

TUGAS AKHIR

**ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI
TIANG PANCANG DAN *BORE PILE* PEMBANGUNAN
JEMBATAN PELANGI SUNGAI BRINGIN**

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



Disusun oleh:

Moh Rafli Kurniawan
30201900123

Moh Syifaul Qolbi Akhada
30201900124

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

2023

TUGAS AKHIR

**ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI
TIANG PANCANG DAN *BORED PILE* PEMBANGUNAN
JEMBATAN PELANGI SUNGAI BRINGIN**

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



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

2023

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI TIANG PANCANG DAN *BORED PILE* PEMBANGUNAN JEMBATAN PELANGI SUNGAI BRINGIN



Moh Rafli Kurniawan
NIM : 30201900123



Moh Syiful Qolbi Akhada
NIM : 30201900124

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 25 Juli 2023

Tim Penguji

Tanda Tangan

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

NIDN : 0627115501

2. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng

NIDN : 0605016802

3. Dr. Abdul Rochim, ST, MT

NIDN : 0610118101

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: 04 / A.2 / SA – T / III / 2023

Pada hari ini tanggal 28 Juli 2023 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D.
Jabatan Akademik : Guru Besar
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Moh Rafli Kurniawan
NIM : 30201900123

Moh Syfaul Qolbi Akhada
NIM : 30201900124

Judul : ANALISA DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI TIANG PANCANG DAN BORED PILE PEMBANGUNAN JEMBATAN PELANGI SUNGAI BRINGIN

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	06/03/2023	ACC
2	Seminar Proposal	10/04/2023	
3	Pengumpulan data	04/05/2023	
4	Analisis data	11/05/2023	ACC
5	Penyusunan laporan	17/05/2023	
6	Selesai laporan	14/07/2023	

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

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Pendamping

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

Lisa Fitriyana, ST., M.Eng.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Moh Rafli Kurniawan

NIM : 30201900123

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

**ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI TIANG
PANCANG DAN *BORED PILE* PEMBANGUNAN JEMBATAN PELANGI
SUNGAI BRINGIN**

benar bebas 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, 24 Juli 2023

Yang membuat pernyataan



Moh Rafli Kurniawan

NIM : 30201900123



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Moh Syifaul Qolbi Akhada

NIM : 30201900124

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

**ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI TIANG
PANCANG DAN *BORED PILE* PEMBANGUNAN JEMBATAN PELANGI
SUNGAI BRINGIN**

benar bebas 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, 26 Juli 2023

Yang membuat pernyataan



Moh Syifaul Qolbi Akhada

NIM : 30201900124



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Moh Rafli Kurniawan
NIM : 30201900123
JUDUL TUGAS AKHIR : Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Fondasi
Tiang Pancang Dan *Bored Pile* Pembangunan
Jembatan Pelangi Sungai Bringin

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, 25 Juli 2023
Yang membuat pernyataan,



Moh Rafli Kurniawan
NIM : 30201900123

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Moh Syifaul Qolbi Akhada
NIM : 30201900124
JUDUL TUGAS AKHIR : Analisis Daya Dukung Dan Pemurunan Fondasi
Tiang Pancang Dan *Bored Pile* Pembangunan
Jembatan Pelangi Sungai Bringin

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, 25 Juli 2023
Yang membuat pernyataan,



UNISSU
C9370A40K502200783

Moh Syifaul Qolbi Akhada
NIM : 30201900124

MOTTO

مَنْ خَرَجَ فِي طَلَبِ الْعِلْمِ فَهُوَ فِي سَبِيلِ اللَّهِ

“Barang siapa keluar untuk mencari ilmu maka dia berada di jalan Allah”
(HR. Turmudzi)

يُحِبُّ اللَّهُ الْعَامِلَ إِذَا عَمِلَ أَنْ تَحْسِنَ. رَوَاهُ الطَّبْرَانِيُّ

“Allah mencintai pekerjaan yang apabila bekerja ia menyelesaikannya dengan baik”.

(HR. Tabrani)

عَنْ أَنَسٍ قَالَ لَا يَمُنُّ حَتَّى يَوْمَ أَشْنَى خِفَافُ رَأْيِهِ. رَوَاهُ أَحْمَدُ

“Barang siapa merasa letih di malam hari karena bekerja, maka di malam itu ia diampuni”.

(H.R. Ahmad)

الصَّلَاةُ جَمَادُ الدِّينِ الصَّلَاةُ مَقْنَعُ كُلِّ خَيْرٍ

(رواه الطبراني)

“Shalat itu adalah tiang agama, shalat itu adalah kunci segala kebaikan”.

(H.R. Tablani)

حَبَّبَ اللَّهُ إِلَى عِبَادِهِ لِيُحِبُّوكُمْ اللَّهُ

“Cintakanlah Allah, kepada hamba-hambanya maka Allah mencintaimu.”

(H.R. Tabrani dari abi umarah r.a)

جامعة سلطان أجمعين الإسلامية

PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan pemilik jiwa dan alam semesta yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarganya, sahabatnya dan juga para pengikutnya. Tugas akhir ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua saya, Bapak saya Slamet dan Ibu saya Ngarmini, atas semua dukungan moral maupun material, kasih sayang, kesabaran dan do'a.
2. Bapak Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D dan Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
3. Seluruh dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terimakasih atas semua ilmunya yang sangat bermanfaat.
4. Keluarga saya kaka – kakak saya yang telah mensupport saya.
5. Sahabat sekaligus partner laporan tugas akhir saya Moh Syifaul Qolbi Akhada, terimakasih atas waktu dan semangatnya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Semua teman-teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2019, terimakasih atas semua bantuan, perhatian dan semangatnya.

UNISSULA
جامعة سلطان أبي جوح الإسلامية

Moh Rafli Kurniawan

NIM : 30201900123

PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan pemilik jiwa dan alam semesta yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarganya, sahabatnya dan juga para pengikutnya. Tugas akhir ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua saya, Bapak saya Suntone dan Ibu saya Roudhotul Jannah, atas semua dukungan moral maupun material, kasih sayang, kesabaran dan do'a.
2. Bapak Prof. Ir. H. Pratiko, MST., Ph.D dan Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
3. Seluruh dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terimakasih atas semua ilmunya yang sangat bermanfaat.
4. Keluarga saya adik saya yang telah mensupport saya.
5. Sahabat sekaligus partner laporan tugas akhir saya Moh Rafli Kumiawan, terimakasih atas waktu dan semangatnya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Semua teman-teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2019, terimakasih atas semua bantuan, perhatian dan semangatnya.

UNISSULA
جامعة سلطان أبوبنح الإسلامية

Moh Syifaul Qolbi Akhada

NIM : 30201900124

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya laporan Tugas Akhir ini dapat terselamatkan dengan baik tentang "ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI TIANG PANCANG DAN *BORED PILE* PEMBANGUNAN JEMBATAN PELANGI SUNGAI BRINGIN", guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Sarjana Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Pada kesempatan ini, penulis hendak menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyusunan tugas akhir ini, yaitu:

1. Bapak M. Rusti Ahyar, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
3. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
5. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya, semoga tugas akhir ini bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembacanya.

Semarang, 25 Juli 2023

Penulis

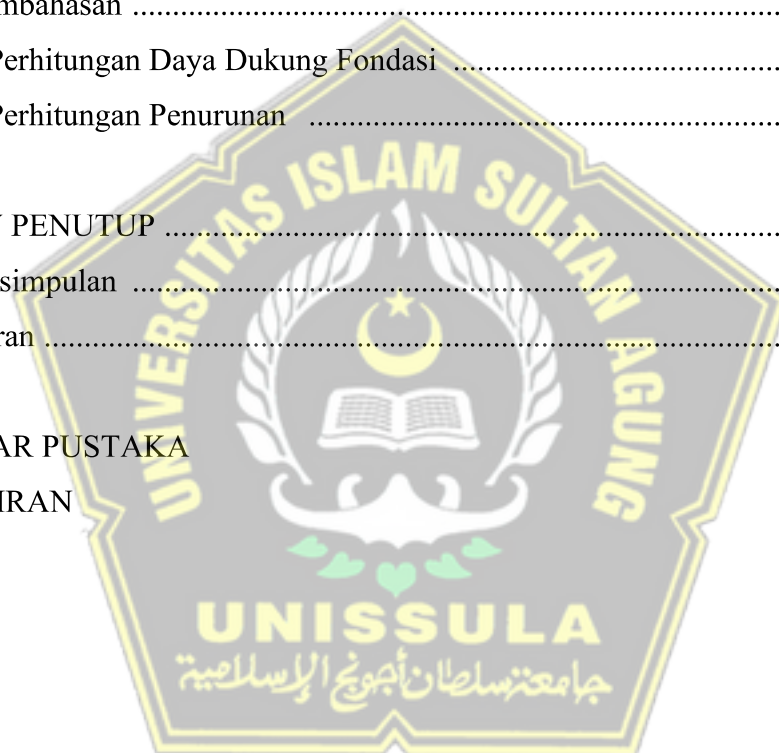
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	vi
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
ABSTRAK.....	xx
<i>ABSTRACT</i>	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Maksud dan Tujuan	3
1.5. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Pengertian Tanah	5
2.1.1. Parameter Tanah	5
2.2. Klasifikasi Tanah	8
2.3. Penyelidikan Tanah	9
2.3.1. Pekerjaan Sondir	9
2.3.2. Pekerjaan Laboratorium	10
2.4. Fondasi	10
2.4.1. Syarat Fondasi	10
2.5. Klasifikasi Fondasi	11

2.5.1. Fondasi Dangkal	11
2.5.2. Fondasi Sedang	13
2.5.3. Fondasi Dalam	13
2.6. Kapasitas Daya Dukung Pondasi	15
2.6.1. Daya Dukung Ultimit Fondasi	15
2.6.2. Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang dan <i>Bored Pile</i> Hasil Sondir	16
2.6.3. Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang dan <i>Bored Pile</i> Tunggal	19
2.6.4. Daya Dukung Tiang Pancang dan <i>Bored Pile</i> Kelompok	19
2.6.5. Distribusi Beban Pada Tiang	21
2.7. Perhitungan Daya Dukung Lateral	21
2.8. Penurunan Fondasi	25
2.9. Waktu Penurunan	27
2.10. Perhitungan Penulangan	28
2.11. Pemodelan Menggunakan <i>Software</i>	31
 BAB III METODOLOGI.....	 33
3.1. Pendahuluan	33
3.2. Lokasi Proyek	33
3.3. Data Umum	34
3.4. Data Teknis	34
3.5. Pengumpulan Data	35
3.6. Bagan Alur	36
3.7. Analisa Data	37
3.8. Pemodelan Menggunakan Program <i>Software</i> SAP.....	38
3.9. Pemodelan Menggunakan Program <i>Software</i> Plaxis 8.2	38
3.10. Metode Perhitungan	39
3.10.1. Perhitungan Daya Dukung Ultimit Fondasi.....	39
3.10.2. Perhitungan Daya Dukung Fondasi Metode Aoki dan De Alencar (1975)	39
3.10.3. Perhitungan Daya Dukung Fondasi Metode Meyerhoff (1976)	39
3.10.4. Menentukan Banyak Tiang Fondasi Yang Dibutuhkan	39

3.10.5. Perhitungan Efisiensi Daya Dukung Fondasi Metode Converse-Labare (1960)	39
3.10.6. Perhitungan Daya Dukung Lateral Metode Broms (1964)	39
3.10.7. Perhitungan Waktu Penurunan.....	40
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1. Tinjauan Umum	41
4.2. Design Struktur Atas dengan Software SAP 2000 v.14	41
4.3. Pembebanan Struktur Jembatan	42
4.3.1. Beban Mati	42
4.3.2. Beban Lajur Lalu Lintas	44
4.3.3. Pengaruh Gempa	46
4.4. Data Perencanaan	48
4.5. Analisa Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang <i>Spun Pile</i>	48
4.5.1. Analisa Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang <i>Spun Pile</i> Metode Aoki dan De Alencar (1975)	49
4.5.2. Analisa Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang <i>Spun Pile</i> Metode Mayerhoff (1976)	51
4.5.3. Perhitungan Jarak Antar Fondasi Tiang Pancang <i>Spun Pile</i> dan Jarak As ke Tepi	55
4.5.4. Kebutuhan Jumlah Fondasi Tiang Pancang <i>Spun Pile</i>	55
4.5.5. Efisien Daya Dukung Tiang	55
4.5.6. Perhitungan Daya Dukung Lateral Fondasi Tiang Pancang <i>Spun Pile</i>	56
4.5.7. Penurunan Tiang Tunggal	58
4.5.8. Penurunan Kelompok Tiang	60
4.5.9. Waktu Penurunan Tanah Fondasi Tiang Pancang <i>Spun Pile</i>	60
4.6. Analisa Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang <i>Bored Pile</i>	60
4.6.1. Analisa Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang <i>Bored Pile</i> Metode Aoki dan De Alencar (1975)	61
4.6.2. Analisa Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang <i>Bored Pile</i> Metode Mayerhoff (1976)	63

4.6.3. Perhitungan Jarak Antar Fondasi Tiang Pancang <i>Bored Pile</i> dan Jarak As ke Tepi	66
4.6.4. Kebutuhan Jumlah Fondasi Tiang Pancang <i>Bored Pile</i>	66
4.6.5. Efisien Daya Dukung Tiang	66
4.6.6. Perhitungan Daya Dukung Lateral Fondasi Tiang Pancang <i>Bored Pile</i> ..	66
4.6.7. Penurunan Tiang Tunggal	69
4.6.8. Penurunan Kelompok Tiang	70
4.6.9. Waktu Penurunan Tanah Fondasi Tiang Pancang <i>Bored Pile</i>	70
4.7. Penurunan Fondasi Menggunakan <i>Software</i> PLAXIS 8.6	75
4.8. Pembahasan	92
4.8.1. Perhitungan Daya Dukung Fondasi	92
4.8.2. Perhitungan Penurunan	93
 BAB V PENUTUP	 94
5.1. Kesimpulan	94
5.2. Saran	94
 DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Nilai Perkiraan <i>Modulus Young</i>	6
Tabel 2.2. Hubungan Antara Jenis Tanah dan <i>Poisson Ratio</i>	7
Tabel 2.3. Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dan Jenis Tanah	7
Tabel 2.4. Simbol Tanah	9
Tabel 2.5. Faktor Keamanan	16
Tabel 2.6. Faktor <i>Empiric</i> F_b dan F_s	17
Tabel 2.7. Nilai Faktor <i>Empiric</i> Tanah	18
Tabel 2.8. Nilai-nilai n_h untuk tanah granular ($c = 0$)	25
Tabel 2.9. Nilai-nilai n_h untuk tanah kohesif	25
Tabel 2.10. Koefisien <i>Empiric</i>	26
Tabel 2.11. Derajat Konsolidasi	27
Tabel 3.1. Data-Data Umum Proyek	34
Tabel 3.2. Data Teknis Proyek	35
Tabel 4.1. Beban Mati Sendiri	43
Tabel 4.2. Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana	44
Tabel 4.3. Faktor Beban Untuk Beban Lajur	45
Tabel 4.4. Klasifikasi Jalan	46
Tabel 4.5. Faktor Akibat Gempa	46
Tabel 4.6. Hasil <i>Output Element Forces-Frames</i>	47
Tabel 4.7. Data Tanah	49
Tabel 4.8. Nilai q_c Dasar Tiang	50
Tabel 4.9. Nilai q_c Selimut Tiang	50
Tabel 4.10. Hasil Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang <i>Spun Pile</i> Metode Aoki De Alencar (1975)	53
Tabel 4.11. Hasil Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang <i>Spun Pile</i> Metode Mayerhoff (1976)	54
Tabel 4.12. Nilai q_c Dasar Tiang	61
Tabel 4.13. Nilai q_c Selimut Tiang	62
Tabel 4.14. Hasil Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang <i>Bored Pile</i> Metode Aoki De Alencar (1975)	64

Tabel 4.15. Hasil Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang <i>Bored Pile</i> Metode Mayerhoff (1976)	65
Tabel 4.16. Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang <i>Spun Pile</i> Metode Aoki De Alencar (1975)	72
Tabel 4.17. Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang <i>Bored Pile</i> Metode Aoki De Alencar (1975)	72
Tabel 4.18. Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang <i>Spun Pile</i> Metode Mayerhoff (1976)	73
Tabel 4.19. Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang <i>Bored Pile</i> Metode Mayerhoff (1976)	74
Tabel 4.20. Parameter Tanah	75
Tabel 4.21. Perbandingan Perhitungan Daya Dukung Fondasi Tunggal	92
Tabel 4.22. Perbandingan Perhitungan Daya Dukung Fondasi Kelompok	92
Tabel 4.23. Perbandingan Perhitungan Penurunan Fondasi	93



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Fondasi Memanjang atau Menerus	12
Gambar 2.2. Pondasi Telapak	12
Gambar 2.3. Pondasi Rakit	12
Gambar 2.4. Fondasi Sumuran	13
Gambar 2.5. Fondasi Tiang.....	14
Gambar 2.6. Fondasi <i>Bored Pile</i>	15
Gambar 2.7. Grafik Daya Dukung Lateral Ultimit	23
Gambar 2.8. Grafik Tahanan Lateral Ultimit Tiang Pada Tanah Kohesif (a) Tiang Pendek, (b) Tiang Panjang	24
Gambar 2.9. Penampang Lingkaran	30
Gambar 3.1. Denah Lokasi Proyek Jembatan Pelangi	33
Gambar 3.2. Bagan Alur	36
Gambar 4.1. Desain Struktur Atas Jembatan Aplikasi SAP v.14	42
Gambar 4.2. Beban Hidup Lajur (SNI 1725 : 2016)	45
Gambar 4.3. Beban Hidup Truk (SNI 1725 : 2016)	46
Gambar 4.4. Lendutan Akibat Gempa (SNI 1725 : 2016)	47
Gambar 4.5. Tahanan Ultimit Fondasi Tiang Pancang <i>Spun Pile</i>	58
Gambar 4.6. Pengaturan <i>Global-Project</i>	76
Gambar 4.7. Pengaturan <i>Global-Project</i>	76
Gambar 4.8. Permodelan Kontur Tanah	77
Gambar 4.9. Data Umum	77
Gambar 4.10. <i>Mohr Coulomb</i>	78
Gambar 4.11. Dialog Muka Material Pasir	78
Gambar 4.12. Data Material Fondasi	78
Gambar 4.13. Pemodelan Fondasi Tunggal	79
Gambar 4.14. Pemodelan Fondasi Tunggal dengan Mengaktifkan Tekanan Positif dan Negatif Disekeliling Fondasi	79
Gambar 4.15. Input Pembebanan	80
Gambar 4.16. Susunan Jaringan Elemen	80
Gambar 4.17. <i>Water Waight</i>	81

Gambar 4.18. Muka Air Tanah	81
Gambar 4.19. Tekanan Air Pori Aktif	82
Gambar 4.20. Prosedur K0	82
Gambar 4.21. Tegangan Efektif Tanah	83
Gambar 4.22. Deformasi Total.....	83
Gambar 4.23. Pengaturan <i>Global-Project</i>	84
Gambar 4.24. Pengaturan <i>Global-Project</i>	84
Gambar 4.25. Permodelan Kontur Tanah	85
Gambar 4.26. Data Umum	85
Gambar 4.27. <i>Mohr Coulomb</i>	86
Gambar 4.28. Dialog Muka Material Pasir	86
Gambar 4.29. Data Material Fondasi	86
Gambar 4.30. Permodelan Fondasi Kelompok	87
Gambar 4.31. Permodelan Fondasi Kelompok dengan Mengaktifkan Tekanan Positif dan Negatif Disekeliling Fondasi	87
Gambar 4.32. <i>Point Load</i>	88
Gambar 4.33. Susunan Jaringan Elemen	88
Gambar 4.34. <i>Water Waight</i>	89
Gambar 4.35. Muka Air Tanah	89
Gambar 4.36. Tekanan Air Pori Aktif	90
Gambar 4.37. Prosedur K0	90
Gambar 4.38. Tegangan Efektif Tanah	91
Gambar 4.39. Deformasi Total.....	91

ABSTRAK

Setiap hari, jumlah kendaraan di Indonesia terus bertambah. Selain itu, masyarakat mendapat bagian yang sama dari peningkatan tersebut. Jumlah kendaraan yang sangat banyak juga menyebabkan stagnasi di tempat lain. Situasi terkini ruas jalan Wonosari di Kota Semarang adalah salah satu contohnya. Meningkat jalur yang berbeda dengan Wonosari, arus lalu lintas cukup padat, namun infrastruktur tidak memadai untuk menanganinya.

Berbagai jenis alat dan metode dapat digunakan untuk menganalisis daya dukung tanah dan penurunan pondasi pada bangunan. *Cone Penetration Test* (CPT) atau yang lebih dikenal dengan sondir merupakan salah satu pengujian tanah dilapangan yang dapat digunakan untuk menganalisis daya dukung tanah selanjutnya dapat dilakukan analisis penurunan pondasi suatu bangunan.

Perhitungan tiang pancang *spun pile* dan *bored pile* dengan diameter 50 cm kedalaman fondasi 20 m. Hasil perhitungan daya dukung fondasi secara manual untuk fondasi tiang pancang *spun pile* dengan metode Aoki De Alencar mendapatkan hasil sebesar 44,528 ton sedangkan menggunakan metode Mayerhoff mendapatkan hasil sebesar 52,626 ton. Hasil perhitungan daya dukung fondasi secara manual untuk fondasi *bored pile* dengan metode Aoki De Alencar mendapatkan hasil sebesar 22,264 ton sedangkan menggunakan metode Mayerhoff mendapatkan hasil sebesar 52,626 ton. Besar penurunan yang terjadi pada fondasi tiang pancang *spun pile* tunggal sebesar 2,15 cm, sedangkan untuk penurunan fondasi *spun pile* kelompok sebesar 5,933 cm, sedangkan perhitungan penurunan yang terjadi pada fondasi *bored pile* tunggal sebesar 3,33 cm, untuk penurunan fondasi *bored pile* kelompok sebesar 9,171 cm. Hasil dari perhitungan penurunan menggunakan *software* PLAXIS V.8.6 didapat nilai penurunan fondasi tunggal sebesar 4,455 cm, sedangkan penurunan fondasi kelompok sebesar 12,381 cm. Dengan waktu penurunan yang akan terjadi selama 4,089 tahun.

