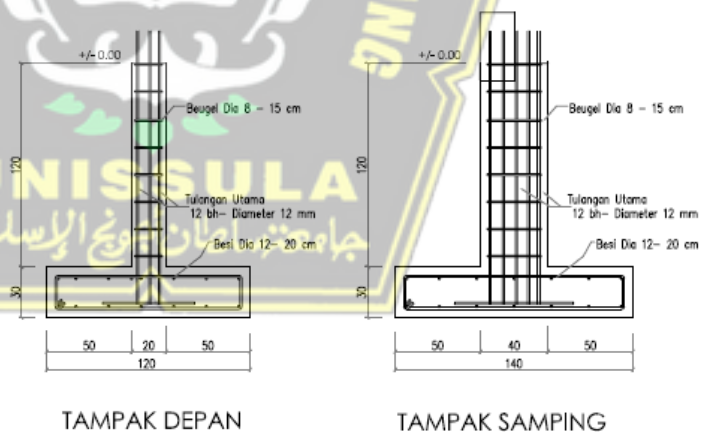
digunakan untuk menyangga dinding. Bahan yang digunakan biasa berupa batu kali, pasangan batu bata atau beton tak bertulang.



Gambar 2. 1 Fondasi Memanjang

b. Fondasi Telapak (spread footing)

Fondasi telapak berfungsi untuk tumpuan kolom tunggal, umumnya memakai beton menggunakan tulangan dimana bentuknya menyerupai telapak & mempunyai tebal dengan ukuran yang disesuaikan. Terkadang dipakai buat bangunan tingkat.



Gambar 2. 2 Fondasi Telapak

c. Fondasi Rakit (*raft foundation*)

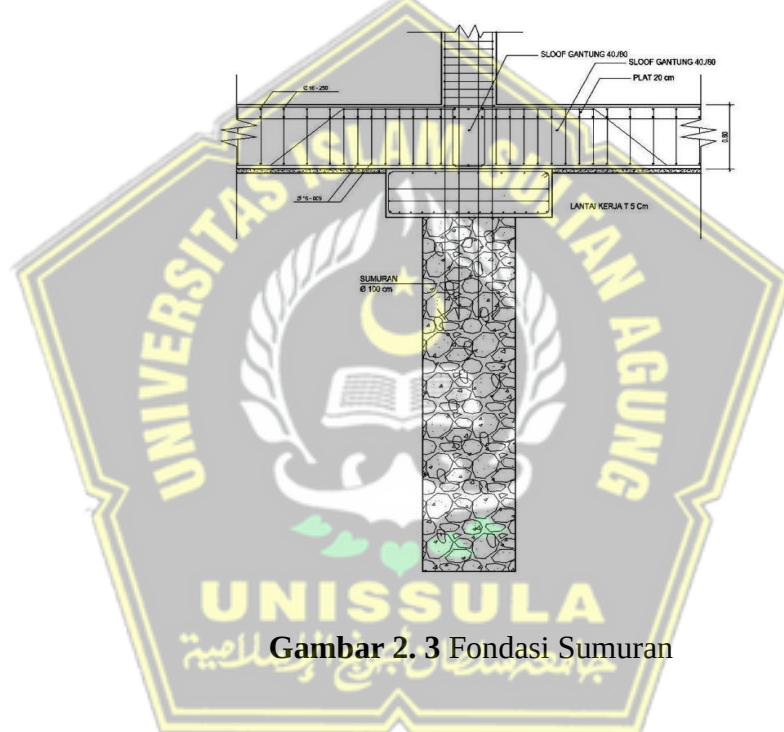
Fondasi rakit biasanya digunakan pada daerah yang tanahnya bersifat lunak, karena tanah tersebut memiliki daya dukung yang

rendah, maka sangat diperlukan fondasi dengan bentuk yang agak lebar.

- Macam-macam fondasi dalam:

- a. Fondasi Sumuran

Pondasi cyclops atau sumuran merupakan fondasi transisi antara pondasi dalam dan dangkal, namun lebih digolongkan menjadi fondasi dalam karena lebih panjang dari lebarnya. Fondasi ini berbentuk bulat berlubang dan ditutup dengan beton bertulang atau pracetak dengan diameter yang bervariasi, antara lain 250mm, 300mm, 350mm, 400mm.



Gambar 2. 3 Fondasi Sumuran

- b. Fondasi *Minipile*

Pondasi *mini pile* adalah tiang pancang yang berukuran kecil yang digunakan untuk pondasi bangunan bertingkat rendah dan tanah keras, dan digunakan untuk memperkuat pondasi berbagai bangunan yang terbuat dari beton precast. Beberapa di antaranya adalah, gedung, jembatan, dermaga, dan dolken. Pemancangan dilakukan dengan menggunakan alat pancang *Drop Hammer* atau *Hydraulic Jacked Piling System* hingga menyentuh tanah yang keras. Tiang pancang *minipile* memiliki penampang berbentuk bulat, persegi, dan segitiga.

Tiang pancang segitiga, yang memiliki ukuran diameter 28cm dapat menahan beban sebesar 25 - 30 ton, sedangkan yang berdiameter 30cm mampu menahan beban 35 - 40 ton. Dalam hal itu, tiang persegi yang berdiameter 25x25 bisa menahan beban sebesar 40-50ton. Tiang penampang segitiga dengan ukuran 28 mampu menahan beban 25-30ton, ukuran 32 dapat menopang beban mulai 35-40ton. Dengan variasi panjang 3-9meter.

Fondasi *minipile* menurut pemasangannya:

a. *Minipile* pracetak

Minipile pracetak adalah *minipile* yang dicetak dan dicor di dalam bekisting, kemudian setelah cukup kuat, diangkat dan dipancangkan.

b. Tiang pancang dicor di tempat (*cast in place pile*)

Tiang pancang dicor di tempat ini menurut teknik penggaliannya terdiri dari beberapa macam cara, yaitu cara penetrasi alas dan cara digali.

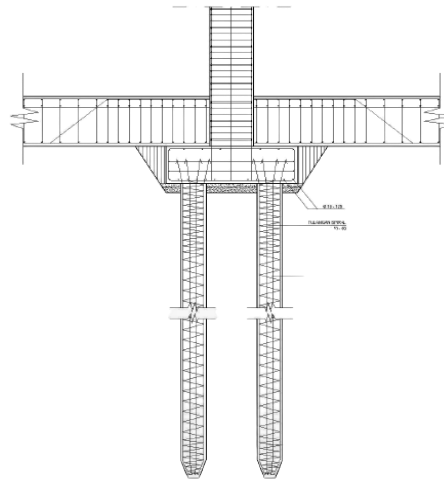
Kelebihan fondasi *minipile*:

- a. Bebas getaran
- b. Bebas pengotoran lokasi kerja dan udara serta bebas dari kebisingan
- c. Daya dukung actual per tiang diketahui
- d. Harga yang ekonomis
- e. Lokasi kerja yang terbatas

Metode pelaksanaan fondasi *minipile*

Sebuah proyek konstruksi melibatkan banyak aspek teknologi. Penggunaan Teknik tepat, praktis, cepat dan aman, sangat bermanfaat dalam penyelesaian pekerjaan. Langkah dari mengerjakan pondasi *minipile*:

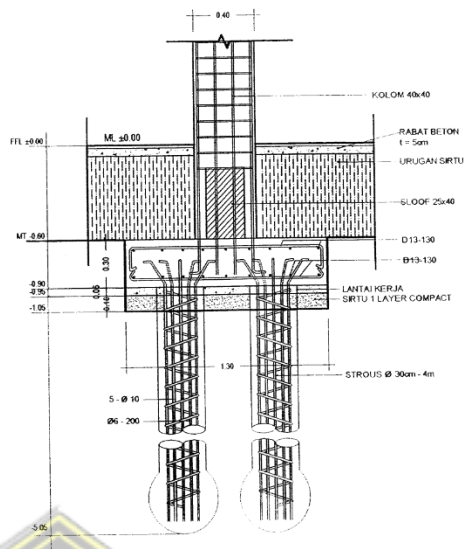
- a. Untuk menghitung daya dukung yang didasarkan pada karakteristik tanah dasar yang diperoleh dari survai tanah
- b. Menentukan kedalaman, tipe, dan dimensinya
- c. Ukuran dan kedalaman fondasi yang ditentukan dari daya dukung di ijin dipertimbangkan terhadap penurunan toleransi.



Gambar 2. 4 Fondasi Minipile

c. Fondasi Bor (*Bored Pile*)

Fondasi *Bored pile* ialah tiang fondasi dalam yang berbentuk tabung pejal, yang memiliki fungsi untuk meneruskan beban struktur bangunan di atasnya dari permukaan tanah sampai ke dalam lapisan tanah keras di bawahnya. Fondasi *bored pile* mempunyai fungsi yang sama seperti fondasi tiang pancang atau fondasi dalam lainnya. Perbedaan di antara kedua fondasi tersebut ialah pada cara pelaksanaan pengerjaannya. Pelaksanaan Fondasi *bored pile* dimulai pada pembuatan lubang di tanah dengan cara tanahnya dibor terlebih dahulu. Setelah elevasi kedalaman pengeboran tercapai kemudian dilakukan pengecoran beton betulang terhadap lubang yang telah dibor. Sistem pengeboran dapat dilakukan dengan berbagai jenis, baik manual atau hidrolik.



Gambar 2. 5 Fondasi *Bored pile*

Kelebihan fondasi *bored pile* antara lain:

- Cocok digunakan di lingkungan yang padat
- Kedalaman dapat disesuaikan oleh kebutuhan
- Tidak ada getaran
- Fondasi *bored pile* kuat menahan beban lateral yang lebih besar.
- Bagian ujung fondasi lebih besar, yang dapat meningkatkan daya dukung.

Kekurangan fondasi *bored pile*:

- Proses pengeboran sangat bergantung pada cuaca
- Perbesaran ujung fondasi tidak dapat terjadi pada tanah pasir
- Bisa menimbulkan longsor pada kondisi tanah tertentu
- Apabila lubang bor kemasukan air, atau terisi dengan lumpur maka dapat menghambat proses pengeboran.

Biasanya jenis fondasi ini dalam segi pelaksanaannya dapat terdiri dari tiga (3) jenis, yaitu:

a. Sistem *Augering*

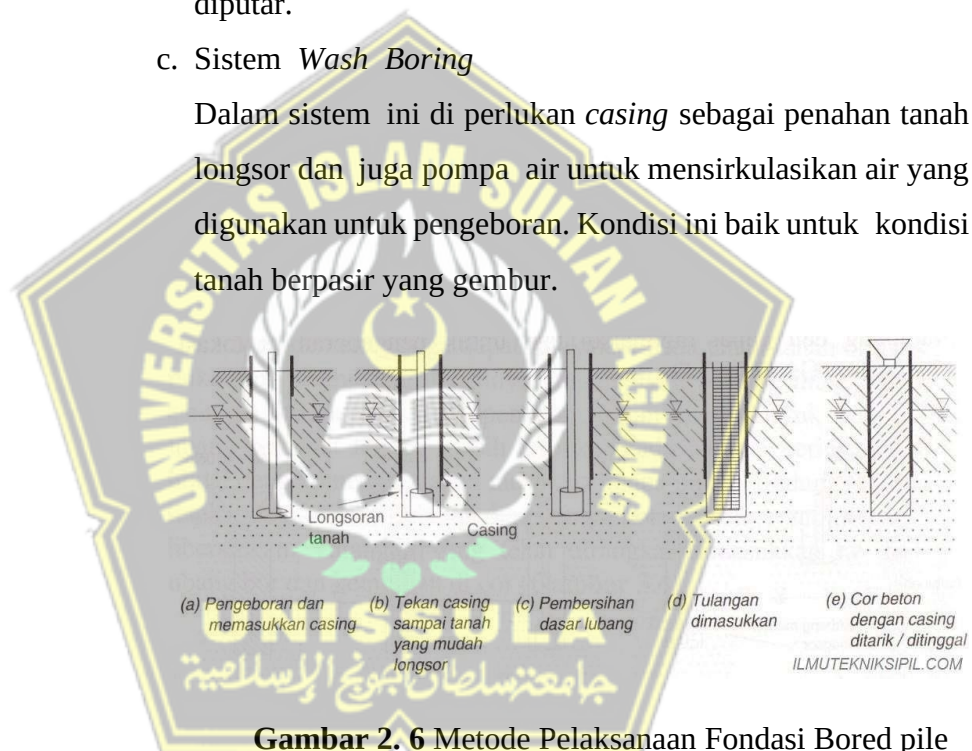
Sistem ini, selain bor itu untuk keadaan di lapangan, tanah yang rawan longsor perlu memiliki *casing* atau *bentonite slurry* yang berfungsi sebagai penahan tanah longsor.

b. Sistem *Grabbing*

Dengan menggunakan sistem ini, di perlukan *casing* (*continuous semirotary motion casing*) diperlukan sebagai penghalang longsor di sekitar lokasi. *Casing* dimasukkan ke dalam tanah dengan menekannya sambil diputar.

c. Sistem *Wash Boring*

Dalam sistem ini di perlukan *casing* sebagai penahan tanah longsor dan juga pompa air untuk mensirkulasikan air yang digunakan untuk pengeboran. Kondisi ini baik untuk kondisi tanah berpasir yang gembur.



Gambar 2. 6 Metode Pelaksanaan Fondasi Bored pile

2.5 Kapasitas Daya Dukung Fondasi

Kapasitas daya dukung merupakan kemampuan tanah untuk memberikan dukungan berupa beban terbesar dari bangunan di atasnya. Daya dukung tanah mampu menahan gaya geser yang terjadi pada tanah saat mengalami penurunan akibat beban di atasnya. Stabilitas ditentukan oleh kedalaman fondasi. Persamaan yang digunakan harus didasarkan pada kemampuan kuat geser tanah.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

τ = kemampuan kuat geser tanah (kg/cm²)

c = Kohesi tanah (kg/cm²)

σ = Tegangan normal yang terjadi pada tanah (kg/cm²)

ϕ = Sudut geser tanah (°)

Tabel 2. 8 Hal-hal yang perlu dipertimbangkan untuk penentuan harga N

Klasifikasi	Hal-hal yang perlu diperhatikan dan dipertimbangkan	
Hal yang perlu dipertimbangkan secara menyeluruh dari hasil-hasil survei sebelumnya	Unsur tanah, variasi daya dukung vertikal (kedalaman permukaan dan susunannya). Adanya lapisan lunak (ketebalan konsolidasi atau penurunan), kondisi drainase dan lain-lain	
Hal-hal yang perlu diperhatikan langsung	Tanah pasir (tidak kohesif)	Berat isi, sudut geser dalam, ketahanan terhadap penurunan dan daya dukung tanah
Tanah lempung (kohesif)	Keteguhan, kohesi, daya dukung dan ketahanan terhadap hancur	

(Sosrodarsono, S., 1983)

Menentukan sudut geser pada tanah non-kohesif yang mana biasanya tanah berpasir menggunakan persamaan Dunham (1962) berikut:

1. Untuk tanah berpasir yang berbentuk bulat dan merata atau cenderung memiliki distribusi persegi yang tidak merata, sudut geser dihitung menurut rumus:

$$\phi = \sqrt{12N + 15} \dots\dots\dots (2.3)$$

2. Untuk butir pasir yang kadarnya sama dengan butir pasir persegi, persamaan sudut geser sebagai berikut:

$$\phi = 0,3 N + 27 \dots\dots\dots (2.4)$$

2.5.1 Perhitungan Daya Dukung Ujung Fondasi Metode *Mayerhoff*

Daya dukung fondasi tiang menggunakan data sondir dengan metode *Mayerhoff*. Metode langsung ini telah dikemukakan oleh beberapa ahli seperti *Mayerhoff*, Tomlinson dan Begeman. Daya dukung fondasi tiang dinyatakan dengan rumus berikut:

Persamaan daya dukung ujung tiang metode *Mayerhoff*, 1956 adalah:

$$Q_p = \frac{q_c \times A_p}{3} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

Q_p = daya dukung ujung tiang (kg)

q_c = tahanan ujung sondir (kg/cm^2)

A_p = luas penampang tiang (cm^2)

3 = faktor keamanan daya dukung tiang

Persamaan daya dukung selimut tiang adalah:

$$Q_s = \frac{JHL \times K_a}{5} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

Q_s = daya dukung selimut tiang (kg)

JHL = jumlah hambatan lekat (kg/cm^2)

K_a = keliling tiang (cm^2)

5 = faktor keamanan gesekan selimut

Tabel 2. 9 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

(Hardiyatmo,1996)

2.5.2 Perhitungan Daya Dukung Ujung Fondasi Metode Tomlison

Daya Dukung Ultimit Ujung Tiang (Q_p) Untuk tanah kohesif:

$$Q_p = \frac{(N_c \times C_u + \gamma \times D_f) \times A_p}{3} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dengan:

Q_p = daya dukung (kg)

N_c = faktor daya dukung dibawah ujung tiang bor, bernilai 9

γ = berat jenis tanah lempung

D_f = kedalaman tiang

A_p = luas penampang ujung tiang (cm^2)

C_u = nilai kohesi tanah, dengan rumus

$$C_u = 1/20 \times q_c \dots \dots \dots (2.8)$$

Persamaan daya dukung selimut tiang (Q_s) pada tanah lempung dengan metode Tomlinson, 1986 adalah:

$$Q_s = s \times C_s \times A_s \dots \dots \dots (2.10)$$

$$Q_s = s \times \alpha \times C_u \times K_a \times D_f \dots \dots \dots (2.11)$$