Kata Kunci: *Fondasi; Tiang Pancang Spun Pile; Bored Pile; Daya Dukung; dan Penurunan Fondasi*

ABSTRACT

Every day, the number of vehicles in Indonesia continues to grow. In addition, the community gets an equal share of the increase. The huge number of vehicles has also caused stagnation elsewhere. The current situation of the Wonosari road section in Semarang City is an example. Considering that the route is different from Wonosari, the traffic flow is quite heavy, but the infrastructure is inadequate to handle it.

Various types of tools and methods can be used to analyze soil bearing capacity and foundation settlement in buildings. The Cone Penetration Test (CPT) or better known as sondir is one of the field soil tests that can be used to analyze the carrying capacity of the soil and then analyze the settlement of the foundation of a building.

Calculation of spun piles and bored piles with a diameter of 50 cm with a foundation depth of 20 m. The results of calculating the bearing capacity of the foundation manually for spun pile foundations using the Aoki De Alencar method yielded 44.528 tonnes while using the Mayerhoff method yielded 52.626 tonnes. The results of calculating the bearing capacity of the foundation manually for bored pile foundations with the Aoki De Alencar method get a result of 22.264 tons while using the Mayerhoff method get a result of 52.626 tons. The amount of settlement that occurs in the single spun pile foundation is 2.15 cm, while for the settlement of group spun pile foundations it is 5.933 cm, while the calculation of the settlement that occurs in single bored pile foundations is 3.33 cm, for the settlement of group bored pile foundations of 9.171 cm. The results of settlement calculations using PLAXIS V.8.6 software obtained a single foundation settlement value of 4.455 cm, while group foundation settlement was 12.381 cm. With a time of decline that will occur for 4,089 years.

Keywords: *Foundation; Spun Pile; Bored Piles; Carrying capacity; and Lowering of Foundations.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap hari, jumlah kendaraan di Indonesia terus bertambah. Selain itu, masyarakat mendapat bagian yang sama dari peningkatan tersebut. Jumlah kendaraan yang sangat banyak juga menyebabkan stagnasi di tempat lain. Situasi terkini ruas jalan Wonosari di Kota Semarang adalah salah satu contohnya. Meningat jalur yang berbeda dengan Wonosari, arus lalu lintas cukup padat, namun infrastruktur tidak memadai untuk menanganinya. Pada ruas jalan Wonosari tepatnya di Desa Wonosari, Kecamatan Ngaliyan, Kota Semarang memiliki jembatan yang kurang memadai dan tidak cukup mendukung jumlah kendaraan yang menggunakan jalur tersebut.

Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana Provinsi Jawa Tengah, bermaksud untuk melaksanakan pekerjaan Peninggian dan Pelebaran Jembatan Pelangi, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah yang akan dilaksanakan oleh Penyedia Jasa Konstruksi, PT. Adhi Karya (Persero) KSO PT. Prima Bangun Adhidaya. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Balai Besar Sungai Pemali Juana Provinsi Jawa Tengah, berharap ada tim yang berperan sebagai pengawas untuk membantu pengawasan teknis di lokasi aktif. Penyelesaian pekerjaan sesuai dengan rencana mutu, biaya, volume, dan waktu yang dituangkan dalam kontrak jasa konstruksi akan membantu menjamin penyelesaian pekerjaan sesuai rencana. Penyedia jasa konsultan untuk kegiatan supervise dan pengawasan teknis adalah PT. INAKKO Internasional Konsulindo KSO PT. Ciriajasa E.C.

Tanah dengan kepadatan rendah hingga sedang menjadi fondasi proyek Jembatan Pelangi. Kondisi tanah seperti itu memiliki daya dukung yang buruk dan dapat menyebabkan penurunan yang signifikan pada fondasi bangunan. Untuk mencegah keruntuhan struktur yang didirikan di tempat-tempat dekat sungai, penyelidikan menyeluruh terhadap daya dukung tanah dan penurunan fondasi sangat penting.

Daya dukung tanah dan penurunan fondasi bangunan keduanya dapat diperiksa dengan menggunakan berbagai instrumen dan teknik. Salah satu uji tanah lapangan yang dapat dilakukan untuk menilai daya dukung tanah dan penurunan fondasi bangunan adalah *Cone Penetration Test (CPT)*, kadang-kadang disebut sondir.

Pada penelitian ini juga mempertimbangkan jenis beban dan kondisi tanah yang terdapat di Proyek Jembatan Pelangi. Seharusnya dalam merencanakan fondasi wajib direncanakan dengan matang supaya bisa menahan beban yang diterima dengan daya dukung fondasi. Pada penelitian ini untuk menghitung beban menggunakan SAP2000 v.14 dan penurunan fondasi menggunakan PLAXIS v.8.6.

Maka sesuai penjelasan diatas penulis akan menyelesaikan penyusunan tugas akhir dengan judul “ **ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI TIANG PANCANG DAN *BORED PILE* PEMBANGUNAN JEMBATAN PELANGI SUNGAI BRINGIN** “.

1.2 Rumusan Masalah

Menurut latar belakang diatas, berikut rumusan masalahnya :

- a. Berapa beban ijin yang akan diterima oleh fondasi tiang pancang dan *bored pile*?
- b. Berapa daya dukung fondasi tiang pancang dan *bored pile* pada proyek Jembatan Pelangi Sungai Bringin?
- c. Berapa penurunan fondasi tiang pancang dan *bored pile* yang akan terjadi pada proyek pembangunan Jembatan Pelangi Sungai Bringin sesuai dengan data tanah yang telah diuji?

1.3 Batasan Masalah

Berikut ini adalah beberapa faktor yang dibatasi oleh masalah penelitian, yaitu :

- a. Merencanakan fondasi tiang pancang dan *bored pile* menggunakan data tanah dari hasil uji tanah pada proyek pembangunan Jembatan Pelangi Sungai Bringin oleh laboratorium mekanika tanah departemen Teknik - fakultas teknik Universitas Diponegoro berupa data sondir manual.
- b. Pembebanan struktur atas menggunakan aplikasi SAP 2000 v.14.
- c. Perhitungan nilai penurunan fondasi tiang pancang dan *bored pile* menggunakan perhitungan manual dan aplikasi PLAXIS v.8.6.

- d. Denah fondasi menggunakan gambar kerja pada proyek Jembatan Pelangi Sungai Bringin.

1.4 Maksud dan Tujuan

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

- a. Mengetahui berapa beban ijin yang diterima oleh fondasi tiang pancang dan *bored pile*.
- b. Mengetahui berapa daya dukung fondasi tiang pancang dan *bored pile* pada proyek Jembatan Pelangi Sungai Bringin.
- c. Mengetahui nilai dan waktu penurunan yang terjadi akibat beban yang diterima fondasi tiang pancang dan *bored pile* pada proyek Jembatan Pelangi Sungai Bringin.

1.5 Sistematika Penulisan

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

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, maksud dan tujuan, dan sistematika penulisan yang akan digunakan untuk penyusunan tugas akhir.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang dasar teori, rumus, dan segala sesuatu yang akan dijadikan untuk menyelesaikan penyusunan tugas akhir yang didapatkan dari berbagai sumber seperti buku literatur, jurnal ilmiah, *website*, serta hasil penelitian sebelumnya.

BAB III : METODOLOGI

Pada bab ini menjelaskan tentang pendahuluan, lokasi proyek, data umum, data teknis, bagan alur, metode pengumpulan data, dan metode pengolahan data dalam penyusunan tugas akhir.

BAB IV : HASIL PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan mengenai hasil perhitungan pembebanan struktur atas, perhitungan daya dukung dan penurunan fondasi tiang pancang dan *bored pile* yang diperoleh dari pengolahan data-data secara manual maupun dengan menggunakan aplikasi *software*.

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan kesimpulan yang ditinjau berdasarkan hasil penelitian yang telah disusun serta saran terhadap penelitian berikutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Tanah

Tanah dilihat dari prespektif teknik sipil sebagai kumpulan unsur-unsur yang relatif lepas, termasuk bahan organik dan endapan, yang berada di atas batuan dasar. Karbonat, senyawa organik, atau oksida yang mengendap antar partikel dapat menyebabkan ikatan antar butir relatif lemah. (Hardiyatmo, 2010). Selain senyawa organik yang telah lapuk dengan cairan dan gas yang menempati ruang kosong antar partikel padat, tanah digambarkan sebagai zat yang terdiri dari butiran mineral padat (agregat) yang tidak terikat secara kimia satu sama lain (Pratikso, 2017).

Tanah merupakan komponen alam yang terdiri dari komponen anorganik dan organik. Secara umum, tanah terdiri dari lapisan-lapisan sedimen yang relatif lepas di atas batuan dasar (*poor rock*) yang dipisahkan oleh siklus mekanis dan partikel mineral alami. Endapan karbon, organik, atau oksida di dalam butiran menyebabkan ikatan yang relatif lemah. Kekosongan antara partikel dapat diisi dengan udara, air, atau keduanya (Hardiyatmo, 1992).

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

Sangat penting untuk memiliki pemahaman yang komprehensif tentang sifat-sifat tanah sebelum merencanakan. Besar kecilnya butir tanah yang menopang fondasi serta berat jenis tanah, kadar air, berat jenis, angka pori, dan sudut geser semuanya dipengaruhi oleh faktor tanah.

2.1.1 Parameter Tanah

Tiga (3) fase unsur tanah adalah butiran padat, air, dan udara. Memahami komposisi tanah dapat membantu memutuskan bagaimana mendapatkan karakteristik tanah dan bagaimana volume dan berat berhubungan.

Parameter tanah yang tercantum di bawah ini digunakan untuk mengkarakterisasi sifat dan kualitas tanah, khususnya :

a. Modulus Young (E)

Perbandingan antara tegangan yang terjadi dengan regangan dinyatakan dengan nilai Modulus Young (E) yang juga menunjukkan nilai elastisitas tanah. Uji triaksial dapat digunakan untuk menentukan nilai ini. Data sondir dan jenis tanah dapat digunakan untuk menghitung nilai Modulus Elastisitas (Es) empiris, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Nilai Perkiraan Modulud Young

Macam Tanah	E (Kg/cm ²)
LEMPUNG	
• Sangat Lunak	3-30
• Lunak	20-40
• Sedang	45-90
• Berpasir	300-425
PASIR	
• Berlanau	50-200
• Tidak Padat	100-250
• Padat	500-1000
PASIR DAN KERIKIL	
• Padat	800-2000
• Tidak Padat	500-1400
LANAU	20-200
LOSES	150-600
CADAS	1400-14000

(Sumber : Bowles, 1997)

b. Poisson Ratio (μ)

Gaya tekan poros terhadap ekspansi lateral digunakan untuk menghitung rasio poisson. Jenis tanah dapat digunakan untuk menentukan nilai rasio Poisson, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 di bawah ini:

Tabel 2. 2 Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson Ratio

Jenis Tanah	Poisson Raatio (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	0,1-1,0
Batuan	0,1-0,4
Umum dipakai untuk tanah	0,3-0,4

(Sumber : Das, 2011)

c. Sudut Geser Dalam ($\emptyset$)

Ketahanan tanah terhadap tegangan kerja dalam bentuk tekanan tanah lateral ditentukan oleh nilai sudut geser internal dan kohesi. Pengukuran Uji Geser Langsung juga dapat menghasilkan nilai ini. Tabel 2.3 menampilkan hubungan antara jenis tanah dan internal sudut geser:

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

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam ($\emptyset$)
Kerikil kepasiran	35 ⁰ - 40 ⁰
Kerikil kerakal	35 ⁰ - 40 ⁰
Pasir padat	35 ⁰ - 40 ⁰
Pasir lepas	30 ⁰
Lempung kelanauan	25 ⁰ - 30 ⁰
Lempung	20 ⁰ - 25 ⁰

(Sumber : Das, 2011)

d. Kohesi ©

Kohesi adalah istilah yang menunjukkan gaya tarik-menarik antara butir-butir tanah. Ketahanan tanah terhadap deformasi akibat regangan ditentukan oleh kohesi bersama dengan sudut geser dan kekuatan tanah. Ketika tegangan normal dan tegangan geser digabungkan dalam keadaan kritis, terjadi deformasi. Jenis tanah yang terdapat di lapangan merupakan tanah non kohesif karena berupa tanah lempung, dengan tanah keras pada kedalaman 50 m.

2. 2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah digunakan untuk mengkategorikan tanah berdasarkan bagaimana mereka biasanya berperilaku dalam keadaan fisik tertentu. Urutan tanah yang dikategorikan menurut satu sifat fisik tertentu dapat berubah tergantung pada kriteria fisik lainnya. Akibatnya, banyak sistem deskripsi telah dibuat untuk memenuhi kebutuhan sistem.

Bagi seorang insinyur tanah, deskripsi tanah terbukti sangat membantu. Klasifikasi dapat menawarkan saran menyeluruh berdasarkan prediksi empiris tentang apa yang akan terjadi dalam pengalaman lapangan orang lain. Namun, perawatan harus digunakan saat menggunakan sistem kategorisasi.

Klasifikasi tanah bertujuan untuk mengelompokkan tanah sesuai kecenderungan dan kemiripan sifatnya, hal ini dipergunakan untuk mengetahui tentang karakteristik asal pemadatan, kekuatan suatu tanah, berat isi tanah dan lain sebagainya pada bentuk suatu data. Sistem ini mampu menggunakan beberapa sistem yaitu sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of Highway and Transportation Officials*) dan *Unified Soil Classification System* (USCS).

Tanggul, subbase, dan subgrade jalan dapat direncanakan dengan menggunakan sistem kategorisasi kualitas tanah yang dikembangkan oleh *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO). Tanah dibagi menjadi 8 kategori, termasuk A-1 hingga A-7 menggunakan sistem deskripsi AASHTO. Setiap kelompok tanah dibandingkan dengan indeks kelompoknya masing-masing, yang ditentukan dengan rumus empiris.

Klasifikasi tanah antara para profesional di bidang rekayasa tanah dan fondasi, *Unified Soil Classification System* (USCS) adalah sistem klasifikasi tanah yang paling banyak digunakan. Sistem kategorisasi *Airfield* dibuat oleh Casagrande pada tahun 1948 dan merupakan yang pertama menggunakannya.

Sistem ini membagi tanah kedalam 3 kelompok utama yaitu tanah butir kasar, tanah butir halus dan tanah sangat organik. Berikut ialah garis besarnya membedakan tanah atas 3 grup besar, yaitu:

1. Tanah berbutir kasar adalah tanah yang mempertahankan lebih dari 50% unsur penyusunnya dalam saringan no. 200 (0,075mm). Pasir (S) dan kerikil (G) membentuk tanah butiran kasar.

2. Tanah berbutir halus adalah tanah yang lebih dari 50% penyusunnya lolos saringan no. 200. Tergantung letak tanah grafik plastisitas (korelasi batas cair, indeks plastisitas), tanah berbutir halus ini diklasifikasikan sebagai lanau (M), lempung (C), dan lanau dan lempung organik (O).
3. Apabila batas cair contoh tanah yang telah dibakar dengan yang belum dibakar berbeda lebih dari 25%, maka tanah tersebut dianggap sebagai tanah organik (Gambut/Humus).

Simbol lain yang dipergunakan untuk klasifikasi merupakan W - untuk gradasi baik (*Wells graded*), P - gradasi buruk (*poorly graded*), L - plastisitas tinggi (*low plasticity*) serta H - plastisitas tinggi (*high plasticity*).

Tabel 2. 4 Simbol Tanah

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

(Sumber : Craig, 1991)

2.3 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah lapangan bertujuan untuk mengidentifikasi jenis lapisan dan keadaan tanah. Analisis ini menetapkan daya dukung dan jenis fondasi yang akan digunakan dalam perencanaan. Terdapat dua jenis investigasi tanah, yaitu investigasi lapangan seperti: pemeriksaan sondir serta pemeriksaan pada laboratorium.

2.3.1 Pekerjaan Sondir

Alat sondir yang dapat mengukur besarnya gaya gesek lokal dan tahanan konus dilapangan digunakan untuk melakukan uji sondir. Diagram sondir, yang menggambarkan hubungan antara kedalaman sondir di bawah permukaan tanah, besarnya tahanan konus (q_c) dan jumlah batasan perlekatan (TF), digunakan untuk menggambarkan temuan sondir (Pamungkas & Harianti, 2013).

Alat sondir manual tipe *Gouda atau Dutch Cone Penetrometer* dengan kapasitas 2,5 ton dan resistansi konus $q_c = 250,0 \text{ kg/cm}^2$ adalah alat yang digunakan dalam pekerjaan sondir.

Dalam penelitian sondir ini, tahanan ujung (*conus resistance*) = q_c dalam kg/cm^2 pada suatu tempat dan besaran tahanan geser (*local friction*) (f_s) dalam kg/cm sepanjang lubang setelah konus lewat perlu diukur secara tepat. Untuk setiap kedalaman 20 cm, uji sondir dijalankan dengan kecepatan 2 cm/detik. Hasil dan contoh ilustrasi meliputi :

- Grafik tahanan konus (*conus resistance*) terhadap kedalaman.
- Grafik letakan setempat (*local friction*).
- Grafik jumlah hambatan lekat (*total friction*).
- Perbandingan geser local dengan tekanan konus (*friction ratio*).

2.3.2 Pekerjaan Laboratorium

Pekerjaan ini dilakukan untuk menggambar grafik tahanan konus (*conus resistance*), letakan setempat (*local friction*), jumlah hambatan lekat (*total friction*), perbandingan geseran local dengan tahanan konus (*friction ratio*) sehingga mendapatkan kesimpulan dan saran.

2.4 Fondasi

Fondasi adalah struktur bangunan paling bawah yang berhubungan langsung dengan tanah. Semua bangunan memerlukan alas yang kuat untuk menopang beban bangunan dan gaya luar (seperti gempa dan angin). Fondasi tersebut berfungsi agar bangunan dapat berdiri kokoh dan stabil. Sebagai penopang bangunan, fondasi harus direncanakan dengan cermat. Jika fondasi gagal menopang beban bangunan di atasnya maka seluruh bangunan dapat runtuh. (Winoto, 2017).

2.4.1 Syarat Fondasi

Untuk menentukan jenis fondasi yang sesuai perlu dilihat persyaratan yang harus dipenuhi antara lain (Bowles, 1987):

- a. Material yang digunakan sebagai fondasi harus tahan lama dan tidak mudah hancur.
- b. Fondasi harus kuat menahan muatan geser akibat muatan tegak ke bawah..
- c. Fondasi harus menyesuaikan pergerakan tanah yang tidak stabil.

- d. Fondasi harus diletakan pada lapisan tanah yang keras dan padat.
- e. Fondasi harus diletakan menerus dibawah seluruh dinding bangunan dan dibawah kolom yang berdiri bebas.
- f. Fondasi harus diletakan pada lapisan tanah yang keras dan padat. Fondasi yang tidak diletakan pada lapisan tanah yang keras dapat mengakibatkan penurunan fondasi.
- g. Fondasi tidak boleh diletakkan sebagian pada tanah yang keras dan sebagian lagi pada tanah yang lembek karena bisa mengakibatkan fondasi retak atau patah.

2.5 Klasifikasi Fondasi

Klasifikasi fondasi berdasarkan kedalamannya dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu: fondasi dangkal, fondasi sedang, dan fondasi dalam. Berikut tiga jenis fondasi tersebut (Bowles, 1987):

2.5.1 Fondasi Dangkal

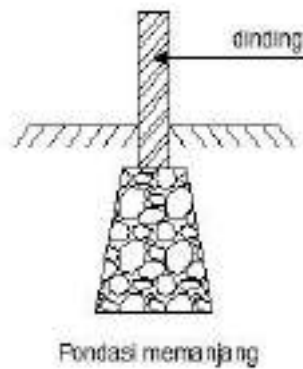
Jika digunakan pada kedalaman tanah keras fondasi dangkal tidak terlalu jauh dengan permukaan tanah. Fondasi dangkal umumnya digunakan untuk menahan beban bangunan yang tidak besar seperti rumah sederhana. Karena fondasi jenis ini meneruskan beban ke lapisan tanah, maka alasnya adalah tempat fondasi dangkal ini memperoleh kekuatannya. Fondasi dangkal adalah fondasi yang kedalamannya kurang dari atau sama dengan lebar pondasi. ($D \leq B$) (Terzaghi, 1940). Terdapat 5 macam pengklasifikasian fondasi dangkal, yaitu :

a. Fondasi Setempat (*single footing*)

Fondasi setempat memiliki fungsi untuk menahan beban bangunan yang dipusatkan pada bagian tertentu bangunan seperti kolom. Dalam konstruksi bangunan kayu, fondasi ini biasanya digunakan pada bagian bawah struktur kolom yang terdapat di daerah rawa.

b. Fondasi Memanjang dan Menerus (*continous footing*)

Fondasi menerus disebut juga dengan fondasi lajur. Fondasi menerus biasa digunakan pada bangunan sederhana (tidak bertingkat) dengan daya dukung tanah yang baik. Konstruksi pada fondasi menerus ini mendistribusikan beban bangunan secara rata ke lapisan tanah pada dinding. Fondasi menerus ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Fondasi Memanjang atau Menerus (Hardiyatmo, 2018)

c. Fondasi Telapak

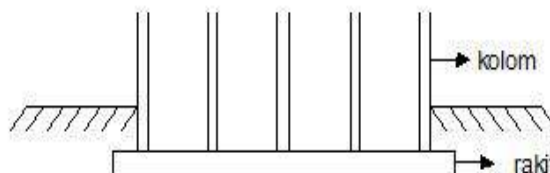
Untuk kolom struktural dan beban titik lainnya dengan daya dukung yang bervariasi, digunakan fondasi ini. Fondasi telapak dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Fondasi Telapak (Hardiyatmo, 2018)

d. Fondasi Rakit

Untuk tanah lunak, digunakan fondasi rakit dengan jarak kolom ke segala arah. Sisi-sisi telapak bertemu di tengah saat digunakan. Fondasi rakit dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Fondasi Rakit (Hardiyatmo, 2018)

e. Fondasi Sarang Laba-Laba

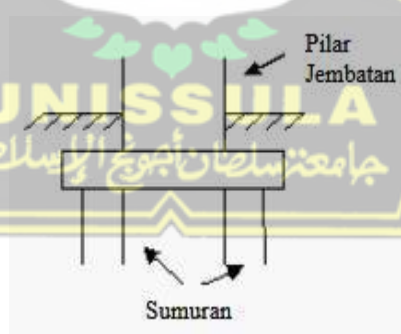
Fondasi Sarang Laba-Laba digunakan untuk tanah lunak dan tanah dengan sifat kembang susut yang tinggi. Konstruksi fondasi sarang laba-laba adalah fondasi plat beton tipis dan tinggi (disebut dengan rib) yang dibentuk sedemikian rupa sehingga menyerupai sarang laba-laba.

2.5.2 Fondasi Sedang

Fondasi sedang dapat digunakan baik dikedalaman tanah yang dangkal maupun dalam, mendistribusikan berat struktur bangunan di atas tanah keras atau penopang. Jika fondasi tiang pancang tidak digunakan, yang ini digunakan sebagai gantinya karena getaran yang disebabkan oleh tumbukan palu selama pemancangan mengurangi stabilitas struktur didekatnya. Kedalaman fondasi sedang lebih besar atau sama dengan lebar fondasi ($D \geq B$) (Bowles, 1987).

a. Fondasi Sumuran

Fondasi sumuran dikategorikan dalam fondasi sedang karena fondasi ini adalah peralihan dari fondasi dangkal ke fondasi dalam. Disebut dengan fondasi sumuran karena pelaksanaan pekerjaan fondasi ini mirip pelaksanaan pekerjaan membuat sumur. Bahan pengisi fondasi sumuran adalah batu belah (batu kali) dan beton. Df menunjukkan nilai kedalaman fondasi dengan $(D_f/B) \geq 4$ (Bowles, 1987). Fondasi sumuran dapat dilihat pada Gambar 2.4.



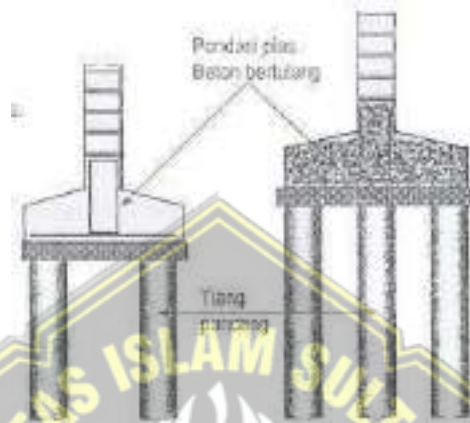
Gambar 2.4 Fondasi Sumuran (Hardiyatmo, 2018)

2.5.3 Fondasi Dalam

Pada saat posisi tanah keras agak dalam, mulai dari permukaan tanah, dibangun fondasi dalam (Hardiyatmo, 2022). Secara umum kedalaman fondasi ($D > B$). Dengan menggunakan fondasi ini, beban struktur diteruskan ke lapisan yang lebih dalam hingga mencapai jenis tanah yang dapat menahan beban fondasi.

a. Fondasi Tiang (*pile foundation*)

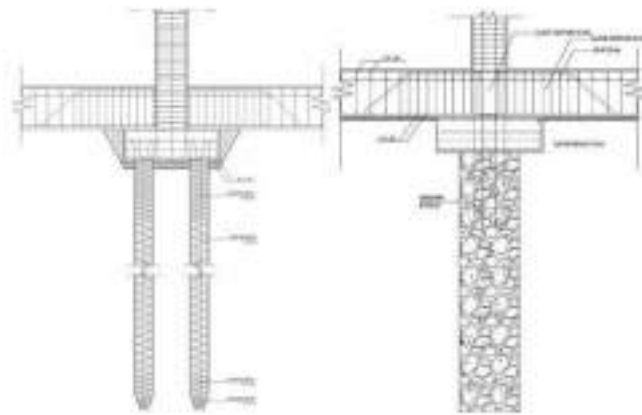
Baik beban vertikal maupun horizontal disalurkan ke tanah melalui fondasi ini. Dibandingkan dengan fondasi sumuran, fondasi tiang biasanya memiliki diameter yang lebih kecil dan lebih panjang (Bowles, 1991). Fondasi tiang pancang adalah jenis struktur yang dapat menopang tanah 10 meter di bawah permukaan bumi (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1990).



Gambar 2. 5 Fondasi Tiang (*Pile Foundation*) (Sosrodarsono, 1990)

b. Fondasi *Bored Pile*

Fondasi *bored pile* ialah jenis fondasi dalam yang umum dipergunakan di bangunan vertikal dengan lapisan lantai yang jumlahnya cukup banyak. *Bored pile* ialah sebuah fondasi yang berbentuk layaknya tabung panjang dan ditancapkan ke dalam tanah. Untuk pemasangan fondasi tiang pancang ini melibatkan pengeboran tanah hingga kedalaman tertentu. Pelaksanaan fondasi *bored pile* yang dipilih disesuaikan dengan jenis tanah, kondisi medan serta metode konstruksi yang dipilih. Tujuan dari penggunaan fondasi *bored pile* tentunya supaya bangunan bisa berdiri dengan kokoh setelah proses pembangunan selesai. Fondasi *bored pile* memiliki kualitas ketahanan yang baik, terutama untuk pemakaian dalam jangka waktu lama. Fungsi fondasi *bored pile* ialah untuk dasar tapak suatu bangunan. Berbaning jenis lainnya, fondasi *bored pile* bisa untuk menopang beban yang lebih berat dengan karakteristik yang dimiliki.



Gambar 2. 6 Fondasi *Bored Pile* (Ningrum, 2022)

2. 6 Kapasitas Daya Dukung Fondasi

Kapasitas daya dukung suatu fondasi adalah kemampuan tanah sebagai menopangnya berupa beban maksimum dari bangunan di atasnya. Daya dukung alas kuat terhadap gaya lateral dan melindungi terhadap geser yang akan segera terjadi. Jumlah dari tahanan gesek sisi permukaan dan ujung tiang adalah kapasitas maksimum tiang yang dipancang ke dalam tanah kohesif (Yusti & Fahrani, 2014). Fondasi juga harus diletakkan pada tanah keras agar daya dukungnya lebih stabil. Daya dukung fondasi berasal dari *friction end bearing* nya. Berikut ini adalah metode-metode untuk menghitung kapasitas fondasi.

2.6.1 Daya Dukung Ultimit Fondasi

Rumus perhitungan daya dukung ultimit fondasi adalah (Ningrum, 2022) :

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

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

Dimana :

- Q_u = Daya Dukung Ultimit (ton)
- Q_p = Daya Dukung Ujung Tiang (ton)
- Q_s = Daya Dukung Tahanan Kulit (ton)
- Q_{all} = Daya Dukung Tanah Yang Diizinkan
- SF = Angka keamanan 3 dan 5 (Wesley untuk indonesia)

Tabel 2.5 Faktor Keamanan

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

(Sumber : Hardiyatmo, 1996)

2.6.2 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang dan Bored Pile Hasil Sondir

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

Kapasitas daya dukung ultimit fondasi tiang pancang dan *bored pile* ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_u = Q_b + Q_s = q_b A_b + f \cdot A_s \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

Q_u = Kapasitas daya dukung aksial tiang fondasi (ton).

Q_b = Kapasitas tahanan di ujung fondasi (ton).

Q_s = Kapasitas tahanan kulit (ton).

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

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

F = Satuan tahanan kulit persatuan luas (kg/cm^2).

A_s = Luas kulit tiang fondasi (cm^2).

Untuk menghitung kuat dukung fondasi berdasarkan data hasil pengujian sondir dapat dilakukan dengan menggunakan :

a. Metode Aoki dan De Alencar (1975)

Daya dukung fondasi menurut Aoki dan De Alencar dinyatakan dengan rumus berikut :

$$Q_u = (q_b \times A_b) \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

Q_u = Kapasitas daya dukung fondasi (kN)

q_b = Tahanan ujung sondir (kN/m^2).

A_b = Luas penampang tiang (m^2).

Aoki dan Alencar mengusulkan buat memperkirakan kapasitas dukung ultimit dari data sondir. Kapasitas dukung ujung persatuan luas (q_b) diperoleh sebagai berikut :

$$q_b = \frac{q_{ca}(\text{base})}{F_b} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

$q_{ca}(\text{base})$ = Perlawanan konus rata-rata 1,5D diatas ujung tiang, 1,5D dibawah ujung tiang dan F_b adalah factor empiric tahanan tiang tergantung pada tipe tiang (kg/cm^2).

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

Tahanan kulit persatuan luas (F) diprediksi sebagai berikut :

$$F = q_c(\text{side}) \frac{a_s}{F_s} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

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

F_s = Faktor empiric tahanan kulit yang tergantung pada tipe tiang (kg/cm^2).

a_s = Nilai factor empiric tanah.

Tabel 2.6 Faktor Empiric F_b dan F_s

Tiang Pancang	F_b	F_s
Tiang Bor	3,5	7
Baja	1,75	3,5
Beton Pratekan	1,75	3,5

(Sumber : Titi dan Farsakh, 1999)

Tabel 2.7 Nilai Faktor Empiric Tanah

Tipe Tanah	α_s	Tipe Tanah	α_s	Tipe Tanah	α_s
Pasir	1,4	Pasir berlanau	2,2	Lempung berpasir	2,4
Pasir kelanauan	2,0	Pasir berlanau dengan lempung	2,8	Lempung berpasir dengan lanau	2,8
Pasir kelanauan dengan lempung	2,4	Lanau	3,0	Lempung berlanau dengan dengan pasir	3,0
Pasir berlempung dengan lanau	2,8	Lanau berlempung dengan pasir	3,0	Lempung berlanau	4,0
Pasir berlempung	3,0	Lanau berlempung	3,4	Lempung	6,0

(Sumber : Titi dan Farsakh, 1999)

Nilai faktor empiric (α_s) untuk tipe tanah pada umumnya nilai α_s untuk pasir = 1,4 %, nilai α_s untuk lanau = 3,0 % dan nilai α_s untuk lempung = 1,4 % (Titi & Farsakh, 1999).

b. Metode Langsung

Metode langsung ini dikemukakan oleh beberapa ahli diantaranya : Mayerhoff, Tomlinson, Begemann. Daya dukung fondasi menurut Mayerhoff (1976) dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

$$Q_a = (q_c \times A_p / 3) + (JPH \times K_t / 5) \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

- Q_a = Daya dukung ujung tiang (kg/tiang).
- q_c = Tahanan ujung sondir (kg/cm^2).
- A_p = Luas selimut tiang (cm^2).
- JHP = Tahanan friksi dari selimut tiang rata-rata (kg/cm^2).
- K_t = Keliling tiang (cm).

Daya dukung ijin fondasi tiang dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

$$Q_{uIjin} = \frac{q_c \times A_p}{3} + \frac{JHL \times K_t}{5} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

- Q_{uIjin} = Kapasitas daya dukung ijin tiang (kg/tiang).
- q_c = Tahanan ujung sondir (kg/cm^2).
- A_p = Luas penampang tiang (cm^2).
- JHL = Jumlah hambatan lekat (kg/cm^2).
- K_t = Keliling tiang (cm).
- 3 = Faktor keamanan untuk daya dukung tiang.

5 = Faktor keamanan untuk gesekan pada selimut tiang

2.6.3 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang dan Bored Pile Tunggal

Daya dukung tunggal adalah daya dukung yang dipergunakan untuk menghitung kapasitas daya dukung tunggal dari fondasi tiang pancang dan *bored pile* dengan menggunakan metode Mayerhoff (1976). Perhitungan daya dukung pada tiang fondasi menurut Mayerhoff menggunakan Persamaan berikut:

$$P_{ult} = q_{cr} \cdot A_p + \sum f_s \cdot A_s \dots\dots\dots (2.9)$$

$$P_{all} = \frac{P_{ult}}{FK} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

- P_{ult} = Beban maksimum yang bekerja pada tiang.
- P_{all} = Kapasitas beban yang diijinkan.
- A_p = Luas penampang tiang (cm^2).
- A_s = Kapasitas beban yang diijinkan.
- q_{cr} = q_c rata-rata, sepanjang 4D Sebagian atas rencana ujung tiang, dan 1D dibawah ujung (ton).
- $\sum f_s$ = Jumlah hambatan ujung (ton).
- FK = Faktor keamanan nilainya 2,5-3, diambil 2,5.

2.6.4 Daya Duukung Tiang Pancang dan Bored Pile Kelompok

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

a. Jumlah Tiang

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

$$n = \frac{p}{Q_{ijin}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

- n = Jumlah tiang.
- p = Beban yang bekerja (ton).
- Q_{ijin} = Kapasitas daya dukung ijin tiang tunggal (ton)

b. Jarak Antar Tiang

Berikut adalah rumus untuk menghitung jarak antar tiang pada fondasi:

$$S \leq 2,5D \dots\dots\dots (2.12)$$

$$S \geq 3D \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

S = Pusat jarak antar tiang (m)

D = Diameter tiang jarak antar tiang pancang *spun pile* umumnya minimum 0,6 meter dan maksimum 2 meter.

c. Efisiensi Kelompok Tiang

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

$$\theta = \text{Arc tg} \cdot \frac{D}{S} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

s = Jarak as tiang (m)

d = Diameter tiang (m)

$$\eta = 1 - \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n} \right] \cdot \theta \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

η = Efisiensi kelompok (%)

m = Jumlah arah vertical.

n = Jumlah arah horizontal.

$$Q_g = n \times q_{ijin} \times \eta \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

Q_g = Daya dukung aksial (ton).

n = Jumlah kolom arah horizontal.

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

η = Efisiensi kelompok (%)

$$P_g = \eta \cdot n_t \cdot P_{all} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

P_g = Kapasitas ijin tiang kelompok.

η = Efisiensi kelompok tiang (%).

n_t = Jumlah tiang dalam kelompok

P_{all} = Kapasitas ijin tiang kelompok (ton).

d. Penulangan Tiang

$$A_{tiang} = F_b + n \cdot F_e \dots\dots\dots (2.18)$$

$$P_{tiang} = \sigma_b \cdot A_{tiang} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana :

A_{tiang} = Luas tiang tunggal (m^2).

F_b = Luas tiang (m^2).

n = Jumlah tiang dalam 1 *pile cape* (m^2).

F_e = Luas tulangan dalam 1 tiang (m^2).

2.6.5 Distribusi Beban Pada Tiang

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

$$P_{max} = \frac{\sum V_u}{n} \pm \frac{M_y \cdot X_{max}}{n_y \cdot \sum X^2} \pm \frac{M_x \cdot Y_{max}}{n_x \cdot \sum Y^2} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

P_{max} = Beban maksimum yang diterima tiap tiang

$\sum V_u$ = Total beban aksial

n_y = Jumlah tiang dalam satu sumbu Y

n_x = Jumlah tiang dalam satu sumbu X

n = Jumlah tiang

M_x = Momen yang bekerja tegak lurus sumbu X

M_y = Momen yang bekerja tegak lurus sumbu Y

X_{max} = Absis maksimum tiang ke pusat tiang kelompok

Y_{max} = Koordinat maksimum tiang ke pusat tiang kelompok

$\sum X^2$ = Jumlah kuadrat absis tiang

$\sum Y^2$ = Jumlah kuadrat absis tiang

2.7 Perhitungan Daya Dukung Lateral

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

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

$$I = \frac{1}{64} \times \pi \times D^4 \dots\dots\dots (2.22)$$

Cara menentukan R dan I, sebagai berikut :

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

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

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

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

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

Dimana :

- E_p = Modulus Elastisitas Tiang (kN/m^2)
- I = Momen Inersia (m^4)
- ηh = Koefisien Modulus Variasi (kN/m^3)
- Kh = Modulus Reaksi *Subgrade* (kN/m^3)
- D = Diameter (m)

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

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

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

$$H_u = \frac{2 M_y}{e + \frac{2f}{3}} \dots\dots\dots (2.27)$$

$$f = 0,82 \sqrt{\frac{H_u}{d \times k_p \times \gamma}} \dots\dots\dots (2.28)$$

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

Dimana :

- H_u = Daya Dukung Lateral Tiang (kN)
 M_y = Momen Max Yang Dapat Ditahan Tiang (kN.m)
 γ = Berat Volume Tanah (kN/m^3)
 d = Diameter (m)
 e = Jarak Titik Beban Horizontal ke Permukaan Tanah (m)
 K_p = Koefisien Tekanan Tanah Pasif
 f = Jarak Kedalaman Titik Dimana Gaya Geser = 0 (m)

b. Defleksi Tiang

$$a = \left[\frac{\eta h}{E_p \times l_p} \right]^{\frac{1}{5}} \dots \dots \dots (2.30)$$

Dimana :

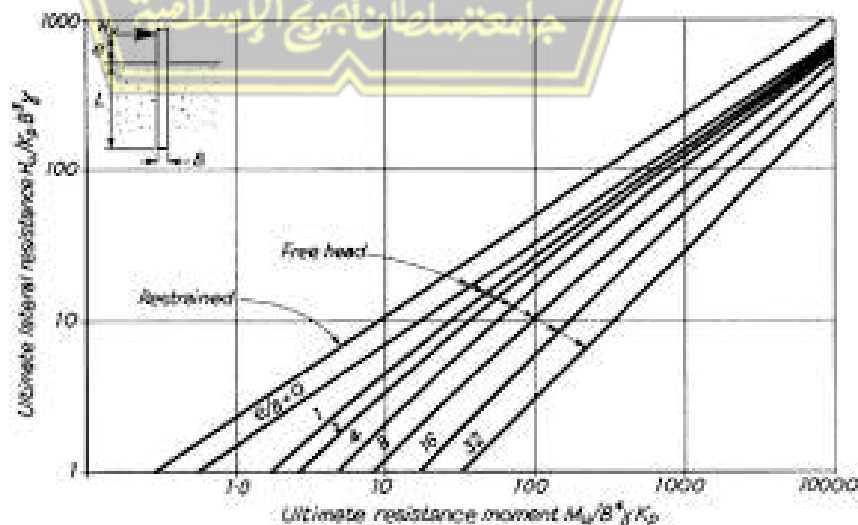
- E_p = Modulus Elastisitas Tiang (kN/m^2)
 I_p = Momen Inersia (m^4)
 ηh = Koefisien Modulus Variasi (kN/m^3)

• Tiang pendek jika $\alpha L < 2$, $y_o = \frac{2H}{L^2 \times \eta h} \dots \dots \dots (2.31)$

• Tiang pendek jika $\alpha L < 4$, $y_o = \frac{0,93H}{(\eta h)^{0,6} \times (E_p l_p)^{0,4}} \dots \dots \dots (2.32)$

Dimana :

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



Gambar 2.7 Grafik Daya Dukung Lateral Ultimit (Broms, 1964)

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

$$M_{maks} = H_u (0,5L + 0,75D) \dots\dots\dots (2.33)$$

Dimana:

H_u = Beban lateral (kN)

D = Diameter tiang (m)

c_u = Kohesi tanah (kN/m^2)

L = Panjang tiang (m)

g = Jarak momen maksimum dasar tiang (m)

Nilai-nilai H_u dapat diplot dalam grafik hubungan L/D dan $H_u/c_u D^2$ ditunjukkan pada Gambar 2.8a.

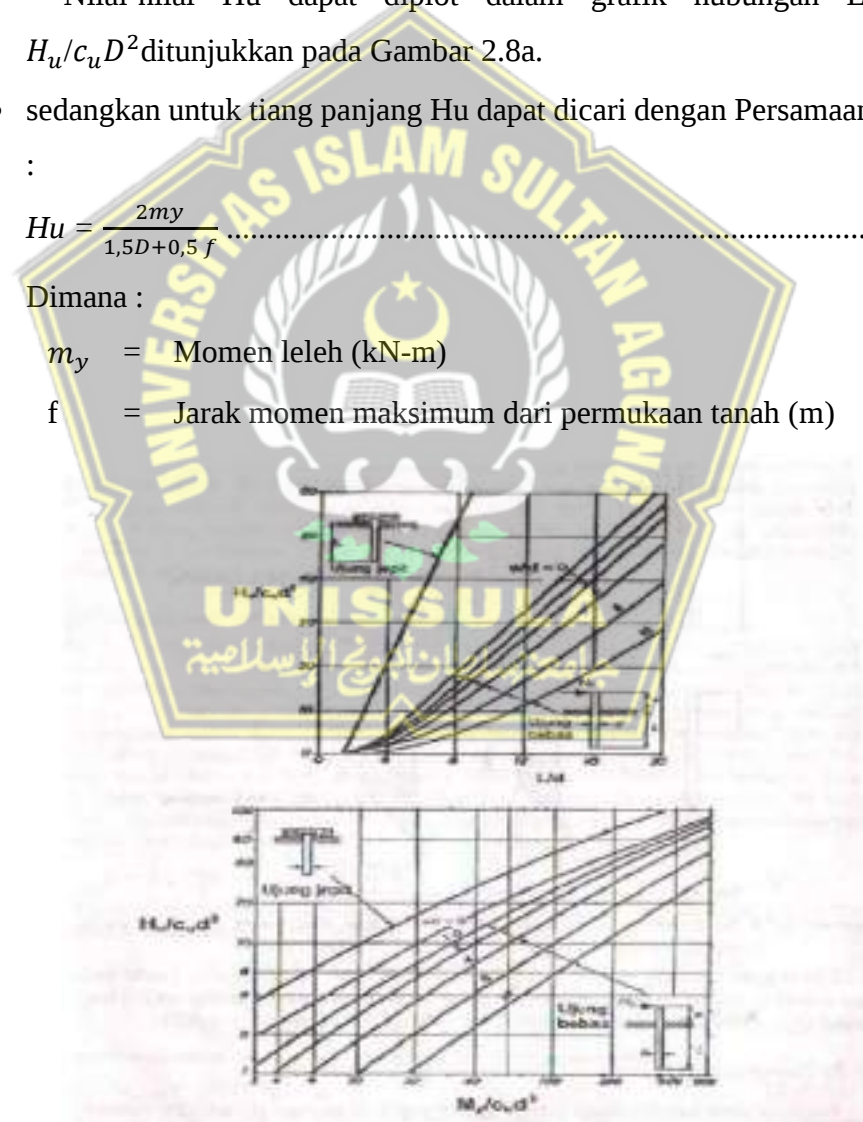
- sedangkan untuk tiang panjang H_u dapat dicari dengan Persamaan berikut :

$$H_u = \frac{2m_y}{1,5D + 0,5f} \dots\dots\dots (2.34)$$

Dimana :

m_y = Momen leleh (kN-m)

f = Jarak momen maksimum dari permukaan tanah (m)



Gambar 2. 8 Grafik Tahanan Lateral Ultimit Tiang Pada Tanah Kohesif (a) Tiang Pendek, (b) Tiang Panjang (Broms,1964).