Dengan:

s = factor bentuk, untuk tiang biasa; $s = 1$

C_s = adhesi antara tiang dengan tanah

A_s = luas selimut tiang

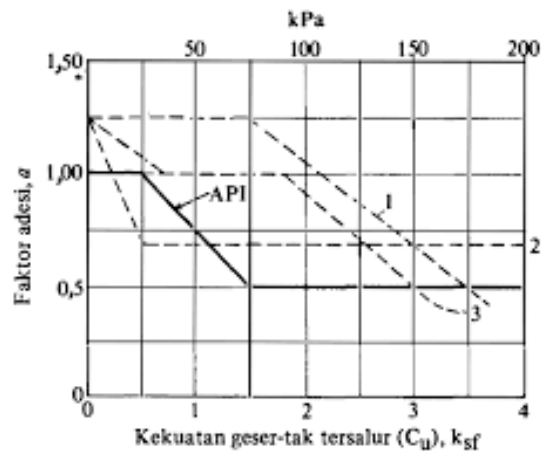
C_u = kuat geser tanah

K_a = keliling alas

D_f = kedalaman tiang

Untuk mendapatkan nilai faktor adhesi empiris dapat dilihat dari grafik pada

Gambar 2.7



Gambar 2. 7 Faktor Adhesi (Tomlinson dan woodword, 2015)

2.5.3 Daya Dukung Ijin Fondasi

Rumus daya dukung ijin fondasi adalah

$$Q_{all} = Q_p + Q_s \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

Q_{all} = Daya dukung ijin (kg)

Q_p = Daya Dukung Ujung Tiang (kg)

Q_s = Tahanan Gesek antara tanah dengan selimut fondasi (kg)

2.6 Efisiensi Daya Dukung Fondasi (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 *Concverse-Labarre*:

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

Dimana:

E_g = efisiensi kelompok tiang (%)

m = jumlah tiang arah vertical

n = jumlah kolom arah horizontal

θ = arc tg d/s dalam satu baris

s = jarak pusat ke pusat tiang (m)

d = diameter tiang (m)

Persamaan menurut metode *los angeles group*

$$E_g = 1 - \frac{D}{s.m.n} [m(n-1) + n)m - 1) + \sqrt{2} (n-1)(m-1)] \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana:

m = banyaknya tiang perbaris

D = diameter tiang

n = banyaknya tiang

s = jarak pusat ke pusat tiang

p = keliling tiang

Setelah didapatkan hasil dari efisiensi tiangnya, selanjutnya adalah persamaan izin kelompok tiang

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_{all} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana:

Q_g = kapasitas izin kelompok tiang (kN)

E_g = nilai efisiensi untuk pile group (%)

n = jumlah tiang

Q_a = beban maksimal untuk single pile (kN)

Selain menggunakan perhitungan efektif tiang, menurut pengalaman ahli di bidang rekayasa geoteknik, perilaku fondasi tiang pancang pada tanah berpasir harus mengacu pada peraturan sebagai berikut:

1. Fondasi tiang pancang dengan jarak antar pusat ke pusat, $S > 3D$ maka besar Q_g adalah sebesar ΣQ_a .
2. Sedangkan pada fondasi *bored pile* jarak antar tiang $s \approx 3D$ maka besar Q_g diambil sebesar 2/3 hingga 3/4 dari ΣQ_a .

Persamaan untuk perhitungan pembebanan maksimum sebagai berikut:

$$Q_i = \frac{V}{n} + \frac{M_y X_i}{\Sigma X^2} + \frac{M_x Y_i}{\Sigma Y^2} \dots \dots \dots (2.16)$$

Keterangan:

Q_i = Besarnya gaya yang bekerja pada fondasi tiang

X = Absis tiang terhadap titik berat kelompok tiang

Y = Ordinat tiang terhadap titik berat kelompok tiang

ΣX^2 dan ΣY^2 = Jumlah kuadrat absis dan ordinat tiang

Untuk persamaan perhitungan kapasitas kelompok tiang (*pile group*)

$$\Sigma = m.n (Q_p + Q_s) \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan:

M = Jumlah Tiang antar Tiap baris

n = Jumlah Harga Tuang dalam Satu baris

Q_p = Tahanan untuk daya dukung Ujun

Q_s = Tahanan Untuk daya dukung Selimut

2.7 Menentukan Banyak Tiang Fondasi yang dibutuhkan

Untuk menentukan kebutuhan fondasi, perancang harus mengetahui berapa banyak fondasi yang dibutuhkan untuk menopang beban bangunan atas, karena jika fondasi tunggal tidak dapat menahan beban maka harus digunakan fondasi kelompok, berikut persamaannya:

$$N_p = \frac{V}{Q_{tiang}} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana:

N_p = jumlah tiang

V = beban strukturnya (kN)

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

2.8 Menentukan Jarak Antar Tiang

Penentuan jarak antar tiang sangat penting dalam mempersiapkan fondasi tiang. Penentuan jarak antar tiang akan sangat mempengaruhi gaya gesek yang dihasilkan pada tanah. Jarak antar tiang juga sangat mempengaruhi besarnya penurunan yang terjadi pada fondasi tiang, sehingga jarak antar tiang tidak ditentukan hanya dengan menggunakan metode estimasi tetapi juga memerlukan perhatian analitis. Menentukan efisiensi jarak latar belakang dapat dianalisis menggunakan rumus:

$$2,5 D < s < 3D \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana D adalah diameter tiangnya.

Dan untuk jarak as fondasi ke tepi pile cap dapat di ketahui nilainya dengan persamaan:

$$S < 1,25 \times D \dots \dots \dots (2.20)$$

Dimana nilai D didapat dari nilai diameter fondasi tiang.

2.9 Perhitungan Daya Dukung Lateral dengan Metode Brooms

Daya dukung lateral yang digunakan adalah jenis tanah granular. Untuk nilai nilai n_h pada tanah seperti **Tabel 2.10** dan **Tabel 2.11**

Tabel 2. 10 Nilai nilai n_h untuk tanah granuler ($c=0$)

Kerapatan relative (D_r)	Tak 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	1336	4850	11779
Reese et al	5300	16300	34000

(Hary Cristady, 2013)

Tabel 2. 11 Nilai nilai n_h untuk tanah kohesif

Tanah	$N_h, (\text{Kn/m}^3)$	Referensi
Lempung terkonsolidasi	166 - 3518	Reese dan Matlock (1956)
normal lunak	277 - 554	Davisson - Prakash (1963)
Lempung terkonsolidasi	111 - 277	Peck dan Davisson (1962)
Normal organic	111 - 831	Davisson (1970)
Gambut	55	Davisson (1970)
	27,7 - 111	Wilson dan Hitls (1967)
Loess	8033 - 11080	Bowles (1968)

(Poulous dan Davis, 1980)

Untuk perhitungan daya dukung lateral:

- Cek Kekakuan Tiang Akibat Beban Lateral

$$E = 4700 \times \sqrt{f_c} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$I = \frac{1}{6} \times \pi \times D^4 \dots\dots\dots(2.22)$$

Cara menentukan factor kekakuan R dan T.

- Pada tanah lempung yang kaku dan mengalami konsolidasi, maka modulus tanah dianggap konstan kedalam.

$$R = \sqrt[4]{\frac{El}{Kh \times d}} \dots\dots\dots(2.23)$$

- Untuk tanah lempung dan granular yang mengalami konsolidasi normal, maka modulus tanah menjadi tidak konstan atau bertambah secara linier dikedalaman tertentu.

$$T = \sqrt[5]{\frac{Ep \times lp}{nh}} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$4T = 4 \times T \dots\dots\dots(2.25)$$

- Keterangan:

E_p = modulus elastis 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)

- Cek Keruntuhan Tanah Akibat Beban Lateral

Untuk mengetahui apakah tanah runtuh akan runtuh karena beban lateral, perlu dihitung besar momen maksimum yang ditahan oleh tiang ketika didotong secara horizontal untuk mencegah agar tidak runtuh

$$M_{\max} = B \times Y \times L^3 \times K_p \dots\dots\dots(2.26)$$

Ketika $M_{\max} > M_y$, tanah tidak runtuh, dan H_u (Horizontal Ultimate) diperoleh dari kekuatan material tiang terhadap beban sesaat.

- Cek Nilai Daya Dukung Lateral (H_u)

Pada metode *Broms* (1964) biasanya digunakan untuk menghitung maksimum tanah akibat gaya lateral (*rigid pile*) atau (*elastic pile*).

Rumus *elastic pile*:

$$f = 0,82 \sqrt{\frac{H_u}{d \times K_p \times Y}} \dots\dots\dots(2.27)$$

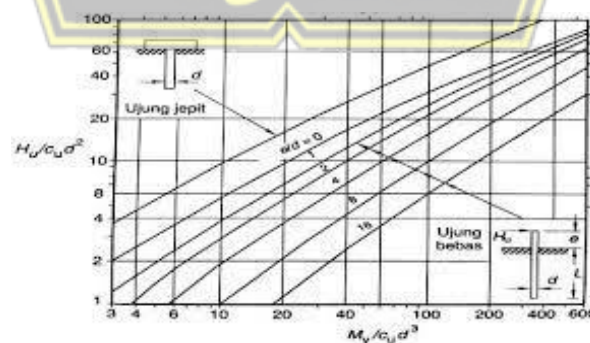
$$H_u = \frac{2 My}{e + \frac{2f}{3}} \dots\dots\dots(2.28)$$

$$H_{ijin} = H_u / S_f \dots\dots\dots(2.29)$$

Keterangan:

- H_u = daya dukung lateral tiang (kN)
 My = momen max yang dapat ditahan tiang (kN.m)
 Y = berat volume tanah (kN/m³)
 D = diameter (m)
 E = jarak dari titik beban ke horizontal ke permukaan tanah (m)
 K_p = koefisiensi tekanan tanah pasif
 F = jarak kedalaman titik dimana gaya geser = 0 (m)

Nilai H_u yang didapatkan menggunakan grafik Tahanan



Gambar 2. 8 Grafik Nilai Tahanan Momen Ultimit
 (Hardiyatmo, 2013)

Perhitungan tahanan lateral izin adalah:

$$\text{Tahanan momen ultimit (grafik)} = \frac{H_u}{D^4 \times Y \times k_p} \dots\dots\dots(2.31)$$

Tabel 2. 12 Nilai-nilai untuk Tanah Granular

Kerapatan Relatif (dr)	Tak Padat	Sedang	Padat
Interval nilai A	100 – 300	300 – 1000	1000 – 2000
Nilai A dipakai	200	600	1500
Kerapatan relatif (dr)	Tak Padat	Sedang	Padat
Nh, pasir kering atau lembab (Kn/m ³), Terzaghi	2425	7275	19.400
Nh, pasir terendam air (Kn/m ³), Terzaghi	1386	4850	19.400
Reese et al	5300	16300	34000

(Hardiyatmo, 2013)

Tabel 2. 13 Nilai-nilai untuk tanah kohesif

Tanah	Nh (Kn/m ³)	Referensi
Lempung	166 – 3518	Reese & Matlock 1950
Terkonsolidasi Normal Lunak	277 – 554	Davisson – Prakash 1963
Lempung Tekonsolidasi Normal Organik	111 – 227	Pech dan Davisson 1962
	111 – 831	Davisson 1970
Gambut	55	Davisson 1970
	17,7 – 111	Wilson dan Hitls 1976
Loess	8033 – 1108	Bowles 1968

(Puoloos dan Davis, 1980)

2.10 Penurunan Tiang

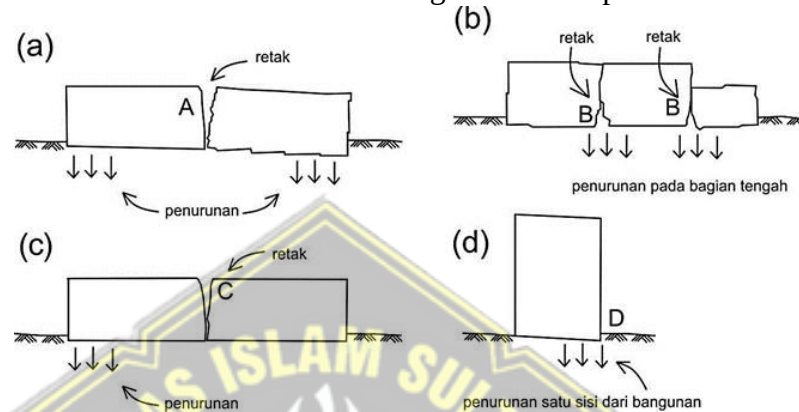
Didalam perencanaan fondasi, apapun jenis fondasi tersebut yang wajib diperhatikan adalah sebagai berikut:

- Besar nilai penurunan yang akan terjadi pada fondasi, dan

b. Waktu yang diperlukan pada proses penurunan

Penurunan ini dapat berbahaya karena dapat mengakibatkan keruntuhan fondasi jika penurunan tidak merata atau tidak serentak. Sebaliknya, jika fondasi mempunyai penurunan yang seragam atau pada saat yang bersamaan, maka tidak berakibat fatal pada bangunan. Dibawah ini adalah jenis-jenis penurunan tanah:

Gambar 2. 9 Contoh Kerusakan bangunan akibat penurunan tanah



- Pada gambar (a) terjadi penurunan tanah pada bagian samping bangunan, sehingga terjadi retak pada bagian tengah bangunan.
- Pada gambar (b) terjadi penurunan tanah pada bagian tengah bangunan, sehingga bagian bawah bangunan mengalami momen tarik dan bagian atas mengalami gaya tekan, mengakibatkan bagian tengah bangunan retak atau pecah.
- Pada gambar (c) terjadi penurunan tanah hanya pada satu sisi yang mengakibatkan keretakan pada bagian yang bertanda C
- Pada gambar (d) tanah yang menopang bangunan mengalami penurunan pada bagian sisi bangunan yang dapat menyebabkan bangunan miring.

Pada keruntuhan daya dukung tanah (*bearing capacity failure*), dalam proses penggalian tanah selalu dikaitkan dengan perubahan tegangan di dalam tanah. Penurunan tanah selalu berhubungan dengan perubahan tegangan pasif (Hardiyatmo, 1996).

2.10.1 Penurunan Elastis Tiang Tunggal

Berdasarkan asumsi Poulus dan Davis (1980) bahwa penurunan jangka panjang tidak perlu dipertimbangkan sampai melebihi penurunan yang diijinkan, karena penurunan jangka panjang itu sendiri relatif lemah dan berlangsung cukup lama. Hal ini disebabkan fondasi tiang pancang dalam distribusi beban ujung tiang dan daya dukung selimut fondasi tiang.

Penurunan fondasi tiang dapat dihitung menggunakan rumus persamaan berikut:

- a. Untuk tiang apung atau friksi

$$S = \frac{QI}{Es D} \dots\dots\dots(2.32)$$

Dimana:

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

- b. Untuk daya dukung ujung tiang

$$S = \frac{QI}{Es D} \dots\dots\dots(2.33)$$

Keterangan

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

Keterangan :

S = Besar penurunan yang terjadi pada tiang tunggal.

Q = Beban yang ditahan pada fondasi

I_o = Faktor penurunan untuk tiang yang tidak mudah mampat (**Gambar 2.5**).

R_k = Faktor koreksi kemudah mampatan tiang

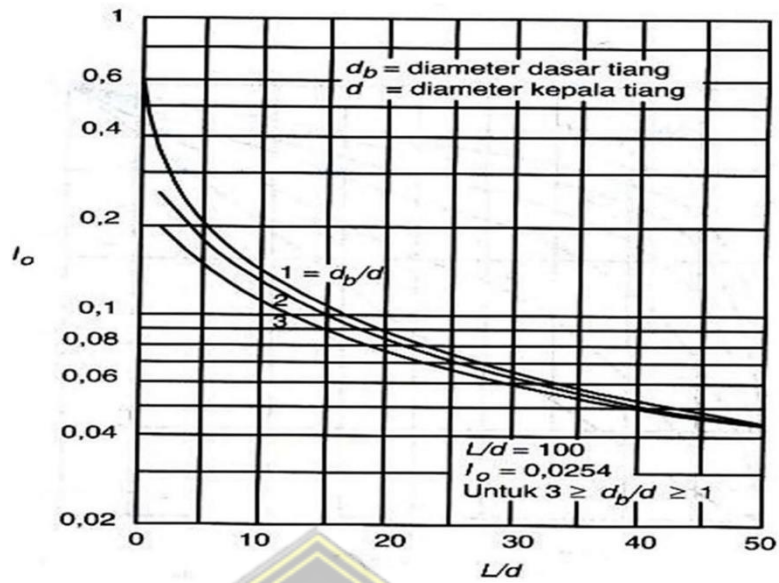
R_h = Faktor koreksi untuk tebal lapisan yang terletak pada tanah keras

R_μ = Faktor koreksi angka Poisson μ

R_b = Faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung

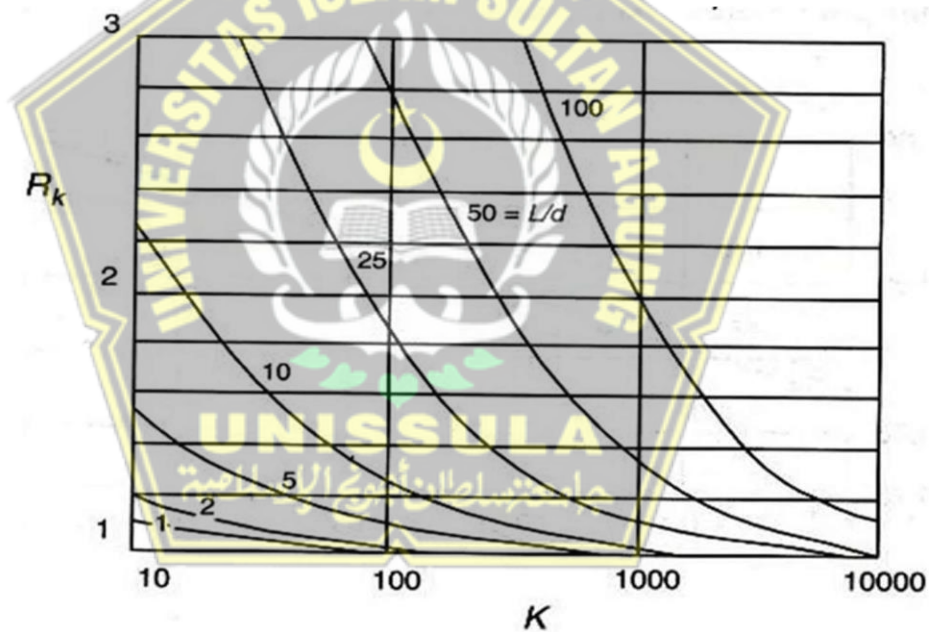
h = Kedalaman total lapisan tanah dan ujung tiang ke muka tanah

D = Diameter tiang



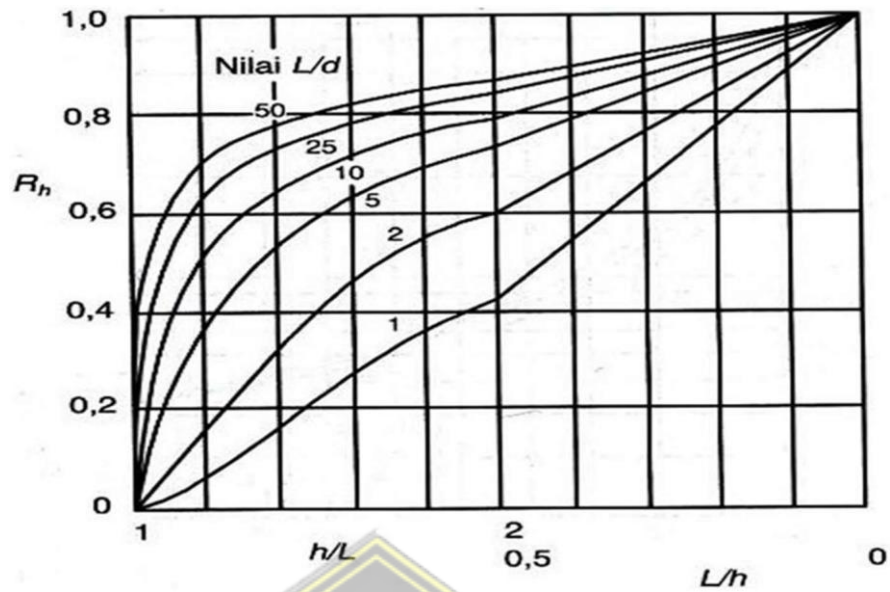
Gambar 2. 10 Penurunan I_o (Poulos dan Davis)

(Hardiyatmo, 2002)

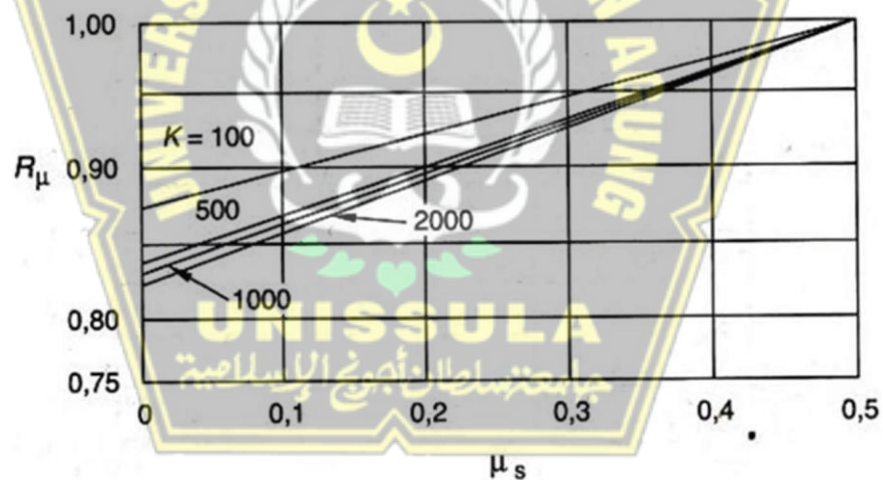


Gambar 2. 11 Koreksi Kompresi, R_k (Poulos dan Davis)

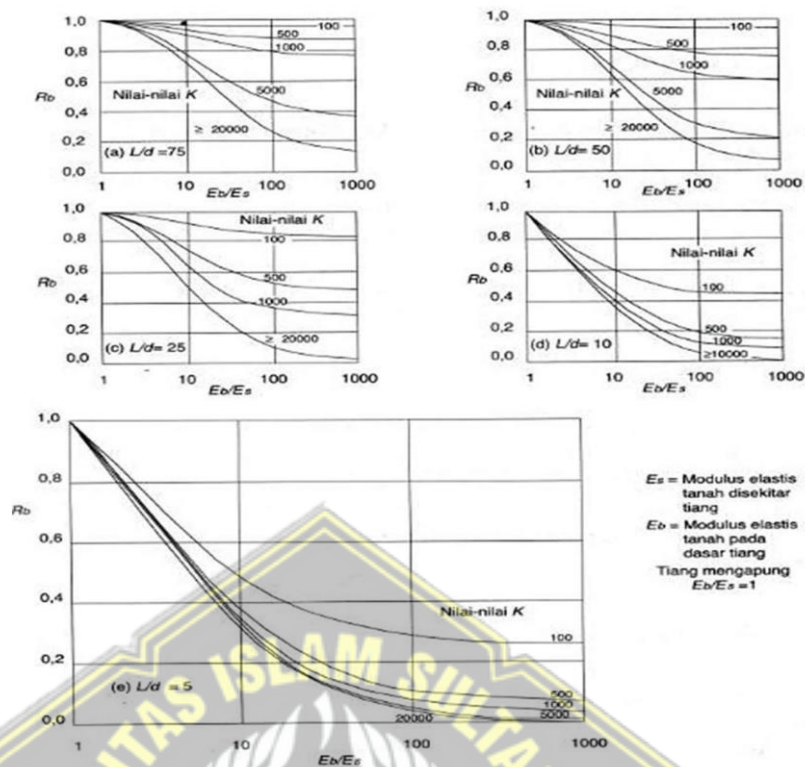
(Hardiyartmo, 2002)



Gambar 2. 12 Koreksi Kedalaman, R_h (Poulus dan Davis)
(Hardiyatmo, 2002)



Gambar 2. 13 Koreksi angka Poisson, R_μ (Poulus dan Davis)
(Hardiyatmo, 2002)



Gambar 2. 14 Koreksi kekakuan lapisan pendukung, R_b
(Poulos dan Davis)
(Hardiyatmo, 2002)

Gambar 2.10 gambar 2.13 dan gambar 2.14 ialah adalah ukuran tahanan tekan relatif antara tiang dan tanah yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$K = \frac{E_p R_A}{E_s} \dots \dots \dots (2.34)$$

Dimana :

$$R_A = \frac{A_p}{\frac{1}{4}\pi d^2} \dots \dots \dots (2.35)$$

Keterangan :

- K = Faktor kekuatan tiang
- E_p = Modulus elastisitas dari bahan tiang.
- E_s = Modulus elastisitas tanah disekitar tiang
- E_b = Modulus elastisitas tanah di dasar tiang.

Perkiraan angka Poisson (μ) yang disajikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 14 Perkiraan angka poisson (μ)

Macam Tanah	μ
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir padat	0,2 – 0,4
Pasir Kasar	0,15
Pasir halus	0,25

(Hardiyatmo, 1996)

Untuk mendapatkan nilai dari modulus elastisitas tanah, harus dilakukan penyelidikan tanah baik dari pengujian ditempat ataupun penyelidikan di laboratorium mekanika tanah, akan tetapi dapat menghasilkan data pengujian yang kurang bagus, alangkah baiknya dilakukan pengujian ditempat atau di lapangan menggunakan kerucut statis atau sondir. (Bowles, 1977).

Dibawah ini adalah persamaan yang diberikan oleh Bowles (1997) dari hasil pengumpulan data pengujian kerucut statis:

$$Es = 3qc \text{ (untuk pasir)} \dots\dots\dots(2.36)$$

$$Es = 2 \text{ sampai } 8qc \text{ (untuk lempung)} \dots\dots\dots(2.37)$$

qc (side) = Perlawanan konus rata-rata pada masing lapisan sepanjang tiang.

Menurut analisis yang dilakukan oleh Meyerhoff, nilai modulus elastisitas tanah di bawah ujung tiang (Eb) kira-kira 5-10 kali nilai modulus elastisitas tanah di sepanjang badan tiang (Es).

Rumus untuk menghitung penurunan tiang elastis adalah:

$$S = \frac{(Q+E Q_s)L}{A E_p} \dots\dots\dots(2.38)$$

Keterangan:

Q = Besarnya beban yang akan disalurkan ke tanah

Qs = Tahanan gesek antara tanah dengan selimut fondasi

ξ = Koefisien dari tahanan gesek

E_p = Nilai Modulus elastisitas Tanah

2.10.2 Penurunan Tiang Kelompok

Dalam menghitung penurunan kelompok tiang, hal ini sangat dipengaruhi oleh daya dukung ujung tiang. Meyerhoff (1976) mengusulkan hubungan empiris berikut untuk penurunan elastis pondasi tiang untuk pondasi berpasir dan kerikil

$$S_g = \frac{q B_g I}{2 q_c} \dots \dots \dots (2.39)$$

Sedangkan menurut Vesic (1977), penurunan fondasi kelompok dapat di analisis dengan rumus sebagai berikut:

$$S_g = S \sqrt{\frac{B_g}{D}} \dots \dots \dots (2.40)$$

Keterangan:

S_g = Penurunan kelompok tiang (m)

S = Penurunan tiang tunggal (m)

B_g = Lebar poor kelompok tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

2.10.3 Penurunan Tiang yang diijinkan

Setiap fondasi di atas tanah yang apabila menerima suatu beban pasti akan dikurangi dengan beban yang harus ditopang atau disangga oleh fondasi tersebut, penurunan fondasi juga harus diperhatikan dan harus ada batas pengurangan yang diijinkan. Degradasi Kondisi tanah berpasir akan terjadi dengan cepat karena nilai permeabilitas yang besar pada tanah berpasir, karena butiran tanah berpasir relatif besar.

Sedangkan penurunan pada keadaan lempung atau lanau akan berlangsung dalam waktu yang sangat lama karena sifat lempung yang sulit ditembus oleh air, karena partikel lempung sangat kecil dan mempunyai sifat kohesif. Berikut ini adalah aturan penurunan yang diizinkan untuk fondasi tiang:

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

$$S_{ijin} = 10\% \cdot D \dots \dots \dots (2.41)$$

Keterangan:

D = diameter tiang

Sedangkan penurunan ijin oleh ASTM D1143/81 memberikan syarat penurunan sebesar (S_{ijin}) = 25.40 mm.....(2.42)

2.11 Faktor Keamanan

Saat merencanakan fondasi, daya dukung ultimit harus dipertimbangkan, dimana daya dukung akhir harus dibagi dengan angka keamanan terhadap berbagai kondisi, baik selama perencanaan maupun pelaksanaan.

Fungsi faktor aman adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui bahwa material tiang cukup kuat untuk menahan beban yang bekerja
2. Untuk mengetahui bahwa penurunan yang tidak merata antara tiang-tiang berada dalam batas-batas toleransi
3. Untuk mengetahui keamanan terhadap ketidakpastian metode perhitungan yang digunakan
4. Untuk mengetahui bahwa total penurunan yang diperlukan yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok tiang masih dalam batas-batas toleransi.

Reesed an O'Neill (1989) berpendapat mengenai tentang angka keamanan, dengan mempertimbangkan beberapa faktor antara lain:

1. Jenis dan fungsi struktur
2. Kondisi tanah
3. Tingkat keakuratan data hasil pengujian tanah
4. Jenis tanah
5. Uji beban tiang
6. Pengawasan saat pengerjaan fondasi
7. Kemungkinan beban eksentris

Tabel 2. 15 Faktor aman yang disarankan (Reese & O'Neill, 1989)

Klasifikasi Struktur	Faktor Keamanan (f)			
	Kontrol baik	Kontrol normal	Kontrol jelek	Kontrol sangat jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanen	3	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2	2,3	2,8

(Hardiyatmo, H.C., 2002)

Berbagai jenis faktor keamanan yang digunakan untuk merencanakan fondasi tiang juga sangat dipengaruhi oleh jenis tiang dan kondisi tanah.

Saat merencanakan kapasitas daya dukung ijin, maka dilakukan pembagian antara daya dukung dengan angka keselamatan.

- a. Untuk dasar tiang yang dibesarkan dengan diameter $d < 2m$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{2,5} \dots \dots \dots (2.43)$$

- b. Dasar tiang tanpa pembesaran di bagian bawah

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{2} \dots \dots \dots (2.44)$$

Dimana:

Q_{all} = Kapasitas ijin tiang (Kg/cm)

Q_u = Kapasitas ultimit (Kg/cm)

Pada tiang dengan diameter $> 2 m$, kapasitas tiang izin perlu dievaluasi dengan pertimbangan terhadap penurunan tiang. (Tomlinson, 1977)

2.12 Permodelan Menggunakan Program

Dalam pertumbuhan era di dunia teknik sipil sekarang sudah semakin maju, terutama dalam hal teknologi. Teknologi sangat membantu mengerjakan sebuah proyek. Tidak hanya di lapangan yang sekarang ditenagai oleh alat berat yang dapat meringankan beban, tetapi analisis perhitungan sekarang juga dapat memanfaatkan perkembangan teknologi. Banyak macam *software* yang ada untuk membantu menganalisis sebuah perencanaan dan permasalahan. Pada bidang struktur ada *software* SAP2000 V.14, *etabs* dan lain sebagainya. Pada bidang analisis fondasipun juga demikian, diantaranya yaitu *plaxis*, *allpile*, dll.

2.12.1 SAP2000 V.14

Analisa pembebanan pada proyek pembangunan Mal Pelayanan Publik Sukoharjo dihitung menggunakan program SAP2000 V.14.

Program SAP2000 V.14 merupakan program yang memungkinkan untuk menghitung beban pada struktur atas bangunan pada saat merencanakan fondasi yang akan diberikan. Program ini digunakan untuk merencanakan gedung, tower, jembatan, dll. Program ini telah lengkap serta mudah digunakan sebab fitur-fitur di dalamnya sudah mencukupi. *Output* dari program ini berbentuk momen, gaya geser dan gaya normal. Dari output itu akan mendapatkan beban terbesar dari kolom-kolom perencanaan yang akan digunakan dalam perencanaan fondasi.

2.12.2 Plaxis

Plaxis merupakan salah satu program komputer yang disusun dan dikembangkan khusus digunakan untuk melakukan analisis regangan dan stabilitas untuk berbagai program geoteknik. Pengembangan *Plaxis* dimulai pada tahun 1987 di Universitas Delft dibawah inisiatif Kementerian Pekerjaan Umum dan Pengendalian Air Belanda.

Tujuan awalnya adalah menciptakan program komputer berbasis metode elemen hingga 2D yang memfasilitasi analisis turgul yang dibangun diatas tanah lunak didataran rendah di Belanda. Pada tahun tahun berikutnya, plaxis meluas ke hampir semua bidang perencanaan geoteknik lainnya.

Program ini mengadopsi model secara grafis dari model elemen yang mudah dan rumit dapat dilakukan secara cepat, dan dapat memberikan hasil komputasi secara mendetail. Program ini terdiri dari empat sub-program yaitu *input*, kalkulasi, *output* dan kurva. Untuk mendukung dalam penyelesaian tugas akhir ini, kami menggunakan program plaxis V.8.6.

Plaxis V.8.6 memiliki beberapa hal baru dalam pilihan permodelan, fasilitas-fasilitas perhitungan, fitur-fiitur keluaran dan peningkatan dalam kemudahan pemakaian dibandingkan plaxis versi sebelumnya.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Metode penelitian adalah proses metode ilmiah untuk mengumpulkan data yang akan digunakan untuk tujuan penelitian. Sedangkan prosedur penelitian merupakan langkah yang digunakan untuk menjawab pertanyaan penelitian dan mengumpulkan data. Penyusunan proposal tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung dan besar penurunan untuk fondasi *minipile* dan *bored pile* pada Pembangunan Gedung Mal Pelayanan Publik Kabupaten Sukoharjo.

Analisa yang dilakukan dalam penelitian ini adalah jika data yang diperlukan sudah mencukupi, maka dilakukan analisa data terhadap beban dengan program SAP2000 V.14. Hasil dari permodelan pada program SAP2000 V.14 akan menerima beban terbesar pada bangunan serta reaksi pada kolom dan balok akibat beban yang bekerja diatasnya. Untuk menghitung daya dukung dan penurunan pondasi maka digunakan perhitungan manual dan menggunakan perhitungan komputatif. Perhitungan manual dengan metode *Mayerhoff* dan metode *Tomlinson*. Sedangkan perhitungan komputatif, menggunakan program Plaxis V. 8.6

3.2 Lokasi Proyek

Lokasi proyek pembangunan Gedung Mal Pelayanan Publik Kabupaten Sukoharjo berada di Jl. Abu Tholib Sastrotenoyo No.378, Gabusan, Jombor, Kec. Bendosari, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah 57528.