- Perhitungan lateral izin, sebagai berikut :

Tahanan momen ultimit (grafik) :

$$\frac{H_u}{D^4 \times \gamma \times k_p} \dots\dots\dots (2.35)$$

Tabel 2.8 Nilai-nilai q_h untuk tanah granular ($c = 0$)

Kerapatan relatif (D_r)	Tidak padat	Sedang	Padat
Interval nilai A	100 – 300	300 – 1000	1000 – 2000
Nilai A dipakai	200	600	1500
q_h , pasir kering atau lembab (Terzaghi) (kN/m^2)	2425	7275	19400
q_h , pasir terendam air (kN/m^2)			
Terzaghi	1386	4850	11779
Reese dkk	5300	16300	34000

Tabel 2.9 Nilai-nilai q_h untuk tanah kohesif (Hardiyatmo, 2011)

Tanah	q_h (kN/m^2)	Referensi
Lempung terkonsolidasi normal lunak	166-3518	Reese dan Matlock (1956)
	277-554	Davisson – Prakash
Lempung terkonsolidasi normal organik	111-277	Peck dan Davidson
	111-831	Davidson (1970)
Gambut	55	Davidson (1970)
	27,7-111	Wilson dan Hilts (1967)
Loss	8033-11080	Bowles (1968)

2.8 Penurunan Fondasi

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

$$S_t = S_1 + S_2 + S_3 \dots\dots\dots (2.36)$$

Dimana :

- S_t = Total penurunan (mm)
 S_1 = Akibat batang (mm)
 S_2 = Akibat beban di ujung (mm)
 S_3 = Akibat beban yang tersalurkan sepanjang selimut (mm)

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

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \varepsilon \times Q_{ws}) \times L}{E_b \times E_p} \dots\dots\dots (2.37)$$

$$S_2 = \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p} \dots\dots\dots (2.38)$$

$$S_3 = \frac{Q_{wp}}{P \cdot L} \times \frac{D}{E_s} \times (1 - \mu S^2) \times l_{ws} \dots\dots\dots (2.39)$$

$$L_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} \dots\dots\dots (2.40)$$

Dimana :

- Q_{wp} = Beban yang diterima ujung tiang (kN)
 Q_{ws} = Beban yang diterima ujung tiang (kN)
 L = Panjang tiang (m)
 A_b = Luas penampang tiang (m^2)
 E_p = Modulus elastisitas tiang (MPa)
 ξ = 0,5 (distribusi tahanan sepanjang tiang)
 q_p = Tahanan ujung batas tiang (kN)
 C_p = Koefisien empiris, dapat dilihat pada tabel 2.10

Tabel 2.10 Koefisien Empiris

Jenis Tanah	Tiang pancang	Tiang Bor
Sand (padat – lepas)	0,02 – 0,04	0,09 – 0,18
Clay (kaku - lunak)	0,02 – 0,03	0,03 – 0,06
Silty (padat – lepas)	0,03 – 0,05	0,09 – 0,12

(Sumber : Vesic, 1977)

Berikut Persamaan penurunan tiang kelompok :

$$S_g = S_t \sqrt{\frac{b'}{B}} \dots\dots\dots (2.41)$$

Dimana :

S_g = Penurunan kelompok tiang (mm)

S_t = Total penurunan (mm)

b' = Lebar kelompok tiang (mm)

B = Diameter Fondasi (mm)

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

$$S_{ijin} = 10\% \times D \dots\dots\dots (2.42)$$

Dimana D adalah diameter fondasi, dan hasil penurunan tidak boleh melebihi dari S_{ijin} tersebut.

2.9 Waktu Penurunan

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

$$T = \frac{T_v \times H^2}{C_v} \dots\dots\dots (2.43)$$

Dimana :

T = Waktu penurunan

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

H^2 = Seluruh panjang lintasan fondasi (m)

C_v = Derajat konsolidasi ($0.0045m^2 / dtk$)

Tabel 2.11 Derajat Konsolidasi

$U_{av}(\%)$	T_v
0	0
10	0,008
20	0,031
30	0,071
40	0,126
50	0,197

60	0,403
70	0,197
80	0,567
90	0,0848
100	∞

(Sumber : Gulhati, Shaskhi K., 2005)

2. 10 Perhitungan Penulangan

a. Penulangan *Pile Cap*

- Menghitung rasio tulangan

$$\frac{Mu}{b \cdot d^2} = p \cdot 0,8 \cdot f_y \cdot (1 - 0,588 \frac{f_y}{f_{c'}}) \dots\dots\dots (2.44)$$

$$pb = \frac{0,8 \cdot f_{c'}}{f_y} \leq 1 - \frac{600}{600 + f_y}, \beta = 0,85 \dots\dots\dots (2.45)$$

$$p_{max} = 0,7 \cdot pb \dots\dots\dots (2.46)$$

$$p_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots (2.47)$$

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

- Menghitung luas tulangan

$$A_s = p \cdot b \cdot d_{rencana} \dots\dots\dots (2.48)$$

Menghitung diameter jarak dan tulangan

$$A_{stul} = \frac{1}{4} \cdot \Pi \cdot D^2 \dots\dots\dots (2.49)$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan A_s/A_{stul}

$$S = \text{lebar n} / \text{tulangan} \dots\dots\dots (2.50)$$

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

$$D_{pakai} = h - \text{selimut beton} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan} \dots\dots\dots (2.51)$$

Kontrol terhadap pons 1 arah

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_{c'}} \times b_w \times d, \text{ dengan } V_n \leq V_c \dots\dots\dots (2.52)$$

$$\text{Maka, } \frac{V_u}{\Phi} \leq \frac{1}{6} \sqrt{f_{c'}} \times b_w \times d \dots\dots\dots (2.53)$$

Dimana :

$$B_w = \text{Lebar fondasi (m)}$$

$$d = h - d' \text{ (tinggi pelat - selimut beton) (m)}$$

$$\Phi = 0,6$$

- Pons geser 2 arah

$$V_c = (1 + \frac{2}{\beta_0}) 2 \times \sqrt{f_c} \times b_o \times d \dots\dots\dots (2.54)$$

Dimana :

$$B_o = 2(b_o + h_o) \text{ (m)}$$

$$\beta_0 = h/b, \text{ (sisi panjang / sisi pendek kolom) (m)}$$

$$d = h/b, \text{ (sisi panjang / sisi pendek kolom) (m)}$$

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

- Menghitung eksentrisitas penulangan

$$e = \frac{M_u}{P_u} \dots\dots\dots (2.55)$$

- Menghitung gaya aksial nominal

$$P_n \text{ perlu} = \frac{P_u}{\phi} \dots\dots\dots (2.56)$$

- Menghitung tulangan yang akan dibutuhkan

$$A_g = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \dots\dots\dots (2.57)$$

$$A_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot p \cdot D^2 \dots\dots\dots (2.58)$$

$$A_{s \text{ tul}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{st}^2 \times \dots\dots\dots (2.59)$$

$$n = \frac{A_s}{A_{s \text{ tul}}} \dots\dots\dots (2.60)$$

$$A_{st} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{st}^2 \times n \dots\dots\dots (2.61)$$

Dimana :

$$A_g = \text{Luas penampang beton (mm}^2\text{)}$$

$$A_{st} = \text{Luas tulangan (mm}^2\text{)}$$

$$D = \text{Diameter fondasi (mm)}$$

$$D_{st} = \text{Diameter tulangan (mm)}$$

$$n = \text{Jumlah tulangan}$$

$$p = 0,0117$$

- Perhitungan kekuatan beban aksial max

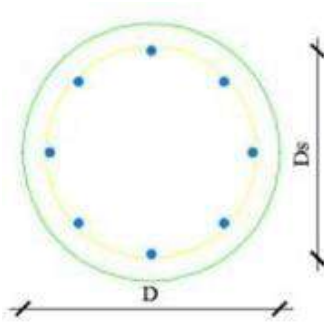
$$\phi P = 0,8 \cdot \phi (0,8 \times f_c' \times (A_g - A_{st})) + (f_y \times A_{st}) \dots\dots\dots (2.62)$$

$$P_{n_{Max}} = \frac{P}{0,8} > P_u \dots\dots\dots (2.63)$$

- Perhitungan kekutan penampang

$$H_{ekiv} = 0,8 h \dots\dots\dots (2.64)$$

h adalah fondasi



Gambar 2. 9 Penampang Lingkaran

$$L_{ekiv} = \frac{1/4 \times \pi \times D^2}{H_{ekiv}} \dots\dots\dots (2.65)$$

- Luas penampang total As'

$$As' = As = 1/2 \times Ast \dots\dots\dots (2.66)$$

$$d'_{kolom\ bundar} = \text{Selimut beton} + 0,5D \text{ tulangan utama} + \text{Sengkang} \dots\dots\dots (2.67)$$

$$Ds = D - 2d'_{kolom\ bundar} \dots\dots\dots (2.68)$$

$$D_{seq} = 2/3 \times Ds \dots\dots\dots (2.69)$$

$$d'_{ekuiv} = h_{ekiv} - D_{seq}/2 \dots\dots\dots (2.70)$$

- Cek tegangan tekan

$$d'_{ekuiv} = h_{ekiv} + \frac{h_{ekiv} - D_{seq}}{2} \dots\dots\dots (2.71)$$

$$Cb = \frac{600}{600 + f_y} \times d_{ekiv} \dots\dots\dots (2.72)$$

$$Ab = 0,85 \times Cb \dots\dots\dots (2.73)$$

$$Fs = \frac{0,003 \times Es \times (d_{ekiv} - cb)}{d_{ekiv}} \dots\dots\dots (2.74)$$

Batasnya adalah f_y rencana.

- Perhitungan *axial balance*

$$P_n = (0,85 \cdot f_c' \cdot Ab \cdot b) + (As' \cdot f_s') - (As \cdot f_y) \dots\dots\dots (2.75)$$

Syarat $\Phi P_n \geq P$

- Perhitungan tulangan sengkang (Handri. Dkk, 2019)

Menghitung $H_{ekuivalen}$, sesuai dengan Persamaan

- Menghitung B_{min} , $B_{min} = Ag / h_{ekiv} \dots\dots\dots (2.76)$

- Menghitung luas penampang (Ag) $\dots\dots\dots (2.77)$

- Menghitung luas penampang Sengkang

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times \text{jumlah Senggang} \dots\dots\dots (2.78)$$

- Menghitung $Vn_{perlu} = V_u / 0,8 \dots\dots\dots (2.79)$

- Menghitung $V_c = \frac{1}{6} \times (1 + \frac{Nu}{14 \times A_g} \times 0,85 \times f_c^{0,5} \times b_w \times d) \dots\dots\dots (2.80)$

- Menghitung $V_s = Vn_{perlu} - V_c \dots\dots\dots (2.81)$

- Menghitung $\phi V_c = V_c / 0.75 \dots\dots\dots (2.82)$

2. 11 Pemodelan Menggunakan Software

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

a. SAP2000 V.14

Analisa pembebanan pada Proyek Jembatan Pelangi diperhitungkan dengan menggunakan aplikasi SAP2000 V.14. *Software* SAP2000 V.14 merupakan program aplikasi yang akan digunakan untuk menghitung pembebanan pada struktur atas bangunan dalam perencanaan fondasi yang akan direncanakan.

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

b. PLAXIS V.8.6

Plaxis merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis kestabilan tanah dengan mengaplikasikan elemen sehingga kita dapat memperkirakan kejadian yang nyata. Dimana pada program ini menyediakan berbagai analisa yang dapat digunakan. Namun sayangnya program ini jarang dikenal oleh anak teknik sipil karena program ini digunakan untuk masalah geoteknik saja, tetapi dalam pekerjaan sipil juga tidak dapat terlepas pada masalah geoteknik, bisa berupa tanah ataupun batuan.

Perhitungan penurunan yang terjadi pada perencanaan fondasi akan dihitung secara manual dan dihitung menggunakan *software* PLAXIS V 8.6. Dimana *software* ini merupakan program aplikasi analisa geoteknik yang dapat

menganalisis kestabilan tanah. Program ini dapat menganalisa penurunan tanah, galian, tanggul, dan timbunan tanah. Pada perencanaan kali ini plaxis v 8.6 digunakan untuk menghitung penurunan yang terjadi pada perencanaan fondasi, dan dijadikan pembandingan dengan perhitungan manual.



BAB III

METODOLOGI

3.1 Pendahuluan

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah untuk mengetahui beban bangunan, daya dukung dan penurunan fondasi dengan menggunakan fondasi tiang pancang *spun pile* dan *bored pile* pada proyek Jembatan Pelangi Sungai Bringin. Penyusunan tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisis beban bangunan jembatan dengan menggunakan aplikasi SAP 2000v.14. Hasil dari pemodelan di *software* SAP 2000v.14 akan mendapatkan beban terbesar pada bangunan serta reaksi-reaksi pada fondasi akibat beban di atasnya. Untuk menghitung nilai daya dukung, nilai penurunan, dan waktu penurunan fondasi menggunakan perhitungan manual dan *software* PLAXIS V 8.6.

3.2 Lokasi Proyek

Proyek Jembatan Pelangi berlokasi di Ruas Jalan Wonosari tepatnya di Desa Wonosari, Kecamatan Ngaliyan, Kota Semarang yang dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Denah Lokasi Proyek Jembatan Pelangi (Overview Pekerjaan Bringin)

3.3 Data Umum

Data-data umum pada proyek Jembatan Pelangi dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Data-Data Umum Proyek

No.	Jenis Data	Keterangan
1.	Nama Proyek	Pengendalian Banjir Sungai Bringin, Kota Semarang (Peninggian dan Pelebaran Jembatan Pelangi)
2.	Lokasi Proyek	Ruas Jalan Wonosari tepatnya di Desa Wonosari, Kecamatan Ngaliyan, Kota Semarang
3.	Pemilik Proyek	Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana
4.	Nilai Kontrak	Rp. 11.600.854.658,64,- (Termasuk PPN 10 %)
5.	Sumber Dana	APBN, Tahun Anggaran 2020 – 2022
6.	Waktu Pelaksanaan	160 hari kalender Jembatan
7.	Konsultan Supervisi	PT. INAKKO Internasional Konsulindo KSO PT. Ciriayasa E.C
8.	Kontraktrok	PT. Adhi Karya (Persero) KSO PT. Prima Bangun Adhidaya

(Sumber : Overview Pekerjaan Beringin)

3.4 Data Teknis

Data teknis meliputi informasi tentang tanah, bahan bangunan yang digunakan, beban kerja, dan faktor lain yang berhubungan langsung dengan pengembangan struktur jembatan. Tabel 3.2 di bawah ini menunjukkan informasi teknis proyek Jembatan Pelangi.

Tabel 3.2 Data Teknis Proyek

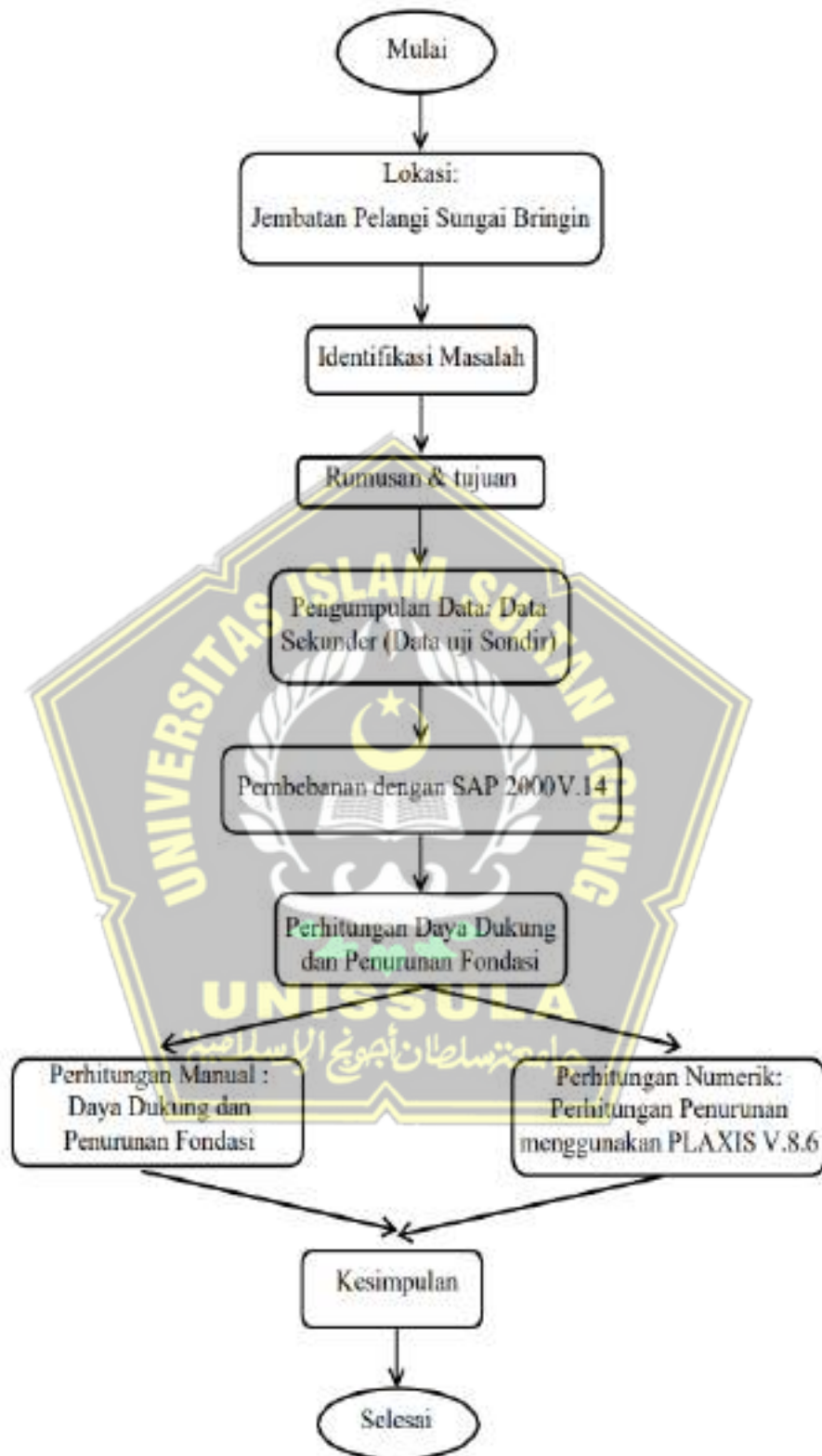
No.	Uraian	Keterangan
1.	Pondasi	- Pondasi Spun Pile - Mutu Beton K-300
2.	Panjang Jembatan	25,10 M
3.	Panjang Plat Lantai	26,6 M
4.	Lebar Jembatan	2,50 M
5.	Jenis Perkerasan	Perkerasan Fleksibel
6.	Spesifikasi Teknis	Mengacu pada spesifikasi umum Bina Marga Tahun 2018
7.	Spesifikasi Mutu	- Mutu Beton Abutment K-300 - Mutu Beton Plat Lantai K-350 - Mutu Beton Sandaran Railling K-300 - Mutu Baja Tulangan BJTS 420B - Mutu Beton Plat Injak K-300 - Jarak bersih antar tulangan yang berlapis 20 cm - Selimut Beton Dasar Pile Cap 10 cm

(Sumber : Shop Drawing MC 2, Pengendalian Banjir Sungai Bringin Kota Semarang)

3.5 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dipakai untuk mencapai maksud dan tujuan studi menggunakan refrensi jurnal mengenai analisis daya dukung dan penurunan fondasi. Selanjutnya menentukan lokasi pengambilan data dan mengumpulkan data yang diperlukan dari pihak penyedia jasa yaitu Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana. Setelah data terkumpul kami melakukan diskusi dan analisis mengenai data-data yang didapat dengan dosen pembimbing mengacu teori yang terkait. Yang terakhir mengenai analisis perhitungan sesuai data yang kita dapat. Berdasarkan satu titik uji sondir ditemukan letak kedalaman tanah keras pada kedalaman 50 m.

3.6 Bagan Alur



Gambar 3.2 Bagan Alur

3.7 Analisis Data

Dalam melakukan analisis daya dukung dan penurunan fondasi tiang pancang *spun pile* dan *bored pile* penulis melakukan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi dari data tanah SPT yang bertujuan untuk mengetahui faktor keamanan (SF).
2. Perhitungan beban pada stuktur jembatan menggunakan *software* SAP 2000v.14.
3. Perhitungan secara manual daya dukung ultimit fondasi tiang pancang *spun pile* dan *bored pile* dengan rumus pada persamaan 2.1 dan 2.2.
4. Menghitung dan menganalisis daya dukung fondasi tiang pancang *spun pile* dan *bored pile* dengan menggunakan metode Aoki de Alencar dengan rumus pada persamaan 2.4.
5. Menghitung dan menganalisis daya dukung fondasi tiang pancang *spun pile* dan *bored pile* dengan menggunakan metode Mayerhoff dengan rumus pada persamaan 2.7.
6. Menghitung banyak tiang fondasi yang dibutuhkan dengan rumus pada persamaan 2.11.
7. Menghitung dan menganalisis efisiensi daya dukung fondasi tiang pancang *spun pile* dan *bored pile* dengan metode Converse-Labarre dengan rumus pada persamaan 2.15.
8. Menghitung dan menganalisis daya dukung lateral fondasi tiang pancang *spun pile* dan *bored pile* dengan metode Broome dengan rumus pada persamaan 2.27.
9. Menghitung dan menganalisis penurunan fondasi tiang pancang *spun pile* dan *bored pile* dengan metode Vesic dengan rumus pada persamaan 2.36.
10. Menghitung dan menganalisis waktu penurunan fondasi tiang pancang *spun pile* dan *bored pile* dengan rumus pada persamaan 2.43.
11. Menganalisis menggunakan *software* plaxis versi 8.6. dengan tujuan untuk membandingkan dengan perhitungan manual.