Gambar 3. 1 Lokasi Proyek

-7.664824,110.833432

(Google Earth Pro)

Adapun batas-batasnya adalah sebagai berikut:

- a. Utara : Setda Kabupaten Sukoharjo
- b. Timur : SMA Negeri 3 Sukoharjo
- c. Barat : BLK Sukoharjo
- d. Selatan : Pemukiman

3.3 Data Proyek

Tabel 3. 1 Data Umum Proyek

Jenis Data	Keterangan
Nama Proyek	Proyek Pembangunan Gedung Mal Pelayanan Publik Kabupaten Sukoharjo
Lokasi Proyek	Jl. Abu Tholib Sastrotenoyo No.378, Gabusan, Jombor, Kec. Bendosari, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah 57528.
Fungsi Bangunan	Kantor Pelayanan Publik
Pemilik Proyek	Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu (DPMPTSP) Kabupaten Sukoharjo
Penyedia Jasa	PT. Pulung Manunggal Abadi
Konsultan Perencana	CV. Karahaki Konsultan
Konsultan MK	PT. Andaru Koncer Jagad PT. Elcentro Engineering Consultant PT. Adjisaka Konsultan Teknik KSO.

3.4 Studi Literatur

Melakukan studi lebih lanjut melalui beberapa diktat, makalah, jurnal, pedoman peraturan-peraturan, buku panduan, maupun sumber referensi bacaan lain untuk memperoleh landasan teori dan informasi yang diperlukan.

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengumpulan data sekunder yaitu data yang didapat secara tidak langsung dari peneliti, dikarenakan data tersebut telah diolah terlebih dahulu dan tersedia ;lkjhgfmelalui perantaraan orang lain. Data sekunder biasanya diperoleh dari buku, jurnal, jejaring sosial, dll. Selama pembuatan tugas akhir ini, kami mengumpulkan data langsung dari konsultan perencana pembangunan gedung Mal Pelayanan Publik Sukoharjo yaitu data penyelidikan tanah dan gambar struktur fondasi sebelumnya yaitu *minipile*.

3.6 Tahapan Penelitian

3.6.1 Analisis Pembebanan Menggunakan SAP2000 V.14

Apabila data-data yang diperlukan sudah lengkap, maka dilakukan analisa data terhadap beban menggunakan program SAP2000 V.14 yang selanjutnya akan digunakan untuk perancangan fondasi *minipile* dan *bored pile*.

3.6.2 Analisis Daya Dukung Fondasi Menggunakan Metode *Mayerhoff*

Untuk mengetahui daya dukung tiang, menggunakan persamaan 2.5

$$Q_p = q_c / 3 \times A_p$$

Dimana :

Q_p = daya dukung ujung tiang (kN)

Q_c = tahanan ujung sondir (kg/cm²)

A_p = luas penampang tiang (cm²)

3 = factor keamanan daya dukung tiang

Untuk mengetahui daya dukung selimut, menggunakan persamaan 2.6

$$Q_s = JHL / 5 \times K \alpha$$

Keterangan :

Q_s = daya dukung selimut tiang (kg)

JHL = jumlah hambatan lekat (kg/cm²)

K_a = keliling tiang (cm²)

5 = faktor keamanan gesekan selimut

3.6.3 Analisis Daya Dukung Fondasi Menggunakan Metode Tomlinson

Untuk mengetahui daya dukung tiang, dengan metode Tomlinson, dapat menggunakan rumus persamaan 2.7

$$Q_p = \frac{(N_c \times C_u + \gamma \times D_f) \times A_p}{3}$$

Dengan:

Q_p = daya dukung (kg)

N_c = faktor daya dukung dibawah ujung tiang bor, bernilai 9

γ = berat jenis tanah lempung

D_f = kedalaman tiang

A_p = luas penampang ujung tiang (cm²)

C_u = nilai kohesi tanah, dengan rumus

Untuk mencari daya dukung selimut fondasi menggunakan metode Tomlinson, dapat menggunakan persamaan 7.8

$$Q_s = s \times C_s \times A_s$$

Dimana:

s = factor bentuk, untuk tiang biasa; $s = 1$

C_s = adhesi antara tiang dengan tanah

A_s = luas selimut tiang

3.6.4 Perhitungan Daya Dukung Ultimit Fondasi

Berdasarkan persamaan 2.12

$$Q_{all} = Q_p + Q_s$$

Dimana:

Q_{all} = Daya Dukung Ijin Tiang (kN)

Q_p = Daya Dukung Ujung Tiang (kN)

Q_s = Tahanan Gesek antara tanah dengan selimut fondasi

3.6.5 Perhitungan Efisiensi Grup Tiang

Umumnya fondasi tiang dipasang secara berkelompok, yaitu satu set tiang yang dipasang berdekatan dan biasanya diikat menjadi satu dengan menggunakan pile cap di atasnya. Untuk menghitung kapasitas beban maksimum yang diizinkan dari kelompok tiang, tercantum dalam persamaan 2.15

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_a$$

Q_g = beban yang ditanggung pilecap sampai mengalami keruntuhan (kN)

E_g = nilai efisiensi untuk pile Group (%)

n = banyaknya tiang dalam satu pile group

Q_a = beban maksimal untuk single pile (kN)

3.6.6 Kapasitas Lateral Ultimit Tiang dengan Metode Broms

Tahanan lateral tiang (H) tipe tiang panjang, dapat dihitung dengan persamaan 2.28

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

H_u = daya dukung lateral tiang (kN)

M_y = momen max yang dapat ditahan tiang (kN.m)

e = jarak dari titik beban horizontal ke permukaan tanah (m)

f = jarak kedalam titik dimana gaya geser = 0 (m)

Gaya lateral yang diterima fondasi merupakan akibat gaya geser kolom di atasnya akibat momen puncak (M_u) kolom. Dalam analisis gaya lateral, tiang-tiang harus dibedakan berdasarkan modelnya. Dengan plat penutup tiang. Pola ikatan sangat mempengaruhi tiang yang menopang beban lateral.

3.6.7 Analisis Data Penurunan Fondasi

Pada saat lapisan tanah dibebani akibat beban di atasnya, maka tanah yang diberi beban kerja akan mengalami peningkatan tegangan, tegangan berlebih ini merupakan fenomena penurunan elevasi tanah fondasi akan berdampak pada pengurutan konstruksi di atasnya. Untuk menghitung penurunan fondasi kelompok dapat menggunakan persamaan 2.40

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

Keterangan :

S_g = Penurunan kelompok tiang (m)

S = Penurunan tiang tunggal (m)

Bg = Lebar poor kelompok tiang (m)

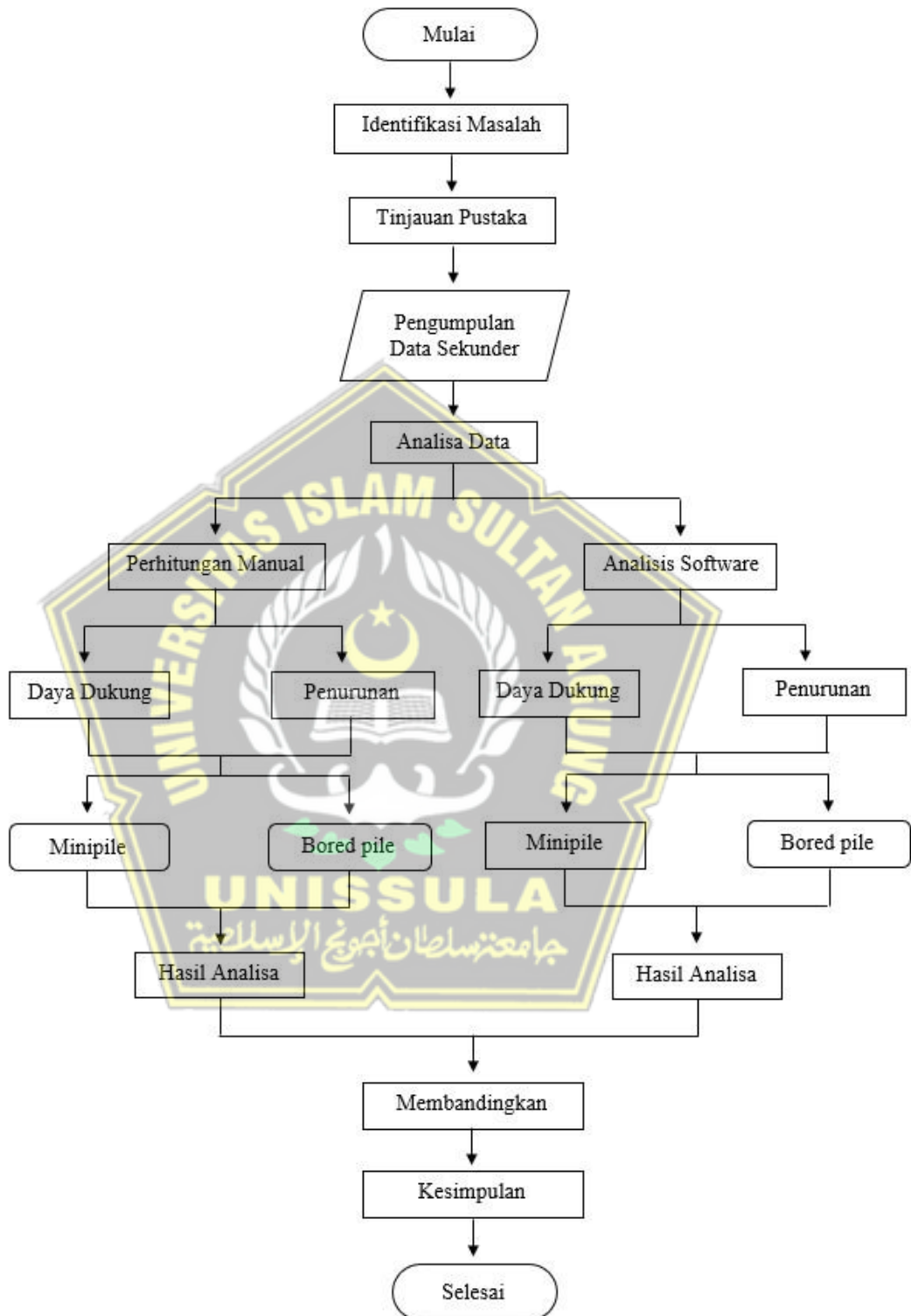
D = Diameter tiang (m)

3.6.8 Analisa Menggunakan Program Plaxis

Dalam tahap ini akan membuat permodelan lapisan tanah yang sudah didapatkan pada uji sondir kedalam program Plaxis V.8.6. untuk mengetahui besar penurunan fondasi yang akan dibandingkan dengan perhitungan penurunan fondasi cara manual.

3.7 Bagan Alir

Perencanaan pada fondasi ini dapat dilihat di *Flow Chart* pada bagan berikut



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

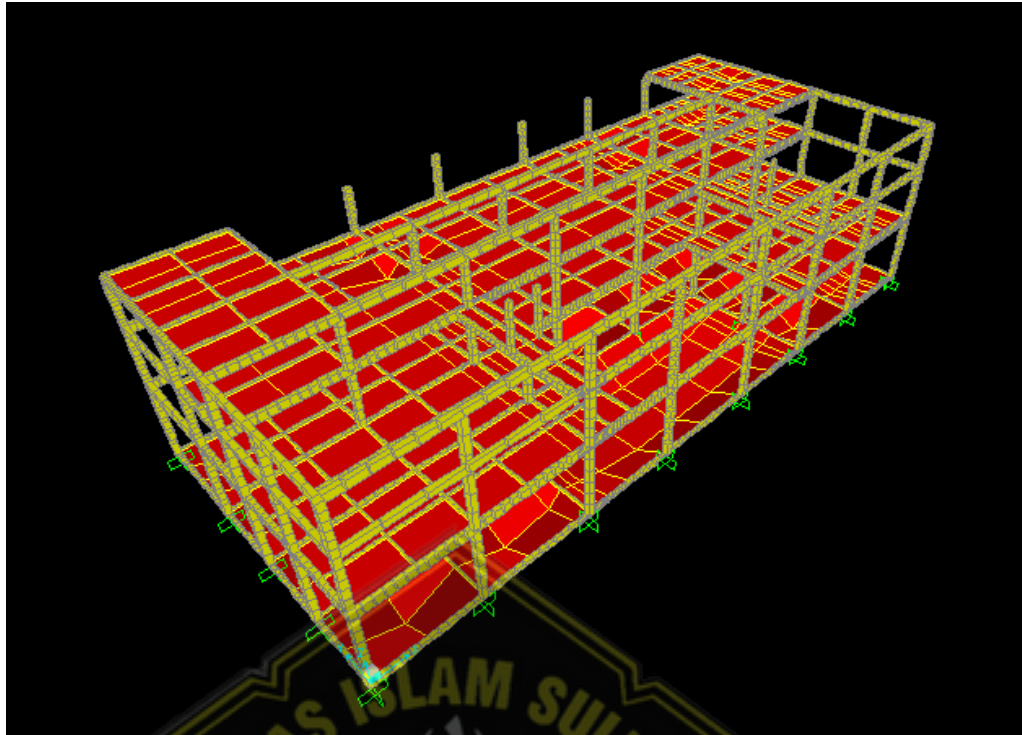
4.1 Tinjauan Umum

Pembahasan pada bab ini berisikan mengenai analisa data yang telah didapatkan dari hasil pengolahan data tanah pada proyek pembangunan Gedung Mal Pelayanan Publik Sukoharjo. Pada tugas akhir ini, kami akan merencanakan fondasi *minipile* dengan ukuran 30cm x 30cm dan fondasi *boredpile* dengan diameter 35cm. Data tersebut akan digunakan untuk menghitung daya dukung fondasi dan penurunan fondasi menggunakan data penyidikan tanah berupa sondir. Perhitungan daya dukung fondasi menggunakan metode *Mayerhoff* dan Metode *Tomlison*, menggunakan Metode *Converse-Labarre* untuk menghitung kapasitas daya dukung kelompok tiang, perhitungan penurunan fondasi manual dan perhitungan menggunakan program PLAXIS V. 8.6.

Perhitungan beban pada struktur atas menggunakan program SAP2000 V.14 untuk mengetahui beban maksimal yang akan diterima oleh fondasi yang akan direncanakan. Dengan mengacu pada SNI 1727-2013 mengenai beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain, SNI 1726-2019 mengenai tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan dan non bangunan dan PPIUG 1983 mengenai peraturan pembebanan.

4.2 Permodelan Struktur Atas dengan Program SAP2000 V.14

Pemodelan struktur atas menggunakan program SAP2000 V.14 untuk mengetahui besar gaya yang terjadi pada bangunan tersebut. Yang mana gaya yang didapatkan akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya pada perencanaan pondasi *boredpile*. Balok dan kolom dimodelkan sebagai frame, dan plat lantai dimodelkan sebagai shell. Seperti gambar dibawah, gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Pemodelan Struktur atas dengan program SAP2000 V.14

4.3 Desain Dan Pembebanan Struktur

Berikut adalah data yang digunakan

- Berat jenis beton bertulang = 26,4 MPa
- Tebal plat lantai dan atap = 12 dan 10 cm
- Mutu beton = K-325
- Mutu baja tulangan = f_y 420 MPa

Berikut ini adalah beban mati yang digunakan mengacu pada PPIUG 1983

a. Beban mati plat lantai 1

• Berat sendiri plat lantai	$= 0,1\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$	$= 240 \text{ kg/m}^2$
• Adukan	$= 0,03\text{m} \times 21 \text{ kg/m}^3$	$= 0,63 \text{ kg/m}^2$
• Keramik	$= 0,01\text{m} \times 24 \text{ kg/m}^3$	$= 0,24 \text{ kg/m}^2$
• Plafound & penggantung	$= 18 \text{ kg/m}^3$	$= 18 \text{ kg/m}^2$
TOTAL		$= 258,87 \text{ kg/m}^2$

b. Beban mati plat lantai 2 dan 3

• Berat sendiri plat lantai	= 0,12m x 2400 kg/m ³	= 288 kg/m ²
• Adukan	= 0,03m x 21 kg/m ³	= 0,63 kg/m ²
• Keramik	= 0,01m x 24 kg/m ³	= 0,24 kg/m ²
• Plafound & penggantung	= 18 kg/m ²	= 18 kg/m ²
TOTAL		=306,87 kg/m ²

c. Beban mati plat atap

• Plat beton (10cm)	= 0,1 m x 2400 kg/m ³	= 240 kg/m ²
• Adukan	= 0,03 m x 21 kg/m ³	= 0,63 kg/m ²
• Plafound & penggantung	= 18 kg/m ²	= 18 kg/m ²
TOTAL		=258,63 kg/m ²

d. Beban mati dinding

• Dinding lantai 1	= 6,02m x 200 kg/m ²	= 1204 kg/m ²
• Dinding lantai 2	= 4,5m x 200 kg/m ²	= 900 kg/m ²
• Dinding lantai 3	= 3,7m x 200 kg/m ²	= 740 kg/m ²

e. Balok

• B1 30/60	= 0,3m x 0,6m x 36,7 kg/m ³	= 6,606 kg/m ²
• B2 30/60	= 0,3m x 0,6m x 36,7 kg/m ³	= 6,606 kg/m ²
• BA 25/40	= 0,25m x 0,4m x 29,6 kg/m ³	= 2,96 kg/m ²
TOTAL		= 19,132 kg/m ²

f. Kolom

• K1 40/40	= 0,4 m x 0,4 m x 36,7 kg/m ³	= 5,872 kg/m ²
• K2 30/30	= 0,3 m x 0,3 m x 36,7 kg/m ³	= 3,303 kg/m ²
TOTAL		= 9,175 kg/m ²

Berikut ini adalah beban hidup yang digunakan dengan mengacu pada SNI 1727-2013 dapat dilihat pada tabel dibawah, Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Beban Hidup

Hunian/Penggunaan	Merata (kN/m ²)	Terpusat (kN)
Rumah perkantoran : Ruang Arsip dan computer harus dirancang untuk beban yang lebih berat bedasarkan perkiraan hunian		
Lobi dan karidor lantai pertama	100 (4,79)	2000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	2000 (8,90)
Karidor diatas lantai pertama	80 (3,83)	2000 (8,90)

(sumber : SNI 1727-2013)

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

Tabel 4. 2 Kategori Resiko

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Semua Gedung dan Struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV • Perumahan • Rumah toko dan rumah kantor • Pasar • Gedung perkantoran • Gedung apartemen/ rumah susun • Pusat perbelanjaan/ mall • Bangunan industri • Pabrik	II

(sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 4. 3 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa (I_e)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 4. 4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai SDS

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 SD1

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

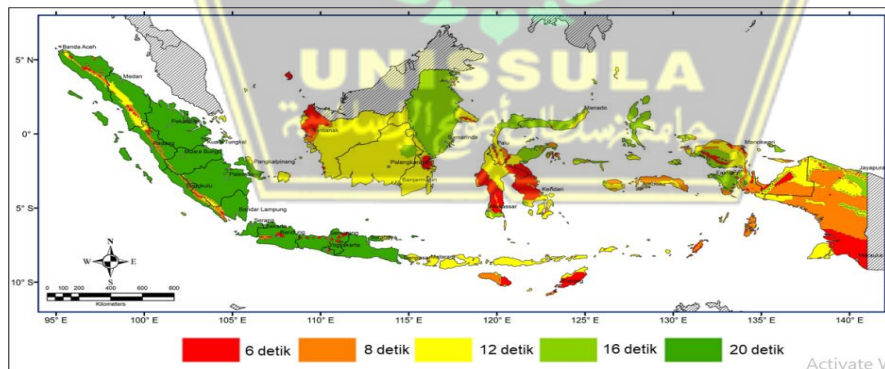
(sumber : SNI 1726: 2019)

Tabel 4. 6 Faktor Reduksi Gempa

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons R^d	Faktor kuat leboh sistem Ω_0^e	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur $h_n(m)^c$				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^c
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI

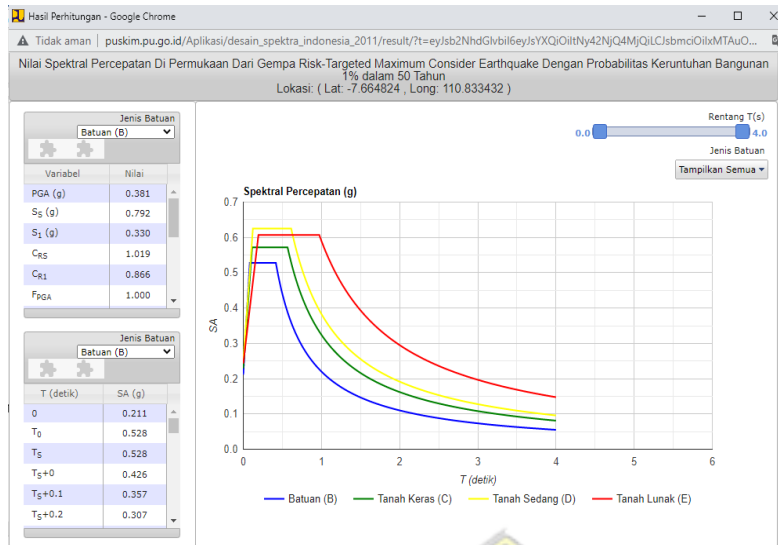
(sumber : SNI 1726:2019)

Untuk menentukan periode gempa dapat dilihat gambar dibawah dengan menggunakan peta periode pada SNI 1726:2019, karena perencanaan ada di sukoharjo jadi menggunakan periode sebesar 12 detik.



Gambar 4. 2 Peta Periode gempa (SNI 1726:2019)

Untuk menentukan zona wilayah gempa didapatkan dari website http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/, dan diperoleh data seperti digambar 4.3.



Gambar 4. 3 Nilai Respon Spektrum

(<http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain spektra indonesia 2011/>.)

Setelah semua data pembebanan diinput pada SAP2000 V.14, maka akan mendapat hasil *output joint reaction* yang dapat dilihat pada tabel 4.7

Tabel 4. 7 Hasil *Output Joint Reaction*

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
145	COMB4 = 1,2DL+1LL-1EX+0,3EY	Combination	Min	-7,894	-5,092	171,707	-827,752	-99,063	-4,935
145	COMB5 = 1,2DL+1LL+1EX-0,3EY	Combination	Max	2,077	-1,003	190,132	-289,737	1199,731	5,814
145	COMB5 = 1,2DL+1LL+1EX-0,3EY	Combination	Min	-7,894	-5,092	171,707	-827,752	-99,063	-4,935
145	COMB6 = 1,2DL+1LL-1EX-0,3EY	Combination	Max	2,077	-1,003	190,132	-289,737	1199,731	5,814
145	COMB6 = 1,2DL+1LL-1EX-0,3EY	Combination	Min	-7,894	-5,092	171,707	-827,752	-99,063	-4,935
145	COMB7 = 1,2DL+1LL+0,3EX+1EY	Combination	Max	-1,326	0,783	188,68	-54,338	756,529	4,272
145	COMB7 = 1,2DL+1LL+0,3EX+1EY	Combination	Min	-4,491	-6,879	173,159	-1063,15	344,139	-3,393
145	COMB8 = 1,2DL+1LL-0,3EX+1EY	Combination	Max	-1,326	0,783	188,68	-54,338	756,529	4,272
145	COMB8 = 1,2DL+1LL-0,3EX+1EY	Combination	Min	-4,491	-6,879	173,159	-1063,15	344,139	-3,393
145	COMB9 = 1,2DL+1LL+0,3EX-1EY	Combination	Max	-1,326	0,783	188,68	-54,338	756,529	4,272
145	COMB9 = 1,2DL+1LL+0,3EX-1EY	Combination	Min	-4,491	-6,879	173,159	-1063,15	344,139	-3,393
145	COMB10 = 1,2DL+1LL-0,3EX-1EY	Combination	Max	-1,326	0,783	188,68	-54,338	756,529	4,272
145	COMB10 = 1,2DL+1LL-0,3EX-1EY	Combination	Min	-4,491	-6,879	173,159	-1063,15	344,139	-3,393
145	ENVELOPE	Combination	Max	4,957	3,536	194,112	465,609	1199,731	5,814
145	ENVELOPE	Combination	Min	-7,894	-6,879	-7,565	-1063,15	-645,647	-4,935

4.4 Analisa Daya Dukung Fondasi *Minipile*

Berikut data fondasi *MiniPile* :

$$\begin{aligned}\text{Dimensi (D)} &= 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \\ \text{Keliling (Ka)} &= 4 \times D \\ &= 4 \times 30 \text{ cm} \\ &= 120 \text{ cm} \\ &= 1,2 \text{ m} \\ \text{Luas Penampang (Ap)} &= s \times s \\ &= 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \\ &= 900 \text{ cm}^2 \\ &= 9 \text{ m}^2 \\ \text{Kedalaman (Df)} &= 16 \text{ m}\end{aligned}$$

4.4.1 Daya Dakung Fondasi *MiniPile* Metode *Mayerhoff*

Daya dukung tanah kohesif kedalaman 16 m, berdasarkan persamaan 2.5

❖ Perhitungan daya dukung ujung tiang fondasi *minipile*

$$\begin{aligned}Q_p &= q_c \times A_p/3 \\ &= 80 \times 900/3 \\ &= 24000 \text{ kg} \\ &= 235,36 \text{ kN}\end{aligned}$$

❖ Perhitungan daya dukung selimut fondasi *minipile*

$$\begin{aligned}Q_s &= JHL \times K_a/5 \\ &= 3414 \times 120/5 \\ &= 81936 \text{ kg} \\ &= 803,56 \text{ Kn}\end{aligned}$$

❖ Perhitungan daya dukung ijin fondasi *minipile*

$$\begin{aligned}Q_{ijin} &= Q_p + Q_s \\ &= 24000 + 81936 \\ &= 105936 \text{ kg} \\ &= 1038,92 \text{ kN}\end{aligned}$$

Tabel 4. 8 Hasil Daya Dukung Fondasi Minipile Metode *Mayerhoff*

Dept (m)	QC (kg/cm ²)	Ap (m ²)	JHL (kg/cm ²)	Ka (m ²)	Qp (kN)	Qs (kN)	Qijin (kN)
0	0	9	0,00	1,2	0,00	0,00	0,00
4	30	9	414,00	1,2	88,26	97,44	185,7
8	50	9	1104,00	1,2	147,1	259,84	406,94
12	50	9	1944,00	1,2	147,1	457,54	604,64
16	80	9	3414,00	1,2	235,36	803,52	1038,92

❖ **Perhitungan Jarak antar fondasi *Minipile* dan jarak As ke Tepi**

Menentukan jarak fondasi *minipile*

$$S \leq 3D = 3 \times 30 = 90 \text{ cm}$$

❖ **Kebutuhan Jumlah Fondasi *Minipile***

Menentukan banyaknya fondasi yang dibutuhkan dalam kelompok tiang

$$\text{Beban (p)} = 1199 \text{ kN/m}^2$$

$$Np = \frac{v}{Q_{\text{tiang}}} = \frac{121580}{105936} = 1,15421 \text{ dibulatkan menjadi 2 buah}$$

❖ **Efisiensi Daya Dukung Tiang**

Efisiensi daya dukung menggunakan metode Converse – Labarre

Perhitungan efisiensi tiang dengan jumlah rencana 2 buah

$$\theta = \text{Arc tan } \frac{D}{S} = \text{Arc tan } \frac{30}{90} = 18,43$$

$$n = 2 ; m = 1$$

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

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - \left(\frac{(2-1)1 + (1-1)2}{90 \times 1 \times 2} \right) \times 18,43 \\ &= 0,89 = 89\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_g &= \eta \times Q_{ijin} \times E_g \\
 &= 0,89 \times 1038,92 \times 2 \\
 &= 1849,28 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Didapatkan $V (1199,731 \text{ kN}) \leq Q_g (1849,28 \text{ kN})$, maka **AMAN**

4.4.2 Daya Dukung Fondasi *Minipile* Metode *Tomlison*

Perhitungan tanah kohesif menggunakan metode tomilson, pada kedalaman 16m berdasarkan persamaan 2.10

- ❖ Perhitungan nilai kohesi tanah

$$\begin{aligned}
 C_u &= 1/20 \times q_c \\
 &= 1/20 \times 78 \\
 &= 4 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 392,266 \text{ Kn}
 \end{aligned}$$

- ❖ Perhitungan daya dukung ujung tiang fondasi *minipile*

$$\begin{aligned}
 Q_p &= ((N_c \times C_u) + (\gamma + D_f)) \times A_p/3 \\
 &= ((9 \times 4) + (1,4 + 1600)) \times 962/3 \\
 &= 78000 \text{ kg} \\
 &= 764,92 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

N_c = faktor daya dukung dibawah ujung tiang = 9

- ❖ Perhitngan daya dukung selimut fondasi *minipile*

$$\begin{aligned}
 Q_s &= (s \times (D \times D_f) \times (\alpha \times C_u))/5 \\
 &= (1 \times (30 \times 1600) \times (0,55 \times 4))/5 \\
 &= 21120 \text{ kg} \\
 &= 207,12 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- ❖ Perhitungan daya dukung ijin fondasi

$$\begin{aligned}
 Q_{ijin} &= Q_p + Q_s \\
 &= 78000 + 21120 \\
 &= 99120 \text{ kg} \\
 &= 972,04 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 9 Hasil Daya Dukung Fondasi *Minipile* Metode Tomlinson

Dept (m)	Qc (kg/cm ²)	Cu (kg/cm ²)	Ap (m ²)	Qp (kN)	Qs (kN)	Qijin (kN)
0	0	0,00	9	0	0,00	0,00
4	44	2,20	9	204,47	77,67	282,14
8	48	2,40	9	393,7	129,45	523,15
12	54	2,70	9	560,45	129,45	689,9
16	78	3,90	9	764,92	207,12	972,04

❖ **Perhitungan Jarak antar fondasi *Minipile* dan jarak As ke Tepi**

Menentukan jarak fondasi *minipile*

$$S \geq 3D = 3 \times 30 = 90 \text{ cm} = 0,9 \text{ m}$$

❖ **Kebutuhan Jumlah Fondasi *Minipile***

Menentukan banyaknya fondasi yang dibutuhkan dalam kelompok tiang

$$\text{Beban (p)} = 1199 \text{ kN/m}^2$$

$$Np = \frac{v}{Q_{\text{tiang}}} = \frac{121580}{107980} = 1,13 \text{ dibulatkan menjadi 2 buah}$$

❖ **Efisiensi Daya Dukung Tiang**

Efisiensi daya dukung menggunakan metode Converse – Labarre

Perhitungan efisiensi tiang dengan jumlah rencana 2 buah

$$\theta = \text{Arc tan } \frac{D}{S} = \text{Arc tan } \frac{30}{90} = 18,43$$

$$n = 2 ; m = 1$$

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

$$\eta = 1 - \left(\frac{(2-1)1 + (1-1)2}{90 \times 1 \times 2} \right) \times 18,43$$

$$= 0,89 = 89\%$$

$$Q_g = \eta \times Q_{\text{ijin}} \times E_g$$

$$= 0,89 \times 972,04 \times 2$$

$$= 1944,97 \text{ kN}$$

Didapatkan $V (1199,731 \text{ kN}) \leq Q_g (1944,97 \text{ kN})$, maka **AMAN**

4.4.3 Penurunan Tiang Tunggal

Perhitungan penurunan tiang tunggal menurut vesic

$$E_p = 24149,037 \text{ Mpa} = 2414904 \text{ t/m}^2 = 2414904 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{wp} = 23,4 \text{ kg/cm}^2 = 0,234 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{ws} = 81912 \text{ kg/cm}^2 = 819,13 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = 0,0267 \text{ kg/cm}^2 = 0,026 \text{ kN/m}^2$$

$$C_p = 0,03$$

$$\varepsilon = 0,5$$

$$D = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$$

$$L = 1600 \text{ cm} = 16 \text{ m}$$

$$A_p = 900 \text{ cm} = 9 \text{ m}$$

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \varepsilon \times Q_{ws}) \times L}{A_p \times E_p} = \frac{(23,4 + 0,5 \times 81912) \times 1600}{900 \times 241490437,25} = 0,003 \text{ cm}$$

$$S_2 = \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p} = \frac{23,4 \times 0,03}{30 \times 0,0267} = 0,9 \text{ cm}$$

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{1600}{30}} = 257,6 \text{ cm}$$

$$S_3 = \frac{Q_{wp}}{P_L} \times \frac{D}{E_s} \times (1 - \mu_s^2) \times I_{ws} = \frac{23,4}{120 \times 1600} \times \frac{30}{3000} \times (1 - 0,2^2) \times 257,6 = 0,0004 \text{ cm}$$

$$S_t = S_1 + S_2 + S_3$$

$$= 0,003 + 0,9 + 0,0004$$

$$= 0,9033259 \text{ cm}$$

Penurunan yang diijinkan adalah $S_{izin} = 10\% \times D = 10\% \times 30 = 3 \text{ cm}$

Jadi penurunan total tiang tunggal **AMAN**, karena $0,90332 \text{ cm} < 3 \text{ cm}$.

4.4.4 Penurunan Kelompok Tiang

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

$$= 0,903 \sqrt{\frac{250}{30}}$$

$$= 2,60 \text{ cm}$$

4.4.5 Waktu Penurunan Tanah Pada Fondasi *Minipile*

Perhitungan penurunan tanah pada fondasi *Minipile*

$$T_v = 0,567$$

$$C_v = 0,0045 \text{ m}^2/\text{dtk}$$

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

$$= \frac{0,567 \times 16^2}{0,0045}$$

$$= 32256 \text{ jam} = 3,68 \text{ tahun}$$

4.4.6 Perhitungan Dzaya Dukung Lateral Fondasi *Minipile*

Diketahui:

$$\gamma = 15,59 \text{ kN/m}^3$$

$$\theta = 29,35^\circ$$

$$K_p = \frac{1+\sin \theta}{1-\sin \theta} = \frac{1+\sin 29,35}{1-\sin 29,35} = 2,92$$

$$F_c' = 26,4 \text{ Mpa}$$

$$D = 0,3 \text{ m}$$

$$L = 16 \text{ m}$$

❖ Cek kekakuan tiang fondasi *Minipile*, berdasarkan persamaan 2.15

$$\begin{aligned} E &= 4700 \times \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \times \sqrt{26,4} \\ &= 24149,0372 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

❖ Kekakuan tiang fondasi, berdasarkan persamaan 2.16

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{6} \times \pi \times D^4 \\ &= \frac{1}{6} \times 3,14 \times 0,3^4 \\ &= 0,004239 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

❖ Faktor kekakuan R dan T

$$\begin{aligned} T &= \sqrt[5]{\frac{E_p \times I}{nh}} \\ &= \sqrt[5]{\frac{24149,0372 \times 0,004239}{350}} \end{aligned}$$

$$=0,78202212 \text{ m}$$

$$4T = 4 \times T$$

$$= 4 \times 0,78202212$$

$$= 3,128 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan, $L (16 \text{ m}) > 4T (3,128 \text{ m})$, maka tiang fondasi termasuk tiang fondasi panjang yang elastis.