3.8 Pemodelan Menggunakan Program Software SAP

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

- a. *Model grid only, new model*, ganti satuan menjadi kN, m, C lalu klik 3D model.
- b. Mengatur koordinat, klik kanan, lalu klik *Edit Grid* data.
- c. Lalu klik *define – materials – modify*.
- d. Klik *define – section properties – frame section* –lalu pilih bahannya karena pakai beton jadinya pilih *concrete*.
- e. Lalu pilih bentuk sesuai kebutuhan dan klik *concreate reinforcemet*.
- f. Untuk plat, klik *Define – section properties – area section – modify*.
- g. Setelah bahan dan material ditentukan, lalu seleksi batang sesuai dengan tipe materialnya, *Assign – Frame Section*, lalu pilih propertisnya.
- h. Klik *define – load pattrens* – lalu muncul dialognya, dan isi sesuai beban yang akan di input.
- i. Selanjutnya membuat kombinasi beban yang akan digunakan berdasarkan SNI 1725:2016.
- j. Untuk pembebanan *girder*, seleksi dulu kemudian dibebani, klik *Assign-frameload – distriibuted*.
- k. Untuk beban mati dan hidup tambahan pada *girder*, seleksi *girder* yang akan *dibebani*, klik *assign – area load – uniform to frame*.
- l. Masukkan beban gempa respon sesuai data yang diambil dari SNI 1725 : 2016.
- m. Setelah semua data di input, klik *Analyze – Run Analyze – ok*.

3.9 Pemodelan menggunakan Program Software Plaxis v.8.6

Program Plaxis v.8.6 mensimulasikan keadaan sebenarnya yang terjadi di lapangan. Tujuan dari ini adalah untuk mewakili kerja lapangan yang sebenarnya dengan menggunakan hasil perhitungan dari perangkat lunak Plaxis v.8.6.

Perhitungan penurunan fondasi menggunakan aplikasi Plaxis v.8.6. dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Plaxis 8.6 → *new file* → Input data
- b. Pendefisian dan input parameter diantaranya meliputi parameter tanah, *vertical drain*, timbunan, perkerasan, dan *service load*.

- c. Pembentukan *mesh* secara keseluruhan.
- d. *Instal condition*: menyatakan kondisi asli tanah perlapisan dan tinggi muka air tanah.
- e. Menonaktifkan timbunan tanah yang berada pada tanah asli.
- f. K0 Prosedur → perbarui, kemudian hitung.
- g. Aktifkan timbunan tiap 1 m .
- h. Aktifkan perkerasan.
- i. Aktifkan pembebanan.
- j. Konsolidasi selama 1 tahun..
- k. Konsolidasi selama 3 tahun.
- l. Konsolidasi selama 10 tahun.
- m. Perhitungan *safety fact*.

3.10 Metode Perhitungan

3.10.1 Perhitungan Daya Dukung Ultimit Fondasi

$$Q_u = Q_p + Q_s \text{ (Berdasarkan persamaan 2.1).}$$

$$Q_{all} = Q_u / SF \text{ (Berdasarkan persamaan 2.2).}$$

3.10.2 Perhitungan Daya Dukung Fondasi Metode Aoki dan De Alencar (1975)

$$Q_u = (q_b \times A_b) \text{ (Berdasarkan Persamaan 2.4).}$$

3.10.3 Perhitungan Daya Dukung Fondasi Metode Meyerhoff (1976)

$$Q_u = (q_c \times A_p / 3) + (JPH \times K_t / 5) \text{ (Berdasarkan Persamaan 2.7).}$$

3.10.4 Menentukan Banyak Tiang Fondasi yang Dibutuhkan

$$n = \frac{p}{q_{ijin}} \text{ (Berdasarkan Persamaan 2.11).}$$

3.10.5 Perhitungan Efisiensi Daya Dukung Fondasi Metode Converse-Labare (1960)

$$\eta = 1 - \left[\frac{(n-1) + (m-1)n}{90.m.n} \right] \cdot \theta \text{ (Berdasarkan Persamaan 2.15).}$$

3.10.6 Perhitungan Daya Dukung Lateral Metode Broms (1964)

$$H_u = \frac{2 My}{e + \frac{2f}{3}} \text{ (Berdasarkan Persamaan 2.27).}$$

3.10.7 Perhitungan Waktu Penurunan

$$T = \frac{T_v \times H^2}{C_v} \text{ (Berdasarkan Persamaan 2.43).}$$



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

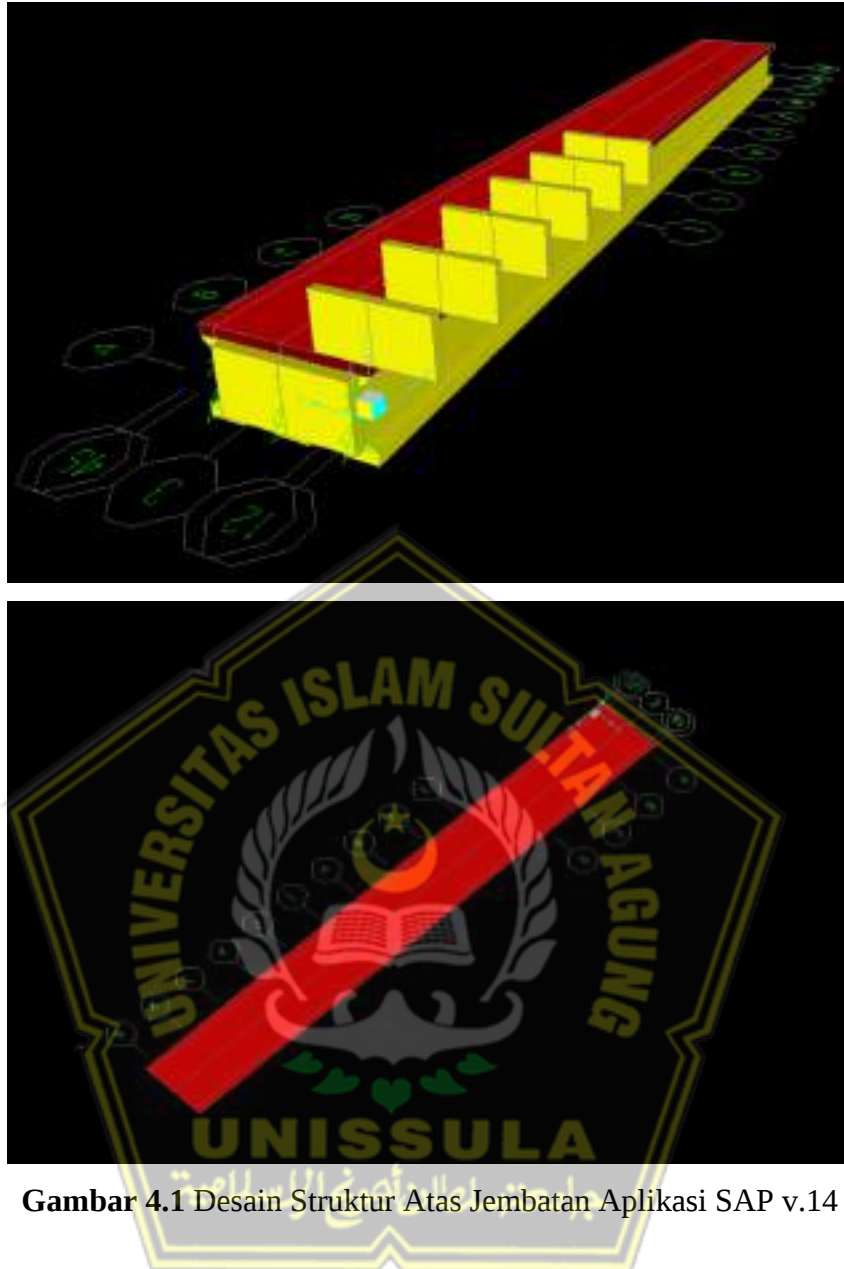
4.1 Tinjauan Umum

Bab ini berisi tentang analisis data yang didapatkan sebagai hasil pengolahan data *real estat* untuk pekerjaan konstruksi jembatan Pelangi Sungai Bringin. Sebelumnya fondasi pada perencanaan proyek tersebut menggunakan fondasi *spun pile* dengan diameter 40 cm. Sedangkan pada tugas akhir ini kami akan merencanakan ulang fondasi tiang pancang *spun pile* dan *bored pile* dengan diameter 50 cm. Data tersebut dibuat untuk dengan diameter menganalisa daya dukung dan penurunan fondasi dengan menggunakan data *survey* tanah berupa hasil uji sondir. Pada perhitungan daya dukung fondasi menggunakan metode Aoki dan De Alencar, metode Meyerhoff dan metode Converse-Labarre untuk perhitungan daya dukung kelompok, perhitungan penurunan fondasi secara manual dengan metode Vesic dan juga menggunakan *software* PLAXIS v.8.6

Untuk mengetahui beban maksimum yang di topang oleh fondasi yang direncanakan, kami akan menggunakan perhitungan beban struktur dengan *software* SAP 2000. Yang mengacu pada SNI 1725 : 2016 sebagai pedoman perencanaan pembebanan untuk jembatan.

4.2 Design Struktur Atas dengan *Software* SAP 2000 v.14

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



Gambar 4.1 Desain Struktur Atas Jembatan Aplikasi SAP v.14

4.3 Pembebanan Struktur Jembatan

Berikut adalah pembebanan yang digunakan untuk pembebanan jembatan yang mengacu pada SNI 1725 : 2016

4.3.1 *Beban Mati*

Berikut adalah beban mati yang digunakan untuk pembebanan jembatan pelangi :

a. Data plat lantai :

- Mutu beton = K-300 = 24,90 MPa
- Tebal plat lantai kendaraan (h) = 0,2 m
- Tebal aspal (t_a) = 5 cm

- Diameter tulangan rencana pokok (D_{pokok}) = 16 mm
- Diameter tulangan bagi rencana (D_{bagi}) = 13 mm
- Tebal beton selimut (p) = 5 cm
- Berat jenis bertulang (γ_c) = 25 kN/m³
- Berat jenis aspal (γ_a) = 22 kN/m³
- Panjang bentang (L_n) = 26 m
- Lebar jembatan (B_t) = 3,10 m
- Lebar jalur kendaraan (B_2) = 2,5 m

Berikut adalah beban mati sendiri yang digunakan dengan mengacu pada SNI 1725 : 2016, terlihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Beban Mati Sendiri

No.	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kg/m ³)
1.	Lapisan Permukaan beraspal (bituminous wearing surfaces)	22,0	2245
2.	Besi tuang (cast iron)	71,0	7240
3.	Timbunan tanah dipadatkan (compacted sand, silt or clay)	17,2	1755
4.	Kerikil dipadatkan (rolled gravel, macadam of ballast)	18,8-22,7	1920-2315
5.	Beton aspal (asphalt concrete)	22,0	2245
6.	Beton ringan (low density)	12,25-19,6	1250-2000
7.	Beton $f_c < 35$ Mpa	22,0-25,0	2320
	$35 < f_c < 105$ Mpa	$22 + 0,022 f_c$	$2240 + 2,29 f_c$
9.	Baja (steel)	78,5	7850
10.	Kayu (ringan)	7,8	800
11.	Kayu keras (hard wood)	11,0	1125

(Sumber : SNI 1725 : 2016)

b. Perhitungan pembebanan plat lantai jembatan

- Beban mati sendiri (MS)

Berat plat lantai kendaraan

$$\begin{aligned} Q_{MS} &= \gamma_c \times h \times B_t \\ &= 25 \times 0,2 \times 3,10 \\ &= 15,5 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

- Beban mati tambahan (MA)

Lapisan Aspal

$$\begin{aligned} Q_{MA} &= \gamma_a \times t_a \times B_2 \\ &= 22 \times 0,05 \times 2,5 \\ &= 2,75 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

4.3.2 Beban Lajur Lalu Lintas

Berikut adalah beban lajur lalu lintas yang digunakan untuk pembebanan jembatan pelangi :

Tabel 4.2 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

Tipe Jembatan (1)	Lebar Bersih Jembatan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n)
Satu Lajur	$3000 \leq w < 5250$	1
Dua Arah, tanpa Median	$5250 \leq w < 7500$	2
	$7500 \leq w < 10.000$	3
	$10.000 \leq w < 12.500$	4
	$12.500 \leq w < 15.250$	5
	$w \geq 15.250$	6
Dua Arah, dengan Median	$5500 \leq w \leq 8000$	2
	$8250 \leq w \leq 10.750$	3
	$11.000 \leq w \leq 13.500$	4
	$13.750 \leq w \leq 16.250$	5
	$w \geq 16.500$	6

(Sumber : SNI 1725 : 2016)

Berdasarkan tabel jumlah lajur lalu lintas rencana di atas Jembatan Pelangi termasuk dalam jenis tipe jembatan satu lajur, karena lebar bersih jembatan 3000 mm atau 3 meter dan menggunakan 1 lajur lalu lintas rencana.

Tabel 4.3 Faktor Beban Untuk Beban Lajur

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TD}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

(Sumber : SNI 1725 : 2016)

Berdasarkan tabel faktor beban di atas Jembatan Pelangi termasuk jembatan beton, maka faktor beban keadaan batas layan 1,0 dan faktor beban keadaan batas ultimit 1,80.

Sesuai dengan panjang total yang dibebani, beban merata (BTR) memiliki intensitas q kPa, dengan besaran q sebagai berikut :

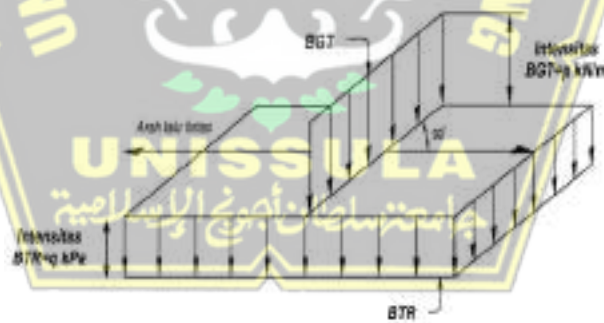
Jika $L \leq 30$ m : $q = 9,0$ kPa

Jika $L > 30$ m : $q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right)$ kPa

Keterangan :

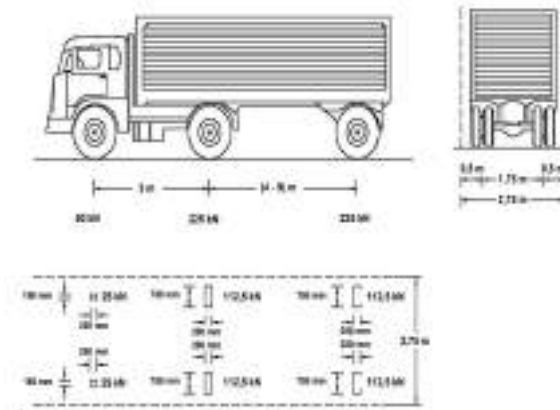
q = Intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

L = Panjang total jembatan yang dibebani (meter)



Gambar 4.2 Beban Hidup Lajur (SNI 1725 : 2016)

Berdasarkan penjelasan dan gambar diatas jembatan pelangi mempunyai intensitas beban terbagi merata sebesar 9,0 kPa, karena mempunyai panjang jembatan 26 m atau ≤ 30 m.



Gambar 4.3 Beban Hidup Truk (SNI 1725 : 2016)

Tabel 4.4 Klasifikasi Jalan

Kelas fungsional		Kelas rencana		
		Tipe I : kelas	Tipe II	kelas
Primer	Arteri	I	LHR	I
	Kolektor	II	Semua lalu lintas $\geq 10,000$ $< 10,000$	I II
Sekunder	Arteri	II	$\geq 20,000$ $< 20,000$	I II
	Kolektor	NA	$\geq 6,000$ $< 6,000$	II III
	Lokal	NA	≥ 500 < 500	III IV

(Sumber : SNI 1725 : 2016)

Berdasarkan tabel klasifikasi jalan di atas Jembatan Pelangi termasuk dalam jenis kelas fungsional sekunder lokal.

4.3.3 Pengaruh Gempa

Jembatan harus dibangun dengan kemungkinan runtuh yang rendah tetapi dengan potensi kerusakan yang besar dan gangguan layanan akibat gempa bumi. Dalam beberapa keadaan, struktur perlu diganti seluruhnya atau sebagian. Otoritas yang kompeten dapat menentukan kinerja yang lebih tinggi, seperti kinerja operasional.

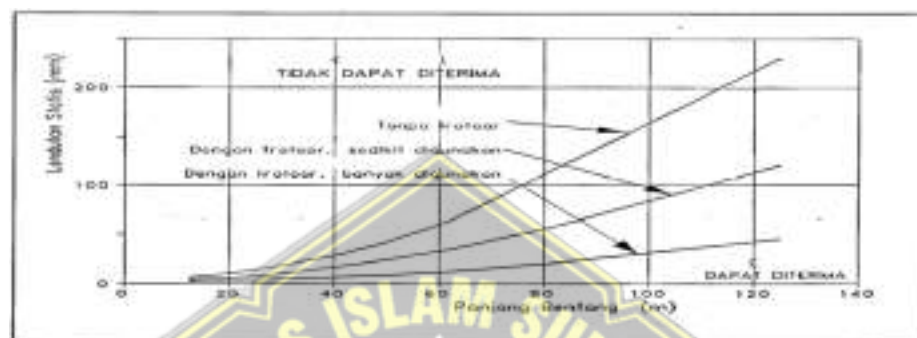
Tabel 4.5 Faktor Akibat Gempa

Jangka waktu	Faktor beban		
	γ_{BF}	γ_{AF}	
		Biasa	Terkurangi
Transien	1,0	1,3	0,8
CATATAN (1) Gaya akibat gesekan pada perletakan terjadi selama adanya pergerakan pada bangunan atas, tetapi gaya sisa mungkin terjadi setelah pergerakan berhenti. Dalam hal ini gesekan pada perletakan harus memperhitungkan adanya pengaruh tetap yang cukup besar.			

(Sumber : SNI 1725 : 2016)

a. Pengaruh Gempa Jembatan Tanpa Trotoar

Penting untuk melihat status batas layan getaran pada jembatan. Untuk mencapai lendutan statik maksimum pada jembatan, satu lajur lalu lintas rencana dengan pembebanan “lajur D” dan faktor beban 1,0 harus ditempatkan di sepanjang bentang. Agar defleksi ini dapat digunakan oleh pejalan kaki, tidak boleh lebih dari yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Lendutan Akibat Gempa (SNI 1725 : 2016)

Tabel 4.6 Hasil *Output Element Forces-Frames*

Frame	Station	Output Case	Case Type	P	V2	V3	T	M2	M3	Frame Elem	Elem Station
Text	m	Text	Text	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m	Text	m
2	26 1,81	0	Combination	1,562	693,3	2,455E-12	2,895E-12	5,486E-13	-1437,2514	2-13	2
3	0 1,81	0,5	Combination	2,862	-1259,700	9,464E-12	4,885E-12	1,479E-11	-2900,6508	2-1	0
2	0,5 1,81	1	Combination	2,862	-1219,702	9,464E-12	4,885E-12	1,506E-11	-1382,0498	2-1	0,5
2	1 1,81	1,5	Combination	2,862	-1169,702	9,464E-12	4,885E-12	1,033E-11	-1385,9489	2-1	1
3	1,5 1,81	2	Combination	2,862	-1119,700	9,464E-12	4,885E-12	5,598E-12	-812,348	2-1	1,5
2	2 1,81	2	Combination	2,862	-1079,700	9,464E-12	4,885E-12	8,656E-13	-261,247	2-1	2
2	2 1,81	2	Combination	-1,065	-1021,283	-2,546E-12	5,288E-12	-2,188E-12	-280,2456	2-2	0
2	2,5 1,81	2	Combination	-1,065	-979,283	-2,546E-12	5,288E-12	-6,154E-13	239,1447	2-2	0,5
2	3 1,81	2	Combination	-1,065	-931,283	-2,546E-12	5,288E-12	1,576E-13	716,0351	2-2	1
2	3,5 1,81	2	Combination	-1,065	-880,283	-2,546E-12	5,288E-12	1,431E-12	1170,4254	2-2	1,5
2	4 1,81	2	Combination	-1,065	-841,283	-2,546E-12	5,288E-12	1,904E-12	1602,3157	2-2	2
2	4 1,81	2	Combination	-0,455	-814,295	1,144E-13	5,302E-12	9,812E-13	1602,0599	2-3	0
2	4,5 1,81	2	Combination	-0,455	-769,295	1,144E-13	5,302E-12	9,24E-13	1997,9575	2-3	0,5
2	5 1,81	2	Combination	-0,455	-724,295	1,144E-13	5,302E-12	8,668E-13	2371,3551	2-3	1
2	5,5 1,81	2	Combination	-0,455	-679,295	1,144E-13	5,302E-12	8,096E-13	2722,2528	2-3	1,5
2	6 1,81	2	Combination	-0,455	-634,295	1,144E-13	5,302E-12	7,524E-13	3050,0504	2-3	2
2	6 1,81	2	Combination	-0,434	-628,744	-2,378E-13	5,076E-12	-2,617E-14	3050,6358	2-4	0
2	6,5 1,81	2	Combination	-0,434	-583,744	-2,378E-13	5,076E-12	9,275E-14	3353,5576	2-4	0,5
2	7 1,81	2	Combination	-0,434	-538,744	-2,378E-13	5,076E-12	2,117E-13	3634,1794	2-4	1
2	7,5 1,81	2	Combination	-0,434	-493,744	-2,378E-13	5,076E-12	3,306E-13	3892,3013	2-4	1,5
2	8 1,81	2	Combination	-0,434	-448,744	-2,378E-13	5,076E-12	4,495E-13	4127,9231	2-4	2
2	8 1,81	2	Combination	-0,382	-449,002	-1,203E-13	3,966E-12	9,962E-15	4127,8536	2-5	0
2	8,5 1,81	2	Combination	-0,382	-404,002	-1,203E-13	3,966E-12	7,012E-14	4341,1045	2-5	0,5
2	9 1,81	2	Combination	-0,382	-359,002	-1,203E-13	3,966E-12	1,303E-13	4531,8555	2-5	1

Dari hasil *output element forces-frame software* Sap2000 V.14 tabel 4.6 dihasilkan beban maksimum sebesar 4531,8555 kN = 453,186 ton

4.4 Data Perencanaan

Spesifikasi umum pada data perencanaan ini adalah sebagai berikut :

1. Panjang Jembatan : 26 m
2. Lebar Jembatan : 3,1 m
3. Fungsi Bangunan : Jembatan Lokal
4. Jenis Kontruksi : Beton Bertulang
5. Jenis Fondasi : Fondasi Dalam
6. Diameter Fondasi : 50 cm
7. Mutu Beton : K-300

Berdasarkan data diatas penelitian kami menjelaskan 2 analisis perhitungan fondasi dalam yaitu fondasi *spun pile* dan fondasi *bored pile*.