❖ Cek keruntuhan tanah

Perhitungan keruntuhan tanah berdasarkan persamaan 2.20

$$\begin{aligned} M_{\max} &= \gamma \times D \times L^3 \times K_p \\ &= 15,59 \times 0,3 \times 16^3 \times 2,92 \\ &= 55968 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- ❖ Disebabkan tiang fondasi Panjang dan ujung tiang jepit, maka $M_{\max} > M_y$, dan asumsi M_y diambil 1500 kN.m sedangkan perhitungannya berdasarkan persamaan 2.27

$$\begin{aligned} f &= 0,82 \sqrt{\frac{Hu}{D \times K_p \times \gamma}} \\ &= 0,82 \sqrt{\frac{Hu}{0,30 \times 2,92 \times 15,59}} \\ &= 0,22 \sqrt{Hu} \end{aligned}$$

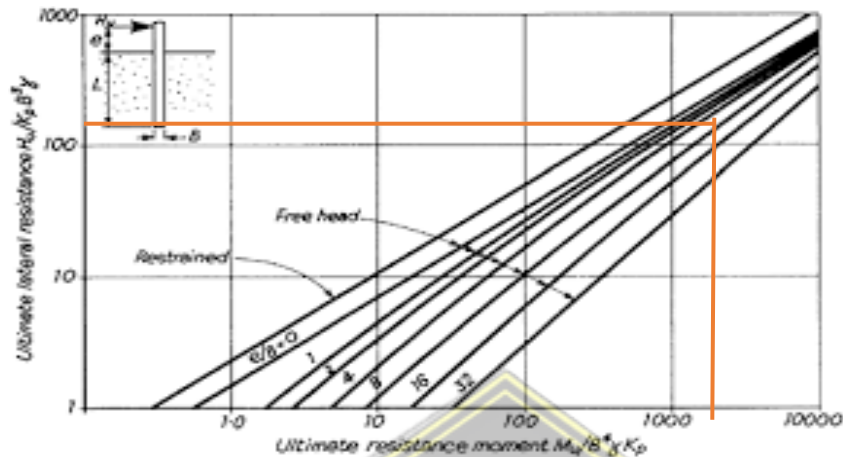
$$\begin{aligned} Hu &= \frac{2 \cdot M_y}{e + \frac{2f}{3}} \\ &= \frac{2 \times 1500}{2 + \frac{2(0,22 \sqrt{Hu})}{3}} \end{aligned}$$

$$= 20454,55 \text{ kN}$$

- ❖ Daya dukung ultimit fondasi *Minipile* terhadap gaya lateral berdasarkan grafik

$$\begin{aligned} \text{Tahanan momen ultimit} &= \frac{M_y}{D^4 \times \gamma \times K_p} \\ &= \frac{1500}{0,30^4 \times 15,59 \times 2,92} \\ &= 4065,78 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nilai tahanan momen ultimit 4065,78 kN.m diinput kedalam grafik untuk mendapatkan nilai tahanan lateral ultimit, dan diperoleh nilai tahanan ultimit lateral sebesar 105 dibaca dari gambar



Gambar 4. 4 Grafik Nilai Tahanan Momen Ultimit

$$105 = \frac{H_u}{K_p \times y \times D^3}$$

$$H_u = 105 \times 2,92 \times 15,59 \times 0,30^3$$

$$= 129,06 \text{ kN}$$

4.5 Analisa Daya Dukung Fondasi Boredpile

Data fondasi *bored pile*

$$\text{Diameter (D)} = 35 \text{ cm} = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{Keliling (Ka)} = \pi \times D$$

$$= 3,14 \times 0,35$$

$$= 109,9 \text{ cm} = 1,099 \text{ m}$$

$$\text{Luas penampang (Ap)} = \frac{1}{4} \times \pi D^2$$

$$= 962 \text{ cm}^2 = 0,096 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman (Df)} = 16 \text{ m}$$

4.5.1 Daya Dukung Fondasi Bored pile Metode Mayerhoff

Analisa daya dukung fondasi *bored pile* untuk tanah non kohesif pada kedalaman 16 m

❖ Perhitungan daya dukung ujung tiang fondasi *boredpile*

$$\begin{aligned}
 Q_p &= q_c \times A_p/3 \\
 &= 80 \times 962/3 \\
 &= 25643,33 \text{ kg} \\
 &= 251,44 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

❖ Perhitungan daya dukung selimut fondasi *boredpile*

$$\begin{aligned}
 Q_s &= JHL \times K_a/5 \\
 &= 3414 \times 109,9/5 \\
 &= 75039,72 \text{ kg} \\
 &= 735,89 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

❖ Perhitungan daya dukung ultimit fondasi *boredpile*

$$\begin{aligned}
 Q_{ijin} &= Q_p + Q_s \\
 &= 25643,33 + 75039,72 \\
 &= 100683,03 \text{ kg} \\
 &= 987,33 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 10 Hasil Daya Dukung Fondasi Boredpile Metode Mayerhoff

Dept (m)	Qc (kg/cm ²)	A _p (m ²)	JHL (kg/cm ²)	K _a (m)	Q _p (kN)	Q _s (kN)	Q _{ijin} (kN)
0	0	9,62	0,00	1,099	0,00	0,00	0,00
4	34	9,62	414,00	1,099	94,3	89,23	183,53
8	44	9,62	1104,00	1,099	157,17	237,96	395,13
12	52	9,62	1944,00	1,099	157,17	419,03	576,2
16	76	9,62	3414,00	1,099	251,47	735,88	987,35

❖ Perhitungan Jarak Antar Fondasi *Bored pile* dan Jarak As ke Tepi

Menentukan jarak antar fondasi *boredpile* berdasarkan persamaan 2.17

$$2,5D < S < 3D, \text{ diambil } 3D \rightarrow 3 \times 35 = 105 \text{ cm} = 1,05 \text{ m}$$

❖ Kebutuhan Jumlah Fondasi *Bored pile*

Menentukan banyakNya fondasi yang dibutuhkan dalam kelompok tiang berdasarkan persamaan 2.16. Berikut adalah data beban yang digunakan:

$$\text{Beban (p)} = 1199 \text{ kN/m}$$

$$Np = \frac{v}{Q_{\text{tiang}}} = \frac{121580}{100683} = 1,21 \text{ dibulatkan menjadi 2 buah}$$

❖ Efisiensi Daya Dukung Tiang

Perhitungan efisiensi daya dukung tiang menggunakan metode *Converse-Labarre*.

Perhitungan efisiensi tiang dengan jumlah rencana 2 buah

$$\theta = \text{Arc tan } \frac{D}{S} = \text{Arc tan } \frac{35}{105} = 18,43$$

$$n = 2 ; m = 1$$

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n} \right] \times \theta \\ &= 1 - \left[\frac{(2-1)1 + (1-2)1}{90.1.2} \right] \times 18,43 \\ &= 0,89 = 89\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_g &= \eta \times n \times Q_{ijin} \\ &= 0,89 \times 2 \times 987,35 \\ &= 1757,48 \text{ kN} \end{aligned}$$

Didapatkan $V (1199,731 \text{ kN}) \leq Q_g (1757,48 \text{ kN})$, maka **AMAN**

4.5.2 Daya Dukung Fondasi *Bored pile* Metode *Tomlinson*

Analisa perhitungan daya dukung fondasi *boredpile* untuk tanah non kohesif menggunakan metode *Tomlinson*, pada kedalaman 16 m

❖ Perhitungan nilai kohesi tanah

$$\begin{aligned} C_u &= \frac{1}{20} \times q_c \\ &= \frac{1}{20} \times 80 \\ &= 4 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 392,23 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

❖ Perhitungan daya dukung ujung tiang *boredpile*

$$\begin{aligned} Q_p &= ((N_c \times C_u) + (\gamma + D_f) \times A_p)/3 \\ &= ((9 \times 4) + (1,4 + 1600) \times 962)/3 \\ &= 83340,83 \text{ kg} \\ &= 817,29 \text{ Kn} \end{aligned}$$

N_c = faktor daya dukung dibawah ujung tiang = 9

❖ Perhitngan daya dukung selimut fondasi *boredpile*

$$\begin{aligned} Q_s &= (s \times (D \times D_f) \times (\alpha \times C_u))/5 \\ &= (1 \times (35 \times 1600) \times (0,55 \times 4))/5 \\ &= 24640 \text{ kg} \\ &= 241,64 \text{ kN} \end{aligned}$$

❖ Perhitungan daya dukung ijin fondasi *boredpile*

$$\begin{aligned} Q_{ijin} &= Q_p + Q_s \\ &= 83340,83 + 24640 \\ &= 107980 \text{ kg} \\ &= 1058,92 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tabel 4. 11 Hasil Daya Dukung Fondasi Boredpile Metode Tomlinson

Dept (m)	Qc (kg/cm ²)	Cu (kg/cm ²)	Ap (cm ²)	Qp (kN)	Qs (kN)	Qijin (kN)
0	0	0,00	962	0	0,00	0,00
4	34	1,70	962	218,46	90,61	309,07
8	44	2,20	962	422,78	151,02	573,8
12	52	2,60	962	598,82	151,02	749,84
16	76	3,80	962	817,29	241,64	1058,92

❖ Perhitungan Jarak antar fondasi *Boredpile* dan jarak As ke Tepi

Menentukan jarak fondasi *boredpile*

$$S \geq 3D = 3 \times 35 = 105 \text{ cm} = 1,05 \text{ m}$$

❖ Kebutuhan Jumlah Fondasi Minipile

Menentukan banyaknya fondasi yang dibutuhkan dalam kelompok tiang

$$\text{Beban (p)} = 1199 \text{ kN/m}^2$$

$$Np = \frac{v}{Q_{\text{tiang}}} = \frac{121580}{107980} = 1,13 \text{ dibulatkan menjadi 2 buah}$$

❖ Efisiensi Daya Dukung Tiang

Efisiensi daya dukung menggunakan metode Converse – Labarre

Perhitungan efisiensi tiang dengan jumlah rencana 2 buah

$$\theta = \text{Arc tan } \frac{D}{s} = \text{Arc tan } \frac{30}{90} = 18,43$$

$$n = 2 ; m = 1$$

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

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - \left(\frac{(2-1)1 + (1-1)2}{90 \times 1 \times 2} \right) \times 18,43 \\ &= 0,89 = 89\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_g &= \eta \times Q_{ijin} \times E_g \\ &= 0,89 \times 1058,93 \times 2 \\ &= 1884,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

Didapatkan $V (1199,371 \text{ kN}) \leq Q_g (1884,9 \text{ kN})$, maka AMAN

4.5.3 Penurunan Tiang Tunggal

Perhitungan penurunan fondasi tiang tunggal menurut Vesic

$$Q_{wp} = 25 \text{ kN/m}$$

$$Q_{ws} = 75014,72 \text{ kN/m}$$

$$q_p = 0,0267 \text{ kN/m}$$

$$E_p = 4700\sqrt{26,4} = 24149,037 \text{ MPa} = 241449037 \text{ kN/m}$$

$$E_s = 5000$$

$$C_p = 0,03$$

$$\epsilon_s = 0,5$$

$$D = 35 \text{ cm} = 0,35 \text{ m}$$

$$L = 16 \text{ m}$$

$$A_p = 962 \text{ cm} = 0,096 \text{ m}$$

$$S1 = \frac{(Q_{wp} + \alpha \times Q_{ws})L}{A_p \cdot E_p} = \frac{(25 + 0,5 \times 75014,72)1600}{962 \cdot 24249,037} = 0,2536 \text{ cm}$$

$$S2 = \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \cdot q_p} = \frac{25 \times 0,03}{35 \times 0,0267} = 0,82425 \text{ cm}$$

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{1600}{35}} = 238,64$$

$$S3 = \frac{Q_{wp}}{P \cdot L} \times \frac{D}{E_s} \times (1 - \mu_s^2) \cdot I_{ws} = \frac{25,64}{109,9 \times 1600} \times \frac{35}{5000} \times (1 - 0,3^2) \times 238,64 = 0,0003$$

$$S_t = S1 + S2 + S3$$

$$= 0,2536 + 0,82425 + 0,0003$$

$$= 1,078 \text{ cm}$$

Penurunan yang diizinkan adalah $S_{izin} = 10\% \times D = 10\% \times 35 = 3,5 \text{ cm}$

Jadi penurunan total tiang tunggal AMAN, karena $1,078 \text{ cm} < 3,5 \text{ cm}$

4.5.4 Penurunan Kelompok Tiang

Perhitungan penurunan kelompok tiang

$$\begin{aligned} S_g &= S_t \sqrt{\frac{b'}{D}} \\ &= 1,078 \sqrt{\frac{275}{35}} \\ &= 3,02 \text{ cm} \end{aligned}$$

4.5.5 Waktu Penurunan Tanah Pada Fondasi Bored Pile

Perhitungan penurunan tanah pada fondasi *bored pile*, berdasarkan persamaan 2.39

$$T_v = 0,567$$

$$C_v = 0,0045 \text{ m}^2/\text{dtk}$$

$$\begin{aligned} T &= \frac{T_v \times H^2}{C_v} = \frac{0,567 \times 16^2}{0,0045} \\ &= 32256 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$= 3,68 \text{ tahun}$$

4.5.6 Perhitungan Daya Dukung Lateral Fondasi *Boredpile*

Diketahui :

$$\gamma = 15,59 \text{ kN/m}^3$$

$$\theta = 29,35^\circ,$$

$$K_p = \frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \theta} = \frac{1 + \sin 29,35}{1 - \sin 29,35} = 2,92$$

$$F_c' = 26,4 \text{ Mpa}$$

$$D = 0,35 \text{ m}$$

$$L = 16 \text{ m}$$

❖ Cek kekakuan tiang fondasi *Bored pile*

$$\begin{aligned} E &= 4700 \times \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \times \sqrt{26,4} \\ &= 24149,0372 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

❖ Kekakuan tiang fondasi, berdasarkan persamaan 2.16

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{6} \times \pi \times D^4 \\ &= \frac{1}{6} \times 3,14 \times 0,35^4 \\ &= 0,0079 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

❖ Faktor kekakuan R dan T

$$\begin{aligned} T &= \sqrt[5]{\frac{E_p \times I}{nh}} \\ &= \sqrt[5]{\frac{24149,0372 \times 0,0079}{350}} \\ &= 0,88 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4T &= 4 \times T \\ &= 4 \times 0,88 \\ &= 3,94 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan, $L (16 \text{ m}) > 4T (3,94 \text{ m})$, maka tiang fondasi termasuk tiang fondasi Panjang yang elastis.

❖ Cek keruntuhan tanah

Perhitungan keruntuhan tanah berdasarkan

$$\begin{aligned} M_{\max} &= \gamma \times D \times L^3 \times K_p \\ &= 15,59 \times 0,35 \times 16^3 \times 2,92 \\ &= 65296,5 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

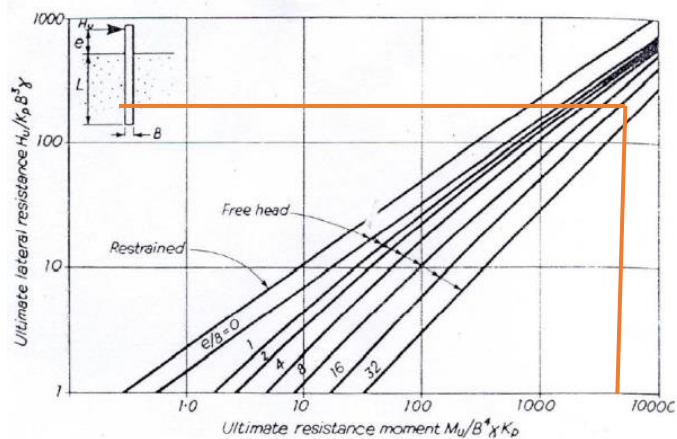
- ❖ Dikarenakan tiang fondasi panjang dan ujung tiang jepit, maka $M_{\max} > M_y$, dan asumsi M_y diambil 1500 KN.m. sedangkan perhitungannya berdasarkan persamaan 2.26.

$$\begin{aligned} f &= 0,82 \sqrt{\frac{Hu}{D \times K_p \times \gamma}} \\ &= 0,82 \sqrt{\frac{Hu}{0,35 \times 2,92 \times 15,59}} \\ &= 0,21 \sqrt{Hu} \\ Hu &= \frac{2M_y}{e + \frac{2f}{3}} \\ &= \frac{2 \times 1500}{0 + \frac{2(0,21\sqrt{Hu})}{3}} \\ &= 21428,57 \text{ kN} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Tahanan momen ultimit} &= \frac{M_y}{D^4 \times \gamma \times K_p} \\ &= \frac{1500}{0,35^4 \times 15,59 \times 2,92} \\ &= 2194,61 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nilai tahanan ultimit didapatkan 2194,61 kN, lalu di input ke dalam grafik untuk mendapatkan nilai tahanan lateral ultimit, dapat dilihat pada Gambar 4.5 diperoleh sebesar 110.



Gambar 4. 5 Grafik Nilai Tahanan Momen Ultimit

$$110 = \frac{Hu}{Kp \times y \times D^3}$$

$$Hu = 110 \times 2,92 \times 15,59 \times 0,35^3$$

$$= 214,812 \text{ kN}$$

4.6 Penurunan Pondasi Menggunakan Program PLAXIS V. 8.6

Penggunaan program PLAXIS V. 8.6 bertujuan untuk membuat pondasi *bored pile* dan *mini pile* serta mengetahui besarnya penurunan akibat beban aksial yang diterima oleh fondasi *mini pile* dan *bored pile*. Data yang digunakan untuk pemodelan menggunakan program PLAXIS V. 8.6 dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 4. 12 Parameter Tanah

No	Kedalaman (m)	Konsistensi	qc	E (kN/m ²)	C (kN/m ²)	Φ (phi)	Kx (m/day)	Ky (m/day)	V	γ _{dry} (kN/m ³)	γ _{sat} (kN/m ³)
1	0 – 2,6	LUNAK	3	3000	8	20	864 ⁻³	864 ⁻³	0,3	14	16
2	2,6 – 5	AGAK LUNAK	17	17000	26	30	864 ⁻¹	864 ⁻¹	0,3	16	18
3	5 – 10	Lempung berpasir	30	30000	15	25	864 ⁻³	864 ⁻³	0,3	14	16
4	10 – 18	KERAS	80	80000	50	40	864 ⁻¹	864 ⁻¹	0,3	17	20

Keterangan:

Data – data parameter tanah diatas diambil dari data uji tanah Gedung Mal Pelayanan Publik Sukoharjo.

Dimana:

❖ *Mini Pile*

$$E = 4700\sqrt{fc'}$$

$$= 4700 \sqrt{26,4} = 24149,037 \text{ MPa} = 24149037 \text{ kN/m}$$

$$I = \frac{1}{12} \times m \times a^2$$
$$= \frac{1}{12} \times 2400 \times 0,30^2 = 18 \text{ m}$$

$$A = 9 \text{ m}$$

$$EA = 24149037 \times 9 = 217341333 \text{ kN/m}^2$$

$$EI = 24149037 \times 18 = 434682666 \text{ kN/m}^2$$

❖ *Bored Pile*

$$E = 4700\sqrt{fc'}$$

$$= 4700 \sqrt{26,4} = 24149,037 \text{ MPa} = 24149037 \text{ kN/m}$$

$$I = \frac{1}{2} \times m \times a^2$$
$$= \frac{1}{2} \times 2400 \times 0,35^2 = 147 \text{ m}$$

$$A = 0,096 \text{ m}$$

$$EA = 24149037 \times 0,096 = 2318307,552 \text{ kN/m}^2$$

$$EI = 24149037 \times 147 = 3549908439 \text{ kN/m}^2$$

➤ Berikut ini adalah tahapan perhitungan penurunan fondasi menggunakan tiang tunggal dengan menggunakan program PLAXIS V. 8.6

1. Pertama input data menggunakan program PLAXIS V. 8.6 dengan memberikan judul dan menentukan satuan yang digunakan, dapat dilihat pada Gambar 4.6

Gambar 4. 6 Pengaturan Global

2. Kedua input data sesuai dengan kedalaman fondasi yang direncanakan, dapat dilihat pada Gambar 4.7.

Gambar 4. 7 Pengaturan Global

3. Tahapan selanjutnya klik  untuk mengatur pemodelan kontur tanah, dapat dilihat pada Gambar 4.8.

Mohr-Coulomb - Lunak 0 - 2,5

Umum | Parameter | Antarmuka

Kekuatan

☒ Kalu
☐ Manual

R_{inter} : 1,000

Tebal antarmuka sebenarnya

δ_{inter} : 0,000

SoilTest Berikunya OK Batal

Gambar 4. 11 Mohr-Coulomb

5. Setelah menginput semua data material tanah, tahap selanjutnya ialah menginput data material fondasi sesuai dengan yang telah direncanakan, dapat dilihat Gambar 4.12 dan Gambar 4.13

Sifat pelat

Kumpulan material

Identifikasi: mini pile k-325

Jenis material: Elastis

Komentar

Sifat-sifat

EA : 2,173E+08 kN/m

EI : 4,347E+08 kNm²/m

d : 4,899 m

w : 7,000 kN/m/m

v : 0,300

M_p : 1,000E+15 kNm/m

N_p : 1,000E+15 kN/m

α Rayleigh : 0,000

β Rayleigh : 0,000

OK Batal

Gambar 4. 12 Sifat Pelat Mini Pile

Sifat pelat

Kumpulan material

Identifikasi: BORED PILE

Jenis material: Elastis

Komentar

Sifat-sifat

EA : 3,033E+04 kN/m

EI : 4,637E+06 kNm²/m

d : 42,830 m

w : 7,000 kN/m/m

v : 0,300

M_p : 1,000E+15 kNm/m

N_p : 1,000E+15 kN/m

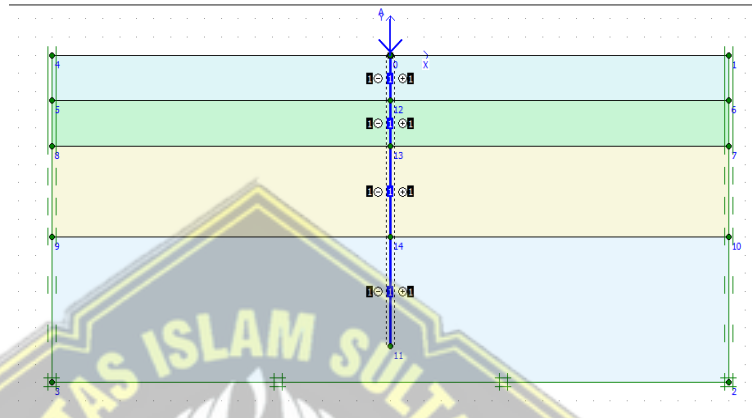
α Rayleigh : 0,000

β Rayleigh : 0,000

OK Batal

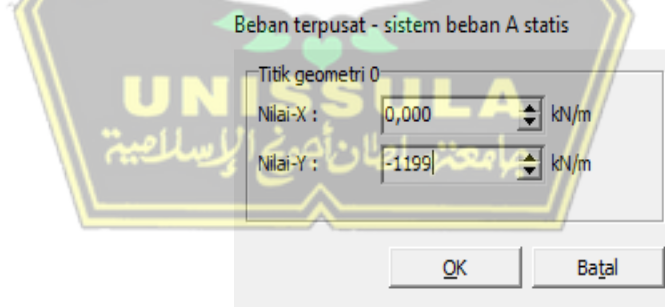
Gambar 4. 13 Sifat Pelat Bored Pile

6. Selanjutnya klik  untuk menentukan kedalaman fondasi yang telah ditentukan. Kemudian klik  untuk mengaktifkan tekanan positif dan negative di daerah sekeliling fondasi, dapat dilihat Gambar 4.14



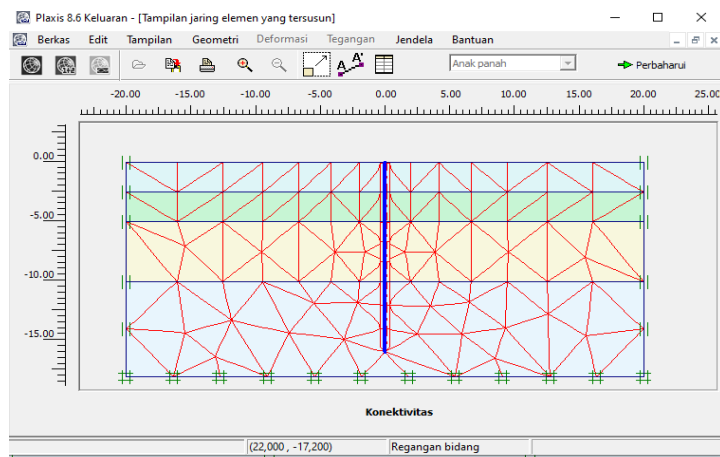
Gambar 4. 14 Pemodelan

7. Klik  untuk memberi beban yang diterima oleh fondasi dari beban bangunan, beban yang digunakan 1199 kN/m^2 , dapat dilihat pada Gambar 4.15



Gambar 4. 15 Input Pembebanan

8. Setelah memberikan beban kita cek dengan cara klik  untuk mengetahui jaringan antara elemen, dapat dilihat pada Gambar 4.16



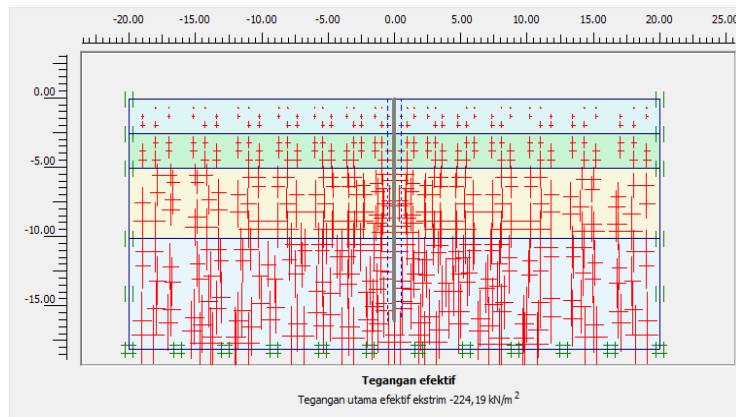
Gambar 4. 16 Susunan Elemen Jaringan

9. Kemudian klik  yang sudah ada di *toolbar*, selanjutnya klik  bertujuan untuk mengetahui berat isi air dan muka air tanah yang berada pada kedalaman 10 meter dibawah permukaan tanah, dapat di lihat pada Gambar 4.17



Gambar 4. 17 Muka Air Tanah

10. Klik tanda  untuk mengaktifkan tekanan air pori, Kemudian klik tanda  yang ada di *toolbar*, untuk mengaktifkan tekanan air pori, dapat dilihat pada Gambar 4.18



Gambar 4. 18 Tegangan Efektif Tanah

11. Kemudian klik  bergungsi untuk mengaktifkan tekanan efektif, setelah itu pilih OK, lalu akan muncul K0 – procedure. Tekan tombol  untuk mengetahui hasil dari perhitungan pemodelan menggunakan PLAXIS V. 8.6, dapat dilihat pada Gambar 4.19 dan Gambar 4.20

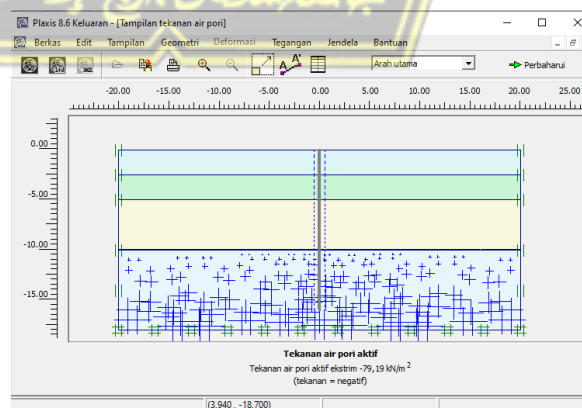
Prosedur-K0

ΣM -weight : 1,000

Klaster	Material	OCR	POP	K0
1	MC	N/A	N/A	0,357
2	MC	N/A	N/A	0,577
3	MC	N/A	N/A	0,500
4	MC	N/A	N/A	0,658
5	MC	N/A	N/A	0,577

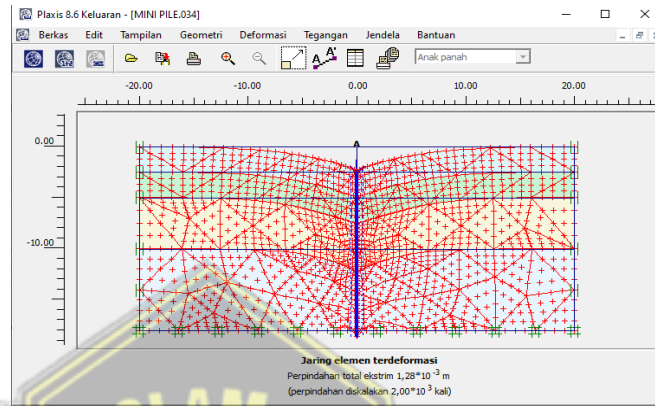
OK Batalkan

Gambar 4. 19 Prosedur-K0

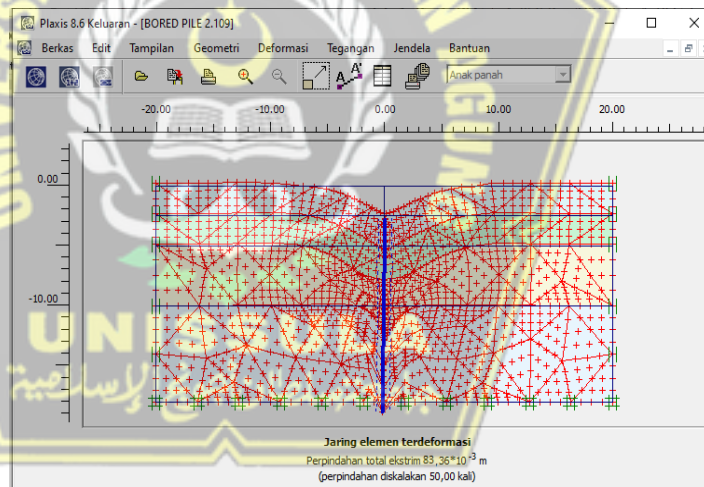


Gambar 4. 20 Tekanan Air Pori Aktif

12. Terakhir adalah hasil pemodelan dari program PLAXIS V. 8.6 menghasilkan penurunan $1,28 \cdot 10^{-3}$ cm pada fondasi *Mini pile* dan *bored pile* mengalami penurunan $8,83 \cdot 10^{-3}$ m , dapat dilihat pada Gambar 4.21 dan Gambar 4.22



Gambar 4. 21 Penurunan Fondasi *Mini Pile*



Gambar 4. 22 Penurunan fondasi *Bored Pile*

➤ Berikut langkah – langkah perhitungan penurunan fondasi kelompok tiang menggunakan program PLAXIS V 8.6

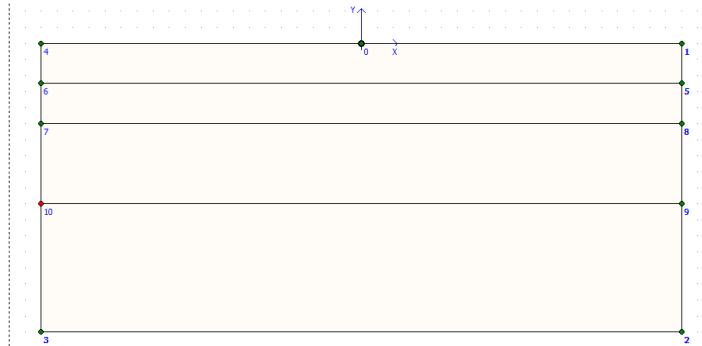
1. Tahapan pertama input data menggunakan program PLAXIS v 8.6 dengan menentukan judul dan satuan, dapat dilihat pada Gambar 4.23

Gambar 4. 23 Pengaturan Global

2. Kedua input data dimensi sesuai dengan rencana, dapat dilihat pada Gambar 4.24

Gambar 4. 24 Pengaturan Global

3. Selanjutnya pada tahap ketiga klik  untuk mengatur pemodelan kontur tanah, dapat dilihat pada Gambar 4.25



Gambar 4. 25 Pemodelan kontur tanah

4. Kemudian klik di *toolbar*  dan akan muncul kolom seperti Gambar 4.26 samapi Gambar 4.28

Mohr-Coulomb - KERAS 5 - 10

Umum | Parameter | Antarmuka

Kumpulan material:

Identifikasi: KERAS 5 - 10

Model material: Mohr-Coulomb

Jenis material: Tak terdrainase

Sifat umum:

γ_{unsat} : 17,000 kN/m³

γ_{sat} : 20,000 kN/m³

Permeabilitas:

k_x : 0,864 m/hari

k_y : 0,864 m/hari

Tingkat lanjut...

SoilTest Berikutnya OK Batalkan

Gambar 4. 26 Mohr-Coulomb

Mohr-Coulomb - KERAS 5 - 10

Umum | Parameter | Antarmuka

Kekakuan:

E_{ref} : 4,501E+04 kN/m²

ν (nu): 0,300

Kekuatan:

c_{ref} : 50,000 kN/m²

ϕ (phi): 40,000 °

ψ (psi): 0,000 °

Alternatif:

G_{ref} : 1,731E+04 kN/m²

E_{oed} : 6,060E+04 kN/m²

Kecepatan:

V_s : 99,890 m/dtk

V_p : 186,900 m/dtk

Tingkat lanjut...

SoilTest Berikutnya OK Batalkan

Gambar 4. 27 Mohr-Coulomb

Gambar 4. 28 Mohr-Coulmb

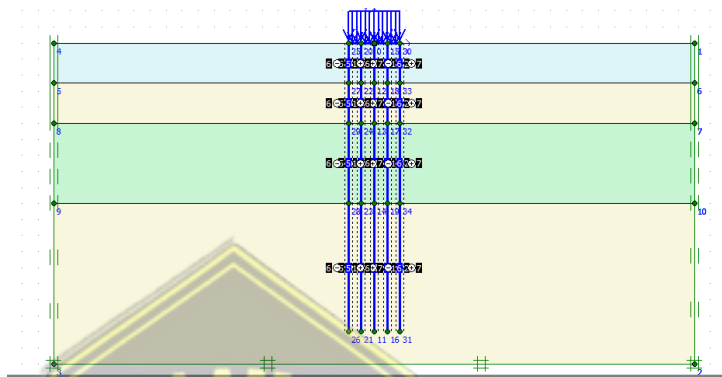
5. Tahap selanjutnya input material tanah, yaitu input data material fondasi sesuai dengan yang direncanakan, dapat dilihat pada Gambar 4.29 dan Gambar 4.30

Gambar 4. 29 Data Material Fondasi *Mini pile*

Gambar 4. 30 Data Material Fondasi *Bored Pile*

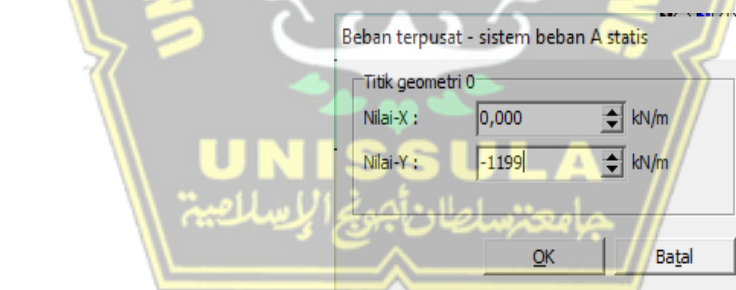
6. Setelah itu klik di *toolbar* tanda  untuk menentukan fondasi.