4.5 Analisa Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang *Spun Pile*

Untuk menganalisis daya dukung fondasi *spun pile* didapat data fondasi tiang pancang *spun pile* sebagai berikut:

1. Diameter (D) = 50 cm
2. Kedalaman (L) = 2000 cm = 20 m
3. Keliling (O)
= $\pi \times d$
= $3,14 \times 50$
= 157 cm = 1,57 m
4. Luas selimut tiang (As)
= $\pi \times d \times L$
= $3,14 \times 50 \times 2000$
= $314000 \text{ cm}^2 = 31,4 \text{ m}^2$
5. Luas penampang tiang (Ap)
= $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2$
= $\frac{1}{4} \times 3,14 \times 50^2$
= $1962,5 \text{ cm}^2 = 0,19625 \text{ m}^2$

Tabel 4.7 Data Tanah

Kedalaman / Depth (m)	Conus Resistant (kg / cm ²)	Conus + Cleep Resistant (kg / cm ²)	Lokal Friction (kg / cm ²)	Total Friction (kg / cm)
16.2	43	68	25	1126
16.4	42	66	24	1174
16.6	45	70	25	1224
16.8	43	67	24	1272
17.0	42	68	26	1324
17.2	46	72	26	1376
17.4	49	77	28	1432
17.6	52	80	28	1488
17.8	53	83	30	1548
18.0	55	85	30	1608
18.2	50	80	30	1668
18.4	48	77	29	1726
18.6	45	70	25	1776
18.8	45	70	25	1826
19.0	44	68	24	1874
19.2	48	75	27	1928
19.4	50	79	29	1986
19.6	53	80	27	2040
19.8	52	81	29	2098
20.0	55	84	29	2156

4.5.1 Perhitungan Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Spun Pile Metode Aoki De Alencar (1975)

Untuk perhitungan kapasitas daya dukung fondasi tiang pancang *spun pile* berdasarkan data sondir / *Cone Penetration Test* (CPT) dengan metode Aoki de Alencar (1975) sebagai berikut :

- Perhitungan daya dukung ujung tiang (Q_p) resistensi konus yang khas pada tanah kohesif adalah 1,5 D diatas dan 1,5 D di bawah ujung tiang.

Tabel 4.8 Nilai qc Dasar Tiang

Kedalaman	qc (kg/cm ²)
19,2	48
19,4	50
19,6	53
19,8	52
20,0	55
Σqc	258

Maka nilai qc rata-rata adalah :

$$qca \text{ (base)} = \frac{\Sigma qc}{n} = \frac{258}{5} = 51,600 \text{ kg/cm}^2$$

Daya dukung ujung tiang per satuan luas (qp) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.4).

$$qp = \frac{qca \text{ (base)}}{fb} \text{ (Nilai } Fb \text{ dari tabel 2.6, beton pratekan} = 1,75)$$

$$qp = \frac{51,600}{1,75} = 29,486 \text{ kg/cm}^2$$

Daya dukung ujung tiang (Qp) :

$$\begin{aligned} Qp &= qp \times Ap \\ &= 29,486 \times 1962,5 \\ &= 57865,714 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 57,866 \text{ ton} \end{aligned}$$

b. Perhitungan kapasitas dukung kulit (Qs) pada tanah kohesif.

Daya dukung kulit per satuan luas (f) ditentukan dengan persamaan (2.5) pada kedalaman fondasi L = 20 m.

Tabel 4.9 Nilai qc Pada Selimut Tiang

Kedalaman	qc (kg/cm ²)
2	16
4	11
6	6
8	5
10	6
12	8

14	15
16	36
18	46
20	50
Σqc	199

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

$$qc \text{ (side)} = \frac{199}{10} = 19,90 \text{ kg/cm}^2$$

$$f = qc \text{ (side)} \frac{as}{Fs} \text{ (Nilai } Fs \text{ dari tabel 2.6)}$$

$$f = 19,90 \times \frac{0,03}{3,5} = 0,170 \text{ kg/cm}^2$$

Kapasitas dukung kulit (Q_s).

$$Q_s = f \times A_s$$

$$= 0,170 \times 314000$$

$$= 53455,442 \text{ kg}$$

$$= 53,455 \text{ ton}$$

c. Perhitungan daya dukung ultimat fondasi berdasarkan Persamaan (2.1).

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$= 57,866 + 53,455$$

$$= 111,321 \text{ ton}$$

d. Perhitungan daya dukung ijin fondasi berdasarkan Persamaan (2.1).

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$= \frac{111,321}{2,5}$$

$$= 44,528 \text{ ton}$$

Tabel 4.10 menampilkan hasil perhitungan daya dukung metode Aoki De Alencar berdasarkan data sondir/CPT

4.5.2 Perhitungan Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Spun Pile Metode Mayerhoff (1976)

Untuk menghitung daya dukung fondasi tiang pancang *spun pile* Metode Mayerhoff (1976) dengan kedalaman tanah 20 m, berdasarkan Persamaan (2.6) adalah sebagai berikut :

a. Perhitungan daya dukung ujung tiang berdasarkan Persamaan (2.6).

$$\begin{aligned} Q_p &= q_c \times A_p / 3 \\ &= 50 \times 1962,5 / 3 \\ &= 32410,985 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 32,411 \text{ ton} \end{aligned}$$

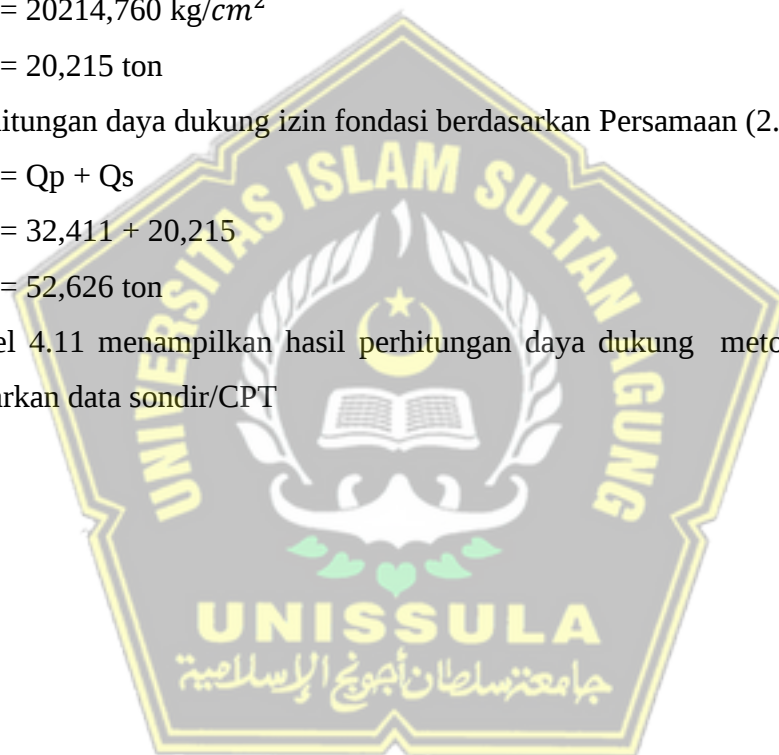
b. Perhitungan daya dukung selimut fondasi tiang pancang *spun pile* berdasarkan Persamaan (2.6).

$$\begin{aligned} Q_s &= JHP \times Kt / 5 \\ &= 644 \times 157 / 5 \\ &= 20214,760 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 20,215 \text{ ton} \end{aligned}$$

c. Perhitungan daya dukung izin fondasi berdasarkan Persamaan (2.1).

$$\begin{aligned} Q_{all} &= Q_p + Q_s \\ &= 32,411 + 20,215 \\ &= 52,626 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tabel 4.11 menampilkan hasil perhitungan daya dukung metode Mayerhoff berdasarkan data sondir/CPT



Tabel 4.10 Hasil Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang *Spun Pile* Metode Aoki De Alencar (1975)

Dept (m)	qca (base) (kg/cm ²)	qc side (kg/cm ²)	qp (kg/cm ²)	f (kg/cm ²)	As (cm ²)	Ap (cm ²)	Qp (ton)	Qs (ton)	Qu (ton)	Qall (ton)
2	15,111	16,182	8,635	0,139	31400	1962,5	16,946	4,355	21,301	8,521
4	7,556	13,773	4,317	0,118	62800	1962,5	8,473	7,414	15,887	6,355
6	4,889	11,098	2,794	0,095	94200	1962,5	5,483	8,961	14,444	5,778
8	4,667	9,460	2,667	0,081	125600	1962,5	5,233	10,185	15,418	6,167
10	7,444	8,841	4,254	0,076	157000	1962,5	8,348	11,897	20,246	8,098
12	15,778	8,655	9,016	0,074	188400	1962,5	17,694	13,977	31,671	12,668
14	19,667	9,601	11,238	0,082	219800	1962,5	22,055	18,088	40,142	16,057
16	41,889	12,838	23,937	0,110	251200	1962,5	46,975	27,642	74,618	29,847
18	49,222	16,563	28,127	0,142	282600	1962,5	55,199	40,121	95,320	38,128
20	51,600	19,861	29,486	0,170	314000	1962,5	57,866	53,455	111,321	44,528



Tabel 4.11 Hasil Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang *Spun Pile* Metode Mayerhoff (1976)

Dept (m)	qc (kg/cm ²)	JHP (kg/cm ²)	K (cm ²)	Ap (cm ²)	Qp (ton)	Qs (ton)	Qall (ton)
2	16	64	157	1962,5	10,586	2,015	12,601
4	11	124	157	1962,5	7,434	3,894	11,327
6	6	170	157	1962,5	3,761	5,352	9,114
8	5	208	157	1962,5	2,973	6,533	9,506
10	6	246	157	1962,5	4,163	7,715	11,877
12	8	284	157	1962,5	5,055	8,932	13,987
14	15	333	157	1962,5	9,991	10,462	20,453
16	36	400	157	1962,5	23,223	12,549	35,772
18	46	505	157	1962,5	30,330	15,853	46,183
20	50	644	157	1962,5	32,411	20,215	52,626

4.5.3 Perhitungan Jarak Antar Fondasi Tiang Pancang Spun Pile dan Jarak As ke Tepi

Perhitungan jarak antar fondasi tiang pancang *spun pile* berdasarkan Persamaan (2.13) adalah sebagai berikut :

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

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh hasil jarak antar tiang pancang *spun pile* sebesar 1,5 m.

4.5.4 Kebutuhan Jumlah Fondasi Tiang Pancang Spun Pile

Untuk menentukan banyaknya fondasi yang dibutuhkan dalam kelompok tiang berdasarkan Persamaan (2.11) adalah sebagai berikut :

$$\text{Beban (p)} = 453,186 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{p}{Q_{ijin}} \\ &= \frac{453,186}{52,626} \\ &= 9 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh jumlah tiang pancang *spun pile* sebanyak 9 buah.

4.5.5 Efisiensi Daya Dukung Tiang

Metode Converse-Labarre untuk menghitung efisiensi daya dukung tiang berdasarkan Persamaan (2.14) adalah sebagai berikut:

Perhitungan efisiensi tiang dengan jumlah rencana 9 buah

$$\theta = \text{Arc tg} \cdot \frac{D}{S} = \text{Arc} \frac{0,5}{1,5} = 18,435$$

$$n = 3 ; m = 3$$

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n} \right] \cdot \theta \\ &= 1 - \left[\frac{(3-1) \cdot 3 + (3-1) \cdot 3}{90 \cdot 3 \cdot 3} \right] \cdot 18,435 \\ &= 0,73 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_g &= n \times q_{ijin} \times \eta \\ &= 608,146 \text{ ton} \end{aligned}$$

Didapatkan $P (453,186 \text{ ton}) \leq Q_g (608,146 \text{ ton})$, maka **AMAN**

4.5.6 Perhitungan Daya Dukung Lateral Fondasi Tiang Pancang Spun Pile

Berdasarkan persamaan (2.46), rumus berikut digunakan untuk menentukan daya dukung lateral fondasi tiang pancang :

Diketahui :

$$\gamma = 17,04 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 16,97^\circ$$

$$K_p = \frac{1}{ka} = \frac{1}{\tan \left(45 \frac{\phi}{2} \right)} = 1 \frac{1}{\tan \left(45 \frac{16,97}{2} \right)} = \frac{1}{0,4} = 2,5$$

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

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

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

$$L = 20 \text{ m}$$

- ❖ Untuk mengecek kekakuan tiang fondasi tiang pancang *spun pile*, berdasarkan Persamaan (2.21) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} E &= 4700 \times \sqrt{24,9} \\ &= 23452952,91 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- ❖ Berikut adalah perhitungan kekakuan tiang fondasi, berdasarkan Persamaan (2.22)

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{64} \times \pi \times d^4 \\ &= \frac{1}{64} \times 3,14 \times 0,5^4 \\ &= 0,003 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

- ❖ Faktor kekakuan R dan T

Berikut adalah perhitungan faktor kekakuan pada tanah lempung, berdasarkan Persamaan (2.24) dan (2.25)

$$\begin{aligned} T &= \sqrt[5]{\frac{Ep \times Ip}{\eta_h}} \\ &= \sqrt[5]{\frac{23452952,91 \times 0,003}{150}} \\ &= 3,422 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4T &= 4 \times T \\ &= 4 \times 3,422 \\ &= 13,688 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan, $L (20 \text{ m}) > 4T (13,688 \text{ m})$, sehingga tiang fondasi merupakan tiang fondasi panjang elastis.

❖ Cek keruntuhan tanah

Untuk mengecek Perhitungan keruntuhan tanah berdasarkan Persamaan (2.26) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_{\max} &= D \times \gamma \times L^3 \times K_p \\ &= 0,5 \times 17,04 \times 20^3 \times 2,5 \\ &= 170400 \text{ kN} \\ &= 17040 \text{ ton} \end{aligned}$$

❖ Karena pada tiang fondasi *spun pile* dan ujung jepit, $M_{\max} > M_y$, dan asumsi $M_y = 1500 \text{ kN/m}$. Sedangkan untuk perhitungannya sesuai dengan Persamaan (2.28) adalah sebagai berikut:

- Berikut adalah perhitungan jarak kedalaman titik dimana gaya geser = 0 (m), berdasarkan Persamaan (2.28).

$$\begin{aligned} f &= 0,82 \sqrt{\frac{Hu}{d \times k_p \times \gamma}} \\ &= 0,82 \sqrt{\frac{Hu}{0,5 \times 2,5 \times 17,04}} \\ &= 0,184 \sqrt{Hu} \end{aligned}$$

- Berikut adalah perhitungan daya dukung lateral tiang, berdasarkan Persamaan (2.27).

$$\begin{aligned} H_u &= \frac{2M_y}{e + \frac{2f}{3}} \\ &= \frac{2 \times 1500}{0 + \frac{2(0,184\sqrt{Hu})}{3}} \\ &= 843,865 \text{ ton} \end{aligned}$$

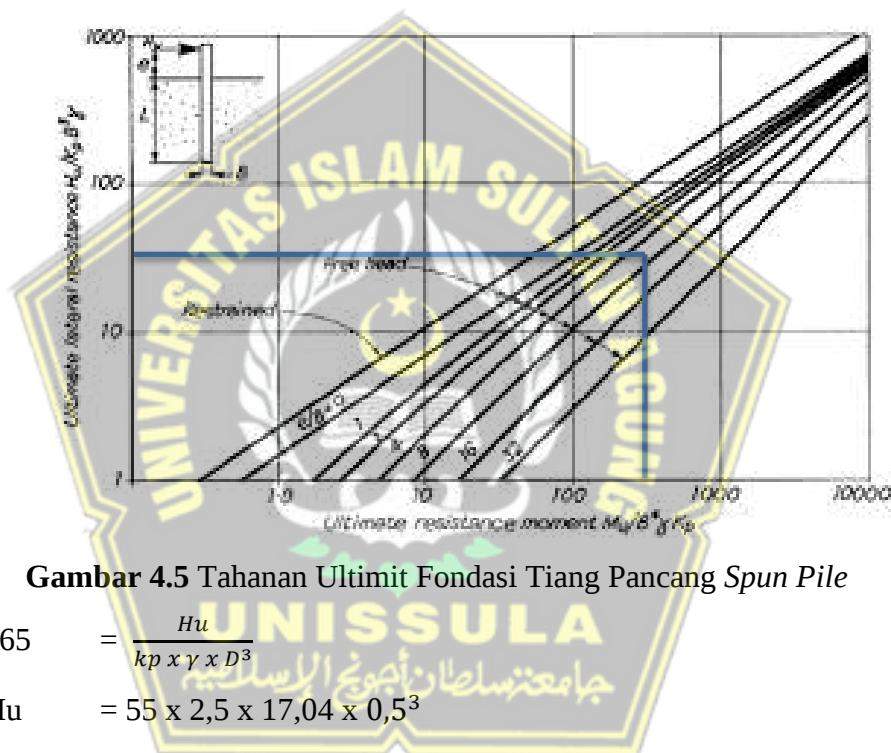
- Berikut adalah perhitungan daya dukung lateral izin tiang, berdasarkan Persamaan (2.29).

$$\begin{aligned} H_{izin} &= \frac{H_u}{sf} \\ &= \frac{843,865}{2,5} \\ &= 337,546 \text{ ton} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{Tahanan momen ultimit} &= \frac{My}{D^4 \times \gamma \times kp} \\
 &= \frac{1500}{0,5^4 \times 17,04 \times 2,5} \\
 &= 563,91 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Nilai tahanan ultimit didapatkan 563,91 ton, lalu di input ke dalam grafik, dilihat pada Gambar 4.3 didapat sebesar 55.



Gambar 4.5 Tahanan Ultimit Fondasi Tiang Pancang *Spun Pile*

$$\begin{aligned}
 165 &= \frac{H_u}{kp \times \gamma \times D^3} \\
 H_u &= 55 \times 2,5 \times 17,04 \times 0,5^3 \\
 &= 292,875 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh tahanan ultimit tiang pancang *spun pile* sebesar 292,875 ton.

4.5.7 Penurunan Tiang Tunggal

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

$$\text{Beban yang diterima ujung tiang (Qwp)} = 32,411 \text{ ton}$$

$$\text{Beban yang diterima selimut tiang (Qws)} = 20,215 \text{ ton}$$

$$\text{Modulus elastisitas tiang (Ep)} = 234529529,1 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}
\text{Distribusi tahanan sepanjang tiang } (\varepsilon) &= 0,5 \\
A_p &= 0,196 \text{ m}^2 \\
\text{Tahanan ujung batas tiang } (q_p) &= \frac{Q_p}{A_p} \\
&= \frac{32,411}{0,196} = 162,152 \text{ ton} \\
\text{Koefisien empiris } (C_p) &= 0,02 \\
\text{Diameter tiang } (D) &= 0,5 \text{ m} \\
\text{Panjang tiang } (L) &= 20 \text{ m} \\
E_s &= 50000 \\
\text{Jumlah Sambungan Tiang Pancang} &= 2
\end{aligned}$$

- Berikut adalah perhitungan penurunan fondasi akibat batang (S1), berdasarkan Persamaan (2.37).

$$\begin{aligned}
S1 &= \frac{(Q_{wp} + \varepsilon \times Q_{ws}) \times L}{A_p \times E_p} \\
&= \frac{(32,411 + 0,5 \times 20,215) \times 20}{0,196 \times 234529529,1} \\
&= 0,000 \text{ m}
\end{aligned}$$

- Berikut adalah perhitungan penurunan fondasi akibat beban di ujung (S2), berdasarkan Persamaan (2.38).

$$\begin{aligned}
S2 &= \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p} \\
&= \frac{(32,411 \times 0,02)}{0,5 \times 162,152} \\
&= 0,008 \text{ m}
\end{aligned}$$

- Berikut adalah perhitungan penurunan fondasi akibat beban yang disalurkan sepanjang selimut (S3), berdasarkan Persamaan (2.39).

$$\begin{aligned}
I_{ws} &= 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} \\
&= 2 + 0,35 \sqrt{\frac{20}{0,5}} \\
&= 4,214 \text{ m} \\
S3 &= \frac{Q_{wp}}{P \cdot L} \times \frac{D}{E_s} \times (1 - \mu_s^2) \times I_{ws} \\
&= \frac{32,411}{2 \cdot 20} \times \frac{0,5}{50000} \times (1 - 0,02^2) \times 4,214 \\
&= 0,0137 \text{ m}
\end{aligned}$$

- Untuk perhitungan total penurunan (S_t), berdasarkan Persamaan (2.36) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S_t &= S_1 + S_2 + S_3 \\ &= 0,000 + 0,008 + 0,0137 \\ &= 0,0215 \text{ m} \\ &= 2,15 \text{ cm} \end{aligned}$$

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

Maka penurunan total tiang tunggal **AMAN**, karena $2,15 \text{ cm} < 5 \text{ cm}$.

4.5.8 Penurunan Kelompok Tiang

Perhitungan penurunan kelompok tiang fondasi tiang pancang *spun pile* menurut Persamaan (2.41) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S_g &= S_t \sqrt{\frac{b'}{B}} \\ &= 2,15 \sqrt{\frac{380}{50}} \\ &= 5,933 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh penurunan tiang pancang sebesar 5,933 cm.