Kemudian klik  untuk mengaktifkan tekanan positif dan negative di daerah sekeliling fondasi, dapat dilihat pada Gambar 4.31



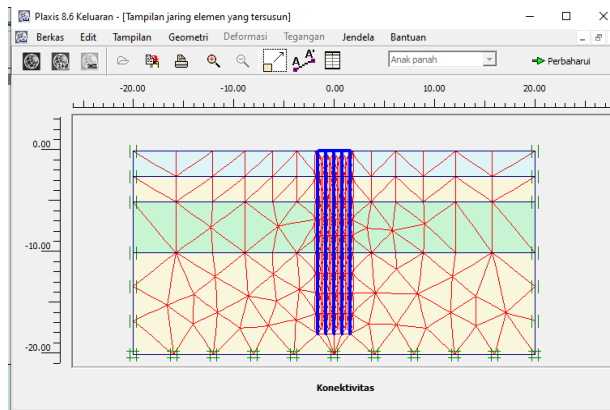
Gambar 4. 31 Pemodelan Fondasi

7. Selanjutnya klik beban pada *toolbar*  untuk mengisi beban yang diterima oleh fondasi dari beban bangunan yang sudah direncanakan, yaitu sebesar 1199 kN/m^2 , dapat dilihat pada Gambar 4.32



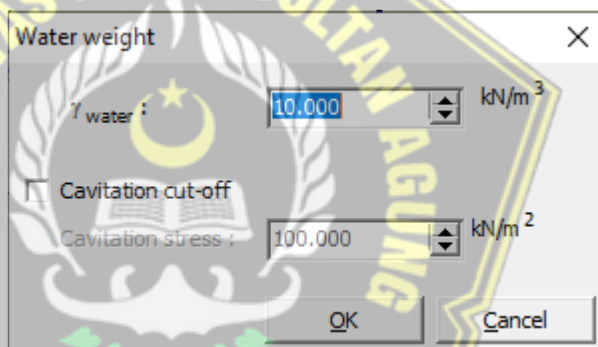
Gambar 4. 32 Beban Terpusat

8. Lalu klik  untuk mengetahui susunan jaringan antara elemen, dapat dilihat pada Gambar 4.33

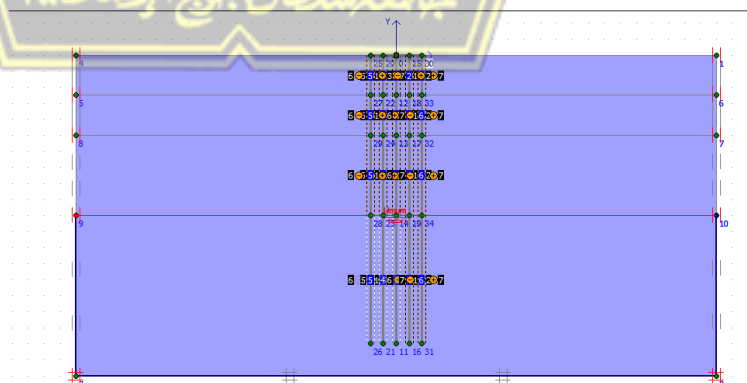


Gambar 4. 33 Susunan Jaringan Element

9. Klik , kemudian klik  kedua menu tersebut sudah ada di *toolbar*, untuk mengetahui berat isi air dan muka air tanah yang berada pada kedalaman 10 meter dibawah permukaan tanah, dapat dilihat pada Gambar 4.34 dan Gambar 4.35



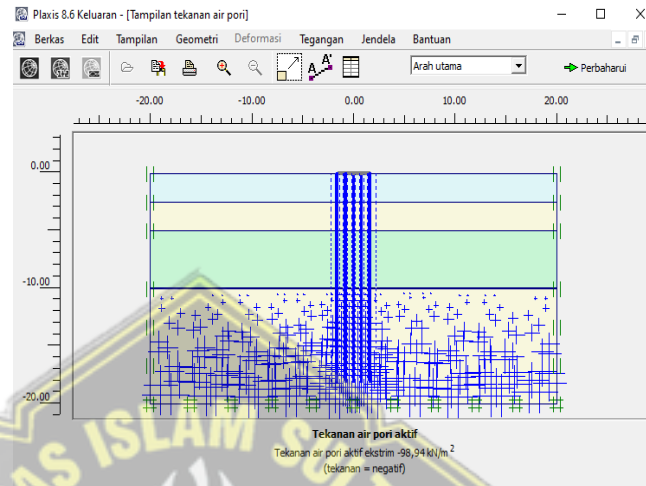
Gambar 4. 34 Water Weight



Gambar 4. 35 Output Muka Air

10. Lalu klik  pada *toolbar*, untuk mengaktifkan tekanan air

pori, kemudian klik  untuk mengaktifkan tekanan air pori pada saat keadaan awal, dapat dilihat pada Gambar 4.36.



Gambar 4. 36 Output Soil

11. Setelah itu klik  yang bertujuan untuk mengaktifkan tekanan efektif selanjutnya pilih OK, setelah itu akan muncul prosedur – K0 dapat dilihat pada Gambar 4.37. Klik tombol  Update untuk mengetahui hasil dari perhitungan pemodelan menggunakan program PLAXIS V 8.6, dapat dilihat pada Gambar 4.38

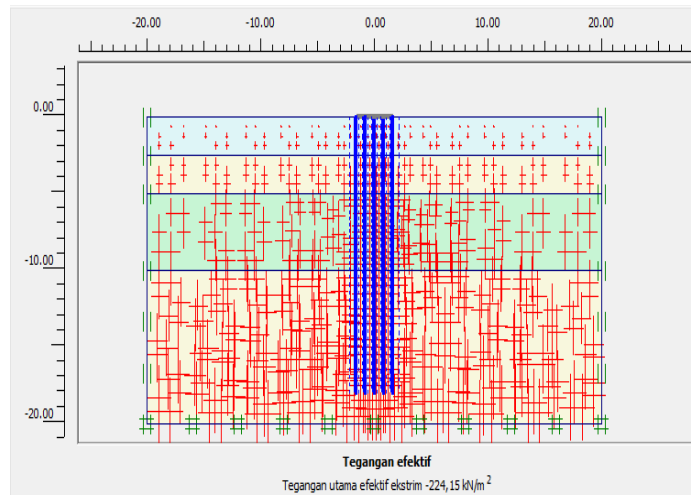
Prosedur-K0

ΣM-weight : 1,000

Klaster	Material	OCR	POP	K0
1	MC	N/A	N/A	0,500
2	MC	N/A	N/A	0,577
3	MC	N/A	N/A	0,500
4	MC	N/A	N/A	0,658
5	MC	N/A	N/A	0,577

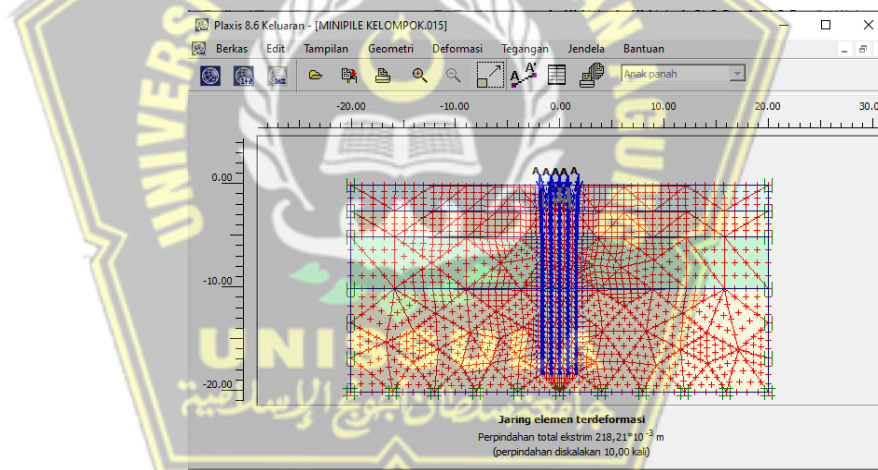
OK Batal

Gambar 4. 37 Prosedur-K0

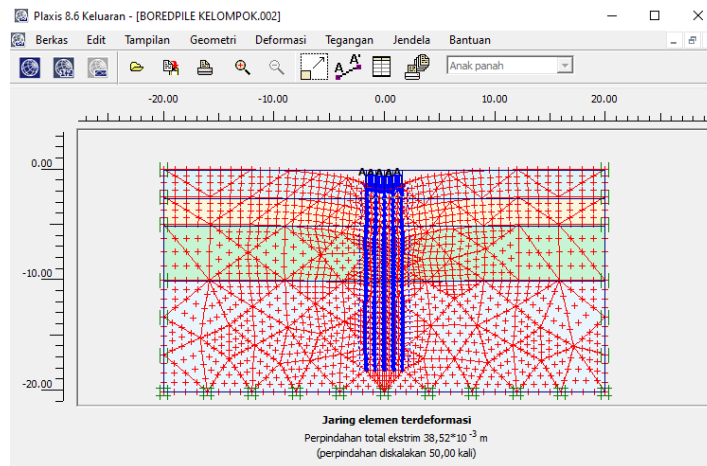


Gambar 4. 38 Prosedur-K0

12. Hasil pemodelan menggunakan program PLAXIS V 8.6 menghasilkan penurunan sebesar $218,21 \times 10^{-2}$ m pada fondasi *mini pile* dan fondasi *bored pile* menghasilkan penurunan sebesar $38,52 \times 10^{-2}$, dapat dilihat pada Gambar 4.39 dan Gambar 4.40



Gambar 4. 39 Penurunan *Mini Pile* Kelompok



Gambar 4. 40 Penurunan *Bored Pile* Kelompok

4.7 Hasil Perbandingan Daya Dukung Fondasi dan Penurunan

Berikut adalah tabel perbandingan penurunan fondasi yang dihitung menggunakan program PLAXIS V 8.6 dan menggunakan perhitungan manual. Perbandingan daya dukung fondasi dan metode yang digunakan ialah metode *mayerhoff* dan *tomlison*.

❖ Daya Dukung Fondasi

Metode	<i>Mini Pile</i>	<i>Bored Pile</i>
Mayerhoff	1849,28 kN	1757,48 kN
Tomlison	1944,97 kN	1884,9 kN
Plaxis	<i>Not Available</i>	<i>Not Available</i>

❖ Penurunan Tiang Tunggal

Metode	<i>Mini Pile</i>	<i>Bored Pile</i>
Manual	0,903 cm	1,078 cm
Tomlison	<i>Not Available</i>	<i>Not Available</i>
Plaxis	0,164 cm	0,883 cm

❖ Penurunan Kelompok Tiang

Metode	<i>Mini Pile</i>	<i>Bored Pile</i>
Manual	2,60 cm	3,02 cm
Tomlison	<i>Not Available</i>	<i>Not Available</i>
Plaxis	2,18 cm	3,85 cm



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil dari analisis perbandingan dari Gedung Mal Pelayan Publik Sukoharjo dapat disimpulkan hasilnya sebagai berikut:

1. Hasil dari perhitungan pembebanan Gedung menggunakan program SAP2000 V.14, didapatkan beban maksimal sebesar 1199,731 kN.
2. Hasil perhitungan daya dukung aksial dan lateral secara manual untuk pondasi *minipile* menggunakan metode *Mayerhoff* dan *Tomlison* dengan kedalaman 16 m. Dihasilkan daya dukung menggunakan metode *Mayerhoff* sebesar 1849,28 kN. Sedangkan yang menggunakan metode *Tomlison* sebesar 1944,97 kN dan untuk hasil dari perhitungan daya dukung lateral (Hu) 129,06 kN.
3. Hasil perhitungan daya dukung aksial dan lateral secara manual untuk fondasi *bored pile* menggunakan metode *Mayerhoff* dan *Tomlison* dengan kedalaman 16 m. Dihasilkan daya dukung menggunakan metode *Mayerhoff* sebesar 1757,48 kN Sedangkan yang menggunakan metode *Tomlison* sebesar 18848,9 kN dan untuk hasil dari perhitungan daya dukung lateral (Hu) 214,81 kN.
4. Hasil perhitungan penurunan pada fondasi *mini pile* terjadi pada tiang tunggal sebesar 0,903 cm, sedangkan penurunan fondasi *mini pile* tiang kelompok sebesar 2,60 cm, yang akan terjadi selama 3,68 tahun. Penurunan menggunakan program PLAXIS V 8.6 didapatkan nilai sebesar 0,164 cm dan untuk penurunan fondasi tiang kelompok sebesar 2,18 cm.
5. Hasil perhitungan penurunan pada fondasi *bored pile* terjadi pada tiang tunggal sebesar 1,078 cm, sedangkan penurunan fondasi *bored pile* tiang kelompok sebesar 3,02 cm, yang akan terjadi selama 3,68 tahun. Penurunan menggunakan program PLAXIS V 8.6 didapatkan nilai sebesar 0,773 cm dan untuk penurunan fondasi tiang kelompok sebesar 3,85 cm.
6. Metode *Mayerhoff* dan metode *Tomlinson* digunakan untuk mencari daya dukung fondasi.

7. Program Plaxis tidak bisa digunakan untuk menghitung daya dukung, hanya bisa digunakan untuk menghitung penurunan fondasi.

5.2 Saran

Dari penelitian tugas akhir yang telah saya lakukan dengan judul “Analisis Perbandingan Penggunaan Fondasi *Mini Pile* dengan Fondasi *Bored*” *Pile* menggunakan Metode *Mayerhoff*, *Tomlison* dan Program *Plaxis V 8.6*” Studi Kasus Mal Pelayanan Publik Sukoharjo, memberikan saran sebagai berikut:

- a. Pada saat melakukan penyidikan tanah kelapangan langsung, harus adanya pengawasan pada saat pengujian tanah.
- b. Perhitungan daya dukung secara manual bertujuan untuk mengetahui proses penurunan pada fondasi. Perhitungan menggunakan program PLAXIS V.8.6 bertujuan untuk mempermudah dalam menganalisis penurunan.
- c. Dalam melakukan analisis fondasi ini diperlukan ketelitian dan pemahaman materi sehingga hasil perencanaan fondasi lebih baik.
- d. Untuk pembuat *program* plaxis versi selanjutnya, diharapkan untuk bisa menambahkan kalkulasi atau perhitungan untuk daya dukung.



DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, F. M. 2021. Analisi Daya Dukung Fondasi Kelompok Tiang Bangunan Bandung Utara,
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. SNI 1727:2013 Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: Badan”Standarisasi Nasional,
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. SNI 1726:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional,
- Bogeman, M. L. 1965. Teknologi Mekanika. Jakarta: Erlangga,
- Bowless, Joseph. E. 1991. Sifat - Sifat Fisik dan Geoteknik Tanah. Jakarta: Erlangga,
- Bowless, Joseph. E. 1997. Analisis Dan Desain Pondasi Jilid 2. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja. M. 1995. Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik. Indonesia: Erlangga,
- Das, Braja. M. 2011. Principle Of Foundation Engineering, edisi 7. Cengage Learning, Stamford USA,
- Dunham, R.J., 1962, Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture, American Association of Petroleum Geologist Memoir 1,, 108 – 121..
- Gunawan Setiardja, 1990, Dialektika Hukum dan Moral dalam Pembangunan Masyarakat Indonesia, Yogyakarta, Kanisius.
- H. G Poulos dan E. H Davis. 1980. Pile Foundation Analysis and Design, John Wiley and Sons, New York,
- Hardiyatmo, Hary Cristady. 1996. Teknik Pondasi I. Jakarta: P.T Gramedia Pusat Utama, 91
- Hardiyatmo, Hary Cristady. 2002. Mekanika Tanah I Edisi 3. Jakarta: PT. Gramedia Pusat Utara,

Hardiiyatmo, Hary Cristady. 2011. Analisis dan Perencanaan Fondasi Bagian Edisi 2. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press,

Hardiyatmo, Hary Cristady. 2013. Geosisntetk Untuk Rekaya Jalan Raya (Perancangan dan Aplikasi). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press,

Hardiyatmo, H.C. 2014. Analisis Dan Perencanaan Fondasi I. Yogyakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Hardiyatmo, H.C. 2014. Analisis Dan Perencanaan Fondasi II. Yogyakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Joseph E, Bowles. Analisis Dan Desain Pondasi Edisi IV Jilid II. Jakarta: Erlangga.

Manalu, Angelina Oktaviana. 2020. Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Bor dengan Menggunakan Metode Analitis dan Aplikasi Komputer. Jakarta

Mayerhoff, G. G. 1965. Shallow Foundation. Journal Of The Soil Mechanics And Foundations Devision. ASCE. Vol. 91. No. SM2. pp 21-23,

Mayerhoff, G. G. 1976. Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations, Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 102, No. GT3, pp. 197–228.

Pratikso, 2017. Mekanika Tanah I. Semarang: UNISSULA PRESS,

Sosrodarsono, Sunyono, Ir. dan Nakazawa, K., 1983, Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, PT Pradnya Paramita, Jakarta.

Tomlinson, M., and Woodward, J. 2015. Pile Design Construction Practice 6th ed. CRC Pres Taylor & Francis Group A Spon Press Book. Landen, New York,

Tomlison, M. J. 1977, Pile Design and Construction Practice, The Garden City Press Limited, Lechworth, Herthfordshire SG6 1 JS.

Yuliprianto, H. 2010. Biologis Tanah dan Strategi Pengelolaan. Yogyakarta: Graha Ilmu

Vesic, AS. 1977. Design of Pile Foundations. NCHRRP Synthesis of Practice.
No.42. Transportation Research Board. Washington DC.