4.5.9 Waktu Penurunan Tanah Fondasi Tiang Pancang Spun Pile

Perhitungan penurunan tanah pada fondasi tiang pancang *spun pile*, berdasarkan Persamaan (2.43) adalah sebagai berikut:

$$\text{Faktor waktu (Tv)} = 0,403$$

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

$$\begin{aligned} T &= \frac{T_v \times H^2}{C_v} \\ &= \frac{0,403 \times 20^2}{0,0045} \\ &= 35822,222 \text{ jam} = 4,089 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Jadi, waktu penurunan fondasi tiang pancang *spun pile* adalah selama 4,089 tahun.

4.6 Analisa Daya Dukung Fondasi Bored Pile

Untuk menganalisis daya dukung fondasi *bored pile* didapat data fondasi *bored pile* sebagai berikut :

1. Diameter (D) = 50 cm
2. Kedalaman (L) = 2000 cm = 20 m
3. Keliling (O) = $\pi \times d$
= 3,14 x 50
= 157 cm = 1,57 m
4. Luas selimut tiang (As) = $\pi \times d \times L$
= 3,14 x 50 x 2000
= 314000 cm^2 = 31,4 m^2
5. Luas penampang tiang (Ap) = $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2$
= $\frac{1}{4} \times 3,14 \times 50^2$
= 1962,5 cm^2 = 0,196 m^2

4.6.1 Perhitungan Daya Dukung Fondasi Bored Pile Metode Aoki De Alencar (1975)

Untuk perhitungan kapasitas daya dukung fondasi *bored pile* berdasarkan data sondir / *Cone Penetration Test* (CPT) dengan metode Aoki De Alencar (1975) sebagai berikut :

- a. Perhitungan daya dukung ujung tiang (Q_p) resistensi konus yang khas pada tanah kohesif adalah 1,5 D diatas dan 1,5 D dibawah ujung tiang.

Tabel 4.12 Nilai q_c Dasar Tiang

Kedalaman	q_c (kg/cm^2)
19,2	48
19,4	50
19,6	53
19,8	52
20,0	55
Σq_c	258

Maka nilai q_c rata-rata adalah :

$$q_{ca} \text{ (base)} = \frac{\Sigma q_c}{n} = \frac{258}{5} = 51,600 \text{ kg/cm}^2$$

Dari persamaan (2.4), kapasitas dukung ujung persatuan luas (q_p) =

$$q_p = \frac{q_{ca} \text{ (base)}}{f_b} \text{ (Nilai } f_b \text{ dari tabel 2.6, tiang bor} = 3,5)$$

$$q_p = \frac{51,600}{3,5} = 14,743 \text{ kg/cm}^2$$

Kapasitas dukung ujung tiang (Q_p) :

$$\begin{aligned} Q_p &= q_p \times A_p \\ &= 14,743 \times 1962,5 \\ &= 28932,857 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 28,933 \text{ ton} \end{aligned}$$

b. Perhitungan kapasitas dukung kulit (Q_s) pada tanah kohesif

Dari persamaan (2.5), kapasitas dukung kulit persatuan luas (f) pada kedalaman fondasi $L = 20 \text{ m}$.

Tabel 4.13 Nilai q_c Pada Selimut Tiang

Kedalaman	$q_c \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
2	16
4	11
6	6
8	5
10	6
12	8
14	15
16	36
18	46
20	50
Σq_c	199

$q_c \text{ (side)}$ = Perlawanan konus rata-rata pada masing lapisan sepanjang tiang.

$$q_c \text{ (side)} = \frac{199}{10} = 19,90 \text{ kg/cm}^2$$

$$f = q_c \text{ (side)} \frac{a_s}{F_s} \text{ (Nilai } F_s \text{ dari tabel 2.6)}$$

$$f = 19,90 \times \frac{0,03}{7} = 0,085 \text{ kg/cm}^2$$

Kapasitas dukung kulit (Q_s)

$$\begin{aligned} Q_s &= f \times A_s \\ &= 0,085 \times 314000 \\ &= 26727,721 \text{ kg} \\ &= 26,728 \text{ ton} \end{aligned}$$

- c. Perhitungan daya dukung ultimat fondasi berdasarkan Persamaan (2.1).

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 28,933 + 26,728 \\ &= 55,661 \text{ ton} \end{aligned}$$

- d. Perhitungan daya dukung ijin fondasi berdasarkan Persamaan (2.1).

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_u}{SF} \\ &= \frac{55,661}{2,5} \\ &= 22,264 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tabel 4.14 menampilkan hasil perhitungan daya dukung metode Aoki De Alencar berdasarkan data sondir/CPT.

4.6.2 Perhitungan Daya Dukung Fondasi Bored Pile Metode Mayerhoff (1976)

Untuk menghitung daya dukung fondasi *bored pile* Metode Mayerhoff (1976) dengan kedalaman tanah 20 m, berdasarkan Persamaan (2.6) adalah sebagai berikut :

- a. Perhitungan daya dukung ujung tiang berdasarkan Persamaan (2.6).

$$\begin{aligned} Q_p &= q_c \times A_p / 3 \\ &= 50 \times 1962,5 / 3 \\ &= 32410,985 \text{ kg} \\ &= 32,411 \text{ ton} \end{aligned}$$

- b. Perhitungan daya dukung selimut fondasi *bored pile* berdasarkan Persamaan (2.6).

$$\begin{aligned} Q_s &= JHP \times Kt / 5 \\ &= 644 \times 157 / 5 \\ &= 20214,760 \text{ kg} \\ &= 20,215 \text{ ton} \end{aligned}$$

- c. Perhitungan daya dukung izin fondasi berdasarkan Persamaan (2.1).

$$\begin{aligned} Q_{all} &= Q_p + Q_s \\ &= 32,411 + 20,215 \\ &= 52,626 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tabel 4.15 menampilkan hasil perhitungan daya dukung metode Mayerhoff berdasarkan data sondir/CPT.

Tabel 4.14 Hasil Daya Dukung Fondasi *Bored Pile* Metode Aoki De Alencar (1975)

Dept (m)	qca (base) (kg/cm ²)	qc (side) (kg/cm ²)	qp (kg/cm ²)	f (kg/cm ²)	As (cm ²)	Ap (cm ²)	Qp (ton)	Qs (ton)	Qu (ton)	Qall (ton)
2	15,111	16,182	4,317	0,069	31400	1962,5	8,473	2,178	10,651	4,260
4	7,556	13,773	2,159	0,059	62800	1962,5	4,237	3,707	7,943	3,177
6	4,889	11,098	1,397	0,048	94200	1962,5	2,741	4,481	7,222	2,889
8	4,667	9,460	1,333	0,041	125600	1962,5	2,617	5,092	7,709	3,084
10	7,444	8,841	2,127	0,038	157000	1962,5	4,174	5,949	10,123	4,049
12	15,778	8,655	4,508	0,037	188400	1962,5	8,847	6,989	15,835	6,334
14	19,667	9,601	5,619	0,041	219800	1962,5	11,027	9,044	20,071	8,028
16	41,889	12,838	11,968	0,055	251200	1962,5	23,488	13,821	37,309	14,924
18	49,222	16,563	14,063	0,071	282600	1962,5	27,600	20,060	47,660	19,064
20	51,600	19,861	14,743	0,085	314000	1962,5	28,933	26,728	55,661	22,264



Tabel 4.15 Hasil Daya Dukung Fondasi *Bored Pile* Metode Mayerhoff (1976)

Dept (m)	qc (kg/cm ²)	JHP (kg/cm ²)	K (cm ²)	Ap (cm ²)	Qp (ton)	Qs (ton)	Qall (ton)
2	16	64	157	1962,5	10,586	2,015	12,601
4	11	124	157	1962,5	7,434	3,894	11,327
6	6	170	157	1962,5	3,761	5,352	9,114
8	5	208	157	1962,5	2,973	6,533	9,506
10	6	246	157	1962,5	4,163	7,715	11,877
12	8	284	157	1962,5	5,055	8,932	13,987
14	15	333	157	1962,5	9,991	10,462	20,453
16	36	400	157	1962,5	23,223	12,549	35,772
18	46	505	157	1962,5	30,330	15,853	46,183
20	50	644	157	1962,5	32,411	20,215	52,626

4.6.3 Perhitungan Jarak Antar Fondasi Bored Pile dan Jarak As ke Tepi

Perhitungan jarak antar fondasi *bored pile* berdasarkan Persamaan (2.13) adalah sebagai berikut :

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

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh hasil jarak antar fondasi *bored pile* sebesar 1,5 m.

4.6.4 Kebutuhan Jumlah Fondasi Bored Pile

Untuk menentukan banyaknya fondasi yang dibutuhkan dalam kelompok tiang berdasarkan Persamaan (2.11) adalah sebagai berikut :

$$\text{Beban (p)} = 453,186 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{p}{q_{ijin}} \\ &= \frac{453,186}{52,626} \\ &= 9 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh jumlah fondasi *bored pile* sebanyak 9 buah.

4.6.5 Efisiensi Daya Dukung Tiang

Metode Converse-Labarre untuk menghitung efisiensi daya dukung tiang berdasarkan persamaan (2.14) adalah sebagai berikut :

Perhitungan efisiensi tiang dengan jumlah rencana 9 buah

$$\theta = \text{Arc tg} \cdot \frac{D}{S} = \text{Arc} \frac{0,5}{1,5} = 18,435$$

$$n = 3 ; m = 3$$

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n} \right] \cdot \theta \\ &= 1 - \left[\frac{(3-1) \cdot 3 + (3-1) \cdot 3}{90 \cdot 3 \cdot 3} \right] \cdot 18,435 \\ &= 0,73 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_g &= n \times q_{ijin} \times \eta \\ &= 468,781 \text{ ton} \end{aligned}$$

Didapatkan $P (453,186 \text{ ton}) \leq Q_g (468,781 \text{ ton})$, maka **AMAN**.

4.6.6 Perhitungan Daya Dukung Lateral Fondasi Bored Pile

Berdasarkan persamaan (2.46) rumus berikut digunakan untuk menentukan daya dukung lateral fondasi *bored pile* :

Diketahui :

$$\gamma = 17,04 \text{ kN/m}^3 +$$

$$\theta = 16,97^\circ$$

$$K_p = \frac{1}{ka} = \frac{1}{\tan \left(45 \frac{\theta}{2} \right)} = 1 \frac{1}{\tan \left(45 \frac{16,97}{2} \right)} = \frac{1}{0,4} = 2,5$$

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

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

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

$$L = 20 \text{ m}$$

- ❖ Untuk mengecek kekakuan tiang fondasi *bored pile*, berdasarkan Persamaan (2.21) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} E &= 4700 \times \sqrt{24,9} \\ &= 23452952,91 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- ❖ Berikut adalah perhitungan kekakuan tiang fondasi, berdasarkan Persamaan (2.22)

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{64} \times \pi \times d^4 \\ &= \frac{1}{64} \times 3,14 \times 0,5^4 \\ &= 0,003 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

- ❖ Faktor kekakuan R dan T

Berikut adalah perhitungan faktor kekakuan pada tanah lempung, berdasarkan Persamaan (2.23) dan (2.25).

$$\begin{aligned} T &= \sqrt[5]{\frac{Ep \times Ip}{\eta h}} \\ &= \sqrt[5]{\frac{23452,95 \times 0,003}{150}} \\ &= 3,422 \text{ m} \\ 4T &= 4 \times T \\ &= 4 \times 3,422 \\ &= 13,688 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan, $L (20 \text{ m}) > 4T (13,688 \text{ m})$, sehingga tiang fondasi merupakan tiang fondasi panjang elastis.

❖ Cek keruntuhan tanah

Untuk mengecek Perhitungan keruntuhan tanah berdasarkan Persamaan (2.26) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_{\max} &= D \times \gamma \times L^3 \times K_p \\ &= 0,5 \times 17,04 \times 20^3 \times 2,5 \\ &= 170400 \text{ kN} \\ &= 17040 \text{ ton} \end{aligned}$$

❖ Menentukan Tahanan Tiang Momen :

$$W = \frac{I_p}{d/2} = \frac{0,003}{0,5/2} = 0,0123 \text{ m}^2$$

❖ Menentukan Momen Maksimum Tiang

$$\begin{aligned} f_b &= 0,4 \times F_c' \\ &= 0,4 \times 24,9 \\ &= 9960 \text{ ton} \\ M_y &= f_b \times W \\ &= 9960 \times 0,0123 \\ &= 122,508 \text{ ton/m} \end{aligned}$$

❖ Nilai Hu

$$\begin{aligned} C_u &= 40 \\ H_u &= \frac{2 M_y}{(e + 1,5 d + 0,5 f)} \\ f &= \frac{H_u}{9 \cdot C_u \cdot d} = \frac{H_u}{9 \times 40 \times 0,5} = \frac{H_u}{180} \\ H_u &= \frac{2 \times 122,508}{\left(0 + 1,5 \cdot 0,5 + 0,5 \cdot \frac{H_u}{180} \right)} \\ &= \frac{245,016}{(0,75 + 0,0028 H_u)} \\ &= \frac{0,0028 H^2 + 0,75 H_u - 245,016}{0,0028} \\ &= H_u^2 + 267,86 H_u - 87505,71 = 0 \\ x &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2a} \\ &= \frac{-267,86 \pm \sqrt{267,86^2 - 4 \cdot 1 \cdot 87505,71}}{2 \cdot 1} \\ &= \frac{-267,86 \pm 649,44}{2} \\ H_{u1} &= \frac{-267,86 + 649,44}{2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 190,79 \text{ ton (Nilai } H_u \text{ yang digunakan)} \\
 H_{u2} &= \frac{-267,86 - 649,44}{2} \\
 &= -458,65 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

4.6.7 Penurunan Tiang Tunggal

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

$$\begin{aligned}
 \text{Beban yang diterima ujung tiang (Qwp)} &= 32,411 \text{ ton} \\
 \text{Beban yang diterima selimut tiang (Qws)} &= 20,215 \text{ ton} \\
 \text{Modulus elastisitas tiang (Ep)} &= 234529529,1 \text{ ton} \\
 \text{Distribusi tahanan sepanjang tiang (}\epsilon\text{)} &= 0,5 \\
 A_p &= 0,196 \text{ m}^2 \\
 \text{Tahanan ujung batas tiang (qp)} &= \frac{Q_p}{A_p} \\
 &= \frac{32,411}{0,196} = 165,152 \text{ ton} \\
 \text{Koefisien empiris (Cp)} &= 0,05 \\
 \text{Diameter tiang (D)} &= 0,5 \text{ m} \\
 \text{Panjang tiang (L)} &= 20 \text{ m} \\
 E_s &= 50000 \\
 \text{Jumlah Sambungan Tiang Pancang} &= 2
 \end{aligned}$$

- Berikut adalah perhitungan penurunan fondasi akibat batang (S1), berdasarkan Persamaan (2.37).

$$\begin{aligned}
 S1 &= \frac{(Q_{wp} + \epsilon \times Q_{ws}) \times L}{E_b \times E_p} \\
 &= \frac{(32,411 + 0,5 \times 20,215) \times 20}{0,196 \times 234529529,1} \\
 &= 0,000 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Berikut adalah perhitungan penurunan fondasi akibat beban di ujung (S2), berdasarkan Persamaan (2.38).

$$\begin{aligned}
 S2 &= \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p} \\
 &= \frac{(32,411 \times 0,05)}{0,5 \times 165,152} \\
 &= 0,020 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Berikut adalah perhitungan penurunan fondasi akibat beban yang disalurkan sepanjang selimut (S3), berdasarkan Persamaan (2.39).

$$\begin{aligned} I_{ws} &= 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} \\ &= 2 + 0,35 \sqrt{\frac{20}{0,5}} \\ &= 4,214 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_3 &= \frac{Q_{wp}}{P \cdot L} \times \frac{D}{E_s} \times (1 - \mu_s^2) \times I_{ws} \\ &= \frac{32,411}{2 \cdot 20} \times \frac{0,5}{50000} \times (1 - 0,05^2) \times 4,214 \\ &= 0,0136 \text{ m} \end{aligned}$$

- Untuk perhitungan total penurunan (St), berdasarkan Persamaan (2.36) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} St &= S_1 + S_2 + S_3 \\ &= 0,000 + 0,020 + 0,0136 \\ &= 0,033 \text{ m} \\ &= 3,33 \text{ cm} \end{aligned}$$

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

Maka penurunan total tiang total tunggal AMAN, karena $3,33 \text{ cm} < 5 \text{ cm}$.

4.6.8 Penurunan Kelompok Tiang

Perhitungan penurunan kelompok tiang fondasi *bored pile* menurut Persamaan (2.41) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S_g &= St \sqrt{\frac{b'}{B}} \\ &= 3,33 \sqrt{\frac{380}{50}} \\ &= 9,171 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh penurunan fondasi *bored pile* sebesar 9,171 cm.

4.6.9 Waktu Penurunan Tanah Fondasi Bored Pile

Perhitungan penurunan tanah pada fondasi *bored pile*, berdasarkan Persamaan (2.43) adalah sebagai berikut:

Faktor waktu (T_v) = 0,403

Derajat konsolidasi (C_v) = 0,0045

$$\begin{aligned} T &= \frac{T_v \times H^2}{C_v} \\ &= \frac{0,403 \times 20^2}{0,0045} \\ &= 35822,222 \text{ jam} = 4,089 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Jadi, waktu penurunan fondasi *bored pile* adalah selama 4,089 tahun.



Tabel 4.16 Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang *Spun Pile* Metode Aoki De Alencar (1975)

Dept (m)	qca (base) (kg/cm ²)	qc side (kg/cm ²)	qp (kg/cm ²)	f (kg/cm ²)	As (cm ²)	Ap (cm ²)	Qp (ton)	Qs (ton)	Qu (ton)	Qall (ton)
2	15,111	16,182	8,635	0,139	31400	1962,5	16,946	4,355	21,301	8,521
4	7,556	13,773	4,317	0,118	62800	1962,5	8,473	7,414	15,887	6,355
6	4,889	11,098	2,794	0,095	94200	1962,5	5,483	8,961	14,444	5,778
8	4,667	9,460	2,667	0,081	125600	1962,5	5,233	10,185	15,418	6,167
10	7,444	8,841	4,254	0,076	157000	1962,5	8,348	11,897	20,246	8,098
12	15,778	8,655	9,016	0,074	188400	1962,5	17,694	13,977	31,671	12,668
14	19,667	9,601	11,238	0,082	219800	1962,5	22,055	18,088	40,142	16,057
16	41,889	12,838	23,937	0,110	251200	1962,5	46,975	27,642	74,618	29,847
18	49,222	16,563	28,127	0,142	282600	1962,5	55,199	40,121	95,320	38,128
20	51,600	19,861	29,486	0,170	314000	1962,5	57,866	53,455	111,321	44,528

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi *Bored Pile* Metode Aoki De Alencar (1975)

Dept (m)	qca (base) (kg/cm ²)	qc (side) (kg/cm ²)	qp (kg/cm ²)	f (kg/cm ²)	As (cm ²)	Ap (cm ²)	Qp (ton)	Qs (ton)	Qu (ton)	Qall (ton)
2	15,111	16,182	4,317	0,069	31400	1962,5	8,473	2,178	10,651	4,260
4	7,556	13,773	2,159	0,059	62800	1962,5	4,237	3,707	7,943	3,177
6	4,889	11,098	1,397	0,048	94200	1962,5	2,741	4,481	7,222	2,889
8	4,667	9,460	1,333	0,041	125600	1962,5	2,617	5,092	7,709	3,084
10	7,444	8,841	2,127	0,038	157000	1962,5	4,174	5,949	10,123	4,049

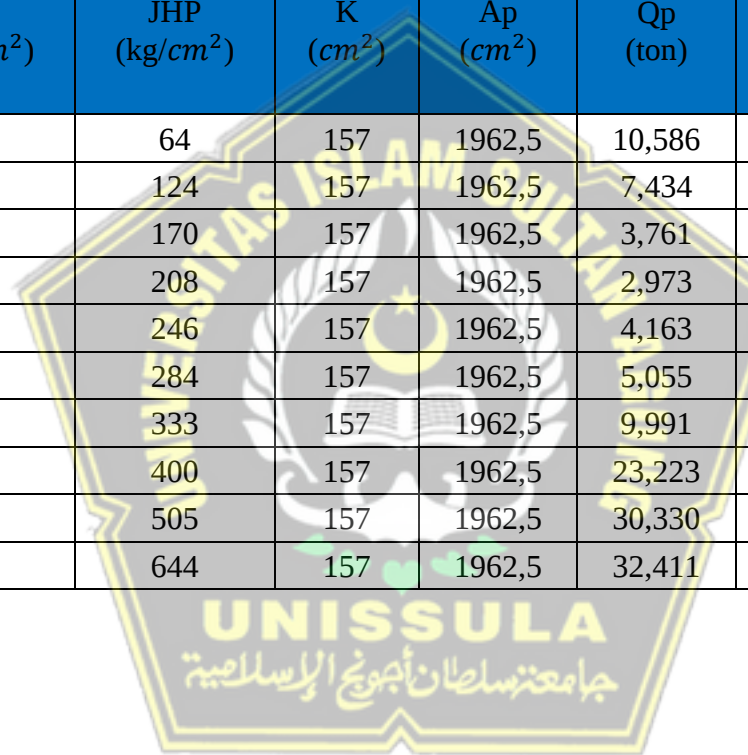
12	15,778	8,655	4,508	0,037	188400	1962,5	8,847	6,989	15,835	6,334
14	19,667	9,601	5,619	0,041	219800	1962,5	11,027	9,044	20,071	8,028
16	41,889	12,838	11,968	0,055	251200	1962,5	23,488	13,821	37,309	14,924
18	49,222	16,563	14,063	0,071	282600	1962,5	27,600	20,060	47,660	19,064
20	51,600	19,861	14,743	0,085	314000	1962,5	28,933	26,728	55,661	22,264

Tabel 4.18 Hasil Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang *Spun Pile* Metode Mayerhoff (1976)

Dept (m)	qc (kg/cm ²)	JHP (kg/cm ²)	K (cm ²)	Ap (cm ²)	Qp (ton)	Qs (ton)	Qall (ton)
2	16	64	157	1962,5	10,586	2,015	12,601
4	11	124	157	1962,5	7,434	3,894	11,327
6	6	170	157	1962,5	3,761	5,352	9,114
8	5	208	157	1962,5	2,973	6,533	9,506
10	6	246	157	1962,5	4,163	7,715	11,877
12	8	284	157	1962,5	5,055	8,932	13,987
14	15	333	157	1962,5	9,991	10,462	20,453
16	36	400	157	1962,5	23,223	12,549	35,772
18	46	505	157	1962,5	30,330	15,853	46,183
20	50	644	157	1962,5	32,411	20,215	52,626

Tabel 4.19 Hasil Daya Dukung Fondasi *Bored Pile* Metode Mayerhoff (1976)

Dept (m)	qc (kg/cm ²)	JHP (kg/cm ²)	K (cm ²)	Ap (cm ²)	Qp (ton)	Qs (ton)	Qall (ton)
2	16	64	157	1962,5	10,586	2,015	12,601
4	11	124	157	1962,5	7,434	3,894	11,327
6	6	170	157	1962,5	3,761	5,352	9,114
8	5	208	157	1962,5	2,973	6,533	9,506
10	6	246	157	1962,5	4,163	7,715	11,877
12	8	284	157	1962,5	5,055	8,932	13,987
14	15	333	157	1962,5	9,991	10,462	20,453
16	36	400	157	1962,5	23,223	12,549	35,772
18	46	505	157	1962,5	30,330	15,853	46,183
20	50	644	157	1962,5	32,411	20,215	52,626



4.7 Penurunan Fondasi Menggunakan Software PLAXIS 8.6

Software PLAXIS ini digunakan untuk membuat pemodelan fondasi untuk mengetahui besarnya penurunan fondasi akibat beban aksial yang diterima. Berikut adalah data yang digunakan untuk permodelan pada program plaxis untuk merencanakan fondasi dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Parameter Tanah

Dept (m)	Konsistensi	Klasifikasi NSPT	NSPT	Deskripsi	E (kN/m ²)	c (kN/m ²)	φ (phi)	k _x (m/s)	k _y (m/s)	V	γ unsat (kN/m ³)	γ sat (kN/m ³)
0-10	Sedang	4-8	8	Clay	8000	0,636	6,03	4,50E-03	4,50E-03	0,334	11,92	18,01
10-12	Kaku	8-15	9	Clay	9000	0,242	9,99	3,90E-04	3,90E-04	0,334	10,18	17,44
12-20	Sedang	4-8	4	Clay	4000	0,101	21,195	4,50E-03	4,50E-03	0,334	9,75	17,56
20-32	Kaku	8-15	15	Clay	15000	0,599	18,208	3,90E-04	3,90E-04	0,334	10,93	17,95
32-44	Sangat Kaku	15-30	28	Clay	28000	0,541	22,7	2,20E-05	2,20E-05	0,334	10,76	17,56
44-50	Keras	>30	41	Hard	41000	0,509	30,45	4,30E-05	4,30E-05	0,334	12,08	17,84

Untuk membuat permodelan fondasi pada plaxis V 8.6, digunakan data-data sebagai berikut :

$$E = 4700 \sqrt{fc} = 4700 \sqrt{24,9} = 23452952,91 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$I = \frac{1}{2} \times m \times d^4 = \frac{1}{2} \cdot 2400 \cdot 0,5^4 = 77 \text{ m}^4$$

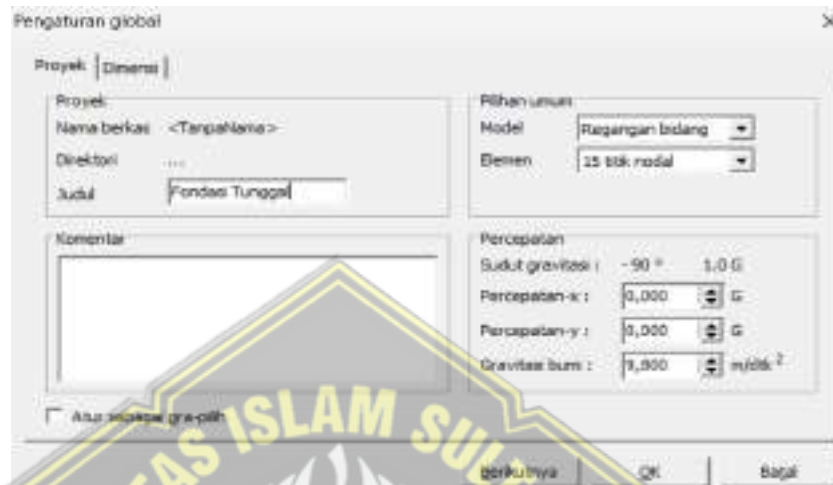
$$A = 0,196 \text{ m}^2$$

$$EA = 23452952,91 \times 0,196 = 4596778,77 \text{ kN/m}^2$$

$$EI = 23452952,91 \times 77 = 1805877374 \text{ kN/m}^2$$

❖ Berikut langkah-langkah untuk perhitungan fondasi tiang tunggal menggunakan *software* PLAXIS v.8.6 :

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



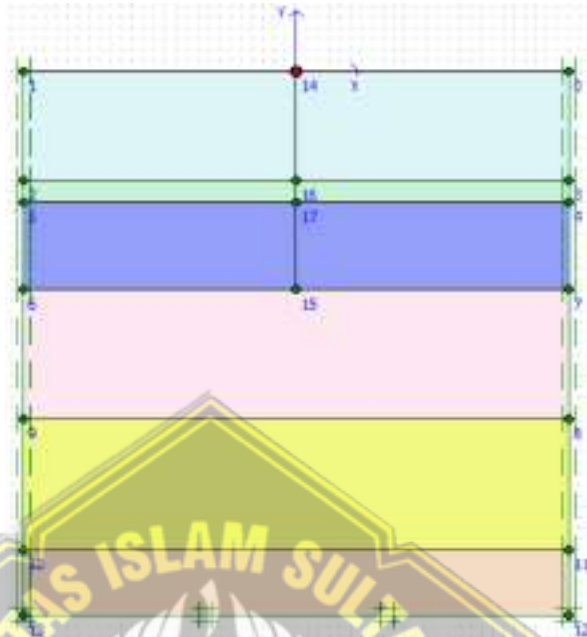
Gambar 4.6 Pengaturan *Global-Project*

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



Gambar 4.7 Pengaturan *Global-Project*

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



Gambar 4.8 Permodelan Kontur Tanah

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

Mohr-Coulomb - Clay (0-10)

Umum | Parameter | Antarmuka

Kumpulan material

Identifikasi: Clay (0-10)

Model material: Mohr-Coulomb

Jenis material: Tak terdrainase

Parameter umum

γ_{unsat} : 11,820 kN/m³

γ_{sat} : 18,010 kN/m³

Permeabilitas

k_x : 4,500E-03 m/hari

k_y : 4,500E-03 m/hari

Tingkat lanjut...

SoilTest | Berikutnya | OK | Batal

Gambar 4.9 Data Umum

Mohr-Coulomb - Clay (0-10)

Urutan: Parameter Antarmuka

Kolaborasi E_{ref} : 8000,000 kN/m ² ν (%) : 0,134	Kekakuan γ_{ref} : 0,636 kN/m ³ ϕ (°) : 8,000 ψ (°) : 0,000
Alternatif G_{ref} : 2000,001 kN/m ² E_{ref} : 1,303E+04 kN/m ²	Kecapstan V_a : 40,650 kN/m ³ V_p : 90,450 kN/m ³

Tinjau lanjut...

SoilTest Berhenti OK Batal

Gambar 4.10 *Mohr Coulomb*

Mohr-Coulomb - Clay (0-10)

Urutan: Parameter Antarmuka

☒ Kaku
☐ Plastis

E_{ref} : 1,000
 Nilai antarmuka antarmuka
 γ_{ref} : 0,000

SoilTest Berhenti OK Batal

Gambar 4.11 Dialog Muka Material Tanah

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

Sifat pelat

Kumpulan material

Identifikasi: Fondasi

Jenis material: Elastis

Komentar

Sifat-sifat

E_A : 4,603E+05 kN/m²
 E_I : 1,809E+03 kN/m²
 ϕ : 90,617
 ν : 0,000 kN/m²
 V : 0,000
 η_{10} : 1,000E+11 kN/m²
 η_{10} : 1,000E+11 kN/m²
 α Rayleigh : 0,000
 β Rayleigh : 0,000

OK Batal

Gambar 4.12 Data Material Fondasi

6. Kemudian klik  untuk menentukan fondasi yang telah ditentukan, seperti gambar 4.13. Setelah itu klik  untuk mengaktifkan tekanan positif dan negatif di daerah sekeliling fondasi sesuai gambar 4.14.



Gambar 4.13 Pemodelan Fondasi Tunggal

Gambar 4.14 Pemodelan Fondasi Tunggal dengan Mengaktifkan Tekanan Positif dan Negatif Disekeliling Fondasi

7. Selanjutnya klik  untuk memberi beban yang akan digunakan, beban yang digunakan sebesar $4531,8555 \text{ kN/m}^2$, sesuai gambar 4.15.

Beban terpusat - sistem beban A statis

Titik geometri 8

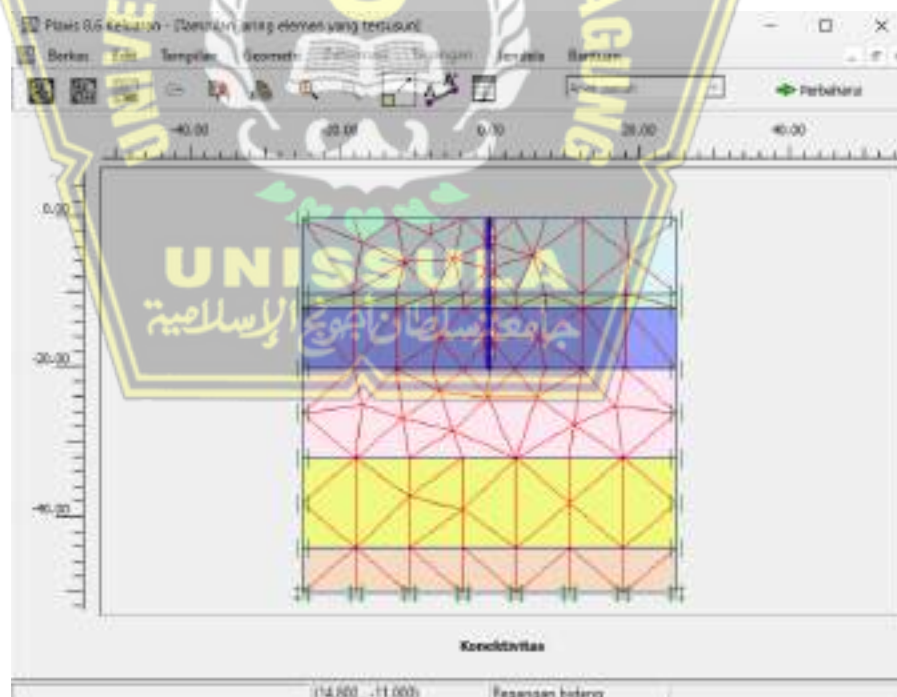
Nilai-X : kN/m

Nilai-Y : kN/m

OK Batalkan

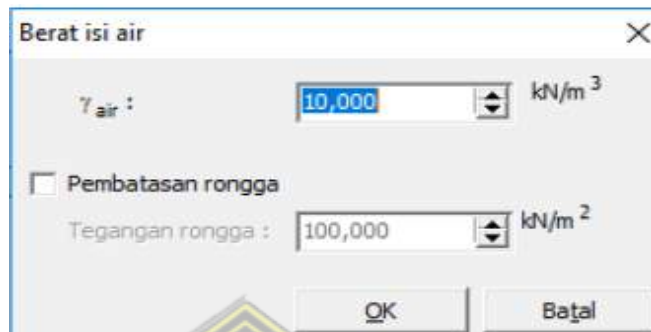
Gambar 4.15 Input Pembebanan

8. Lalu klik  untuk mengetahui susunan jaringan antara elemen, sesuai gambar 4.16.

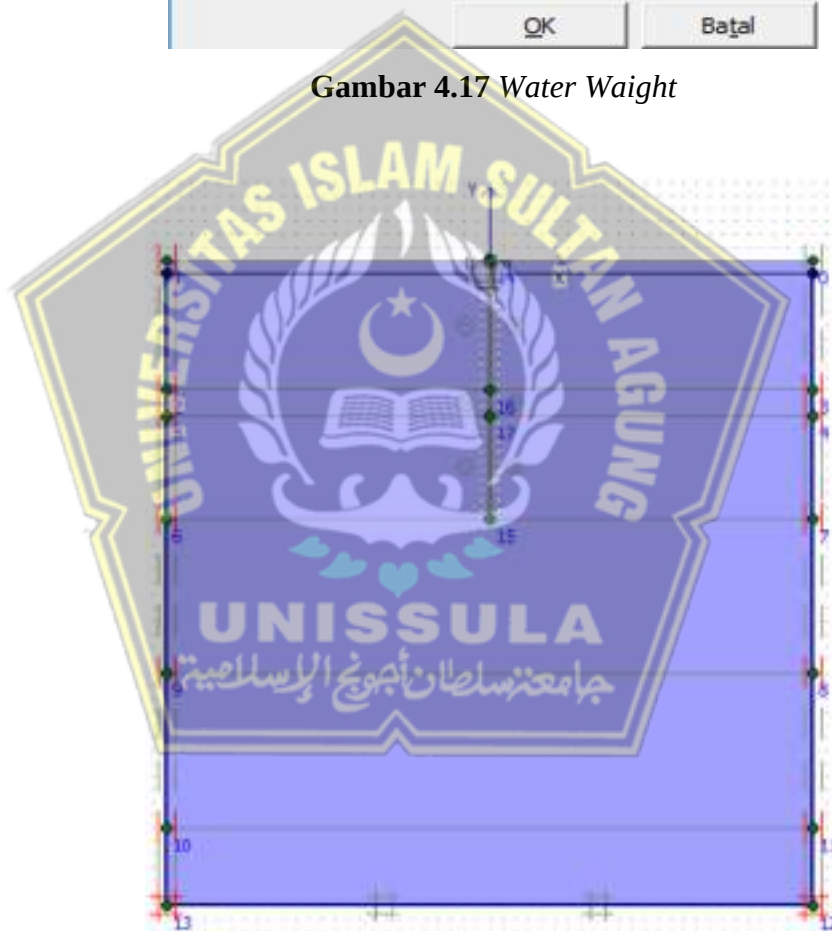


Gambar 4.16 Susunan Jaringan Elemen

9. Kemudian klik  yang ada pada *toolbar*, selanjutnya klik  untuk mengetahui berat isi air dan muka air tanah 1 m dibawah permukaan tanah, dapat dilihat pada gambar 4.17 dan gambar 4.18.

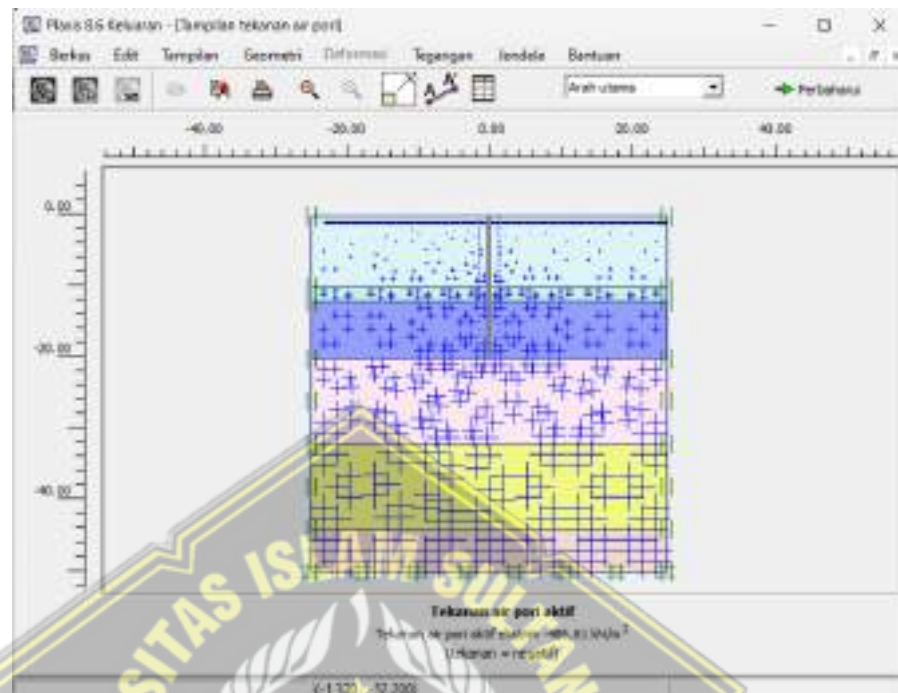


Gambar 4.17 Water Waight



Gambar 4.18 Muka Air Tanah

10. Kemudian klik  seperti gambar 4.19



Gambar 4.19 Tekanan Air Pori Aktif

11. Kemudian klik  lalu muncul prosedur K0 sesuai gambar 4.20. lalu klik  untuk mengetahui hasil dari perhitungan pemodelan menggunakan software PLAXIS v.8.6 dapat dilihat pada gambar 4.21.

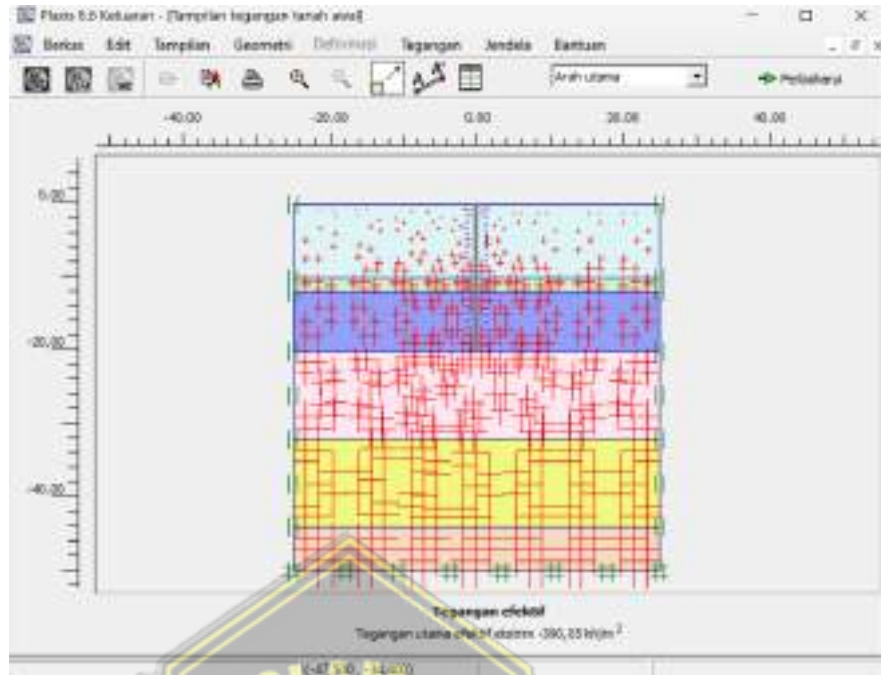
Prosedur-K0

IM-weight :

Klaster	Material	OCR	POP	K0
1	MC	N/A	N/A	0,493
2	MC	N/A	N/A	0,687
3	MC	N/A	N/A	0,708
4	MC	N/A	N/A	0,708
5	MC	N/A	N/A	0,708

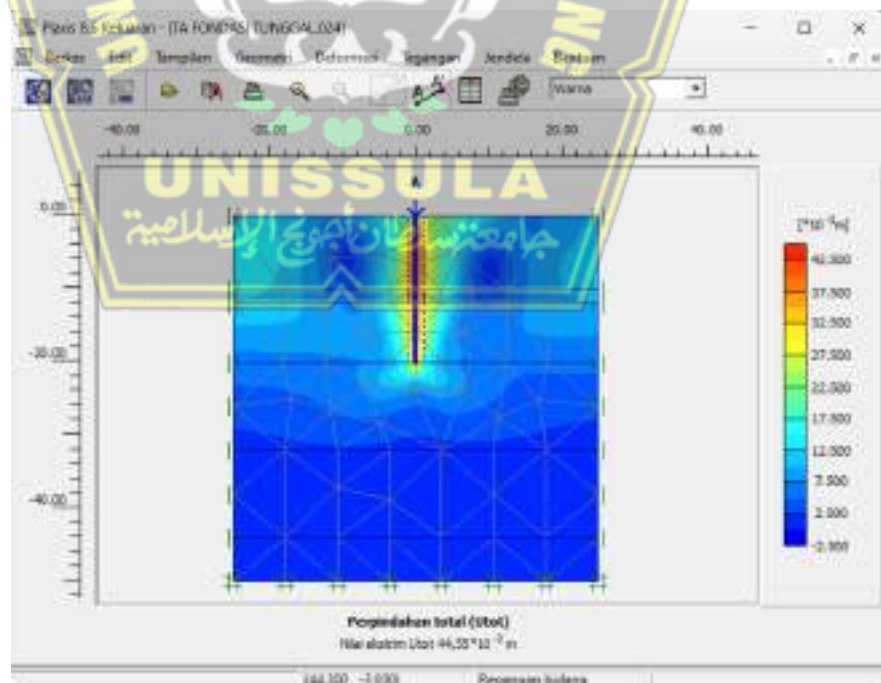
OK Batal

Gambar 4.20 Prosedur K0



Gambar 4.21 Tegangan Efektif Tanah

12. Hasil dari pemodelan *software* PLAXIS V 8.6 menghasilkan penurunan sebesar $44,55 \times 10^{-3}$ m atau 4,455 cm sesuai gambar 4.22.



Gambar 4.22 Deformasi Total yang Terjadi $44,55 \times 10^{-3}$ m

❖ Berikut langkah-langkah perhitungan penurunan fondasi kelompok tiang menggunakan *software* PLAXIS v.8.6.

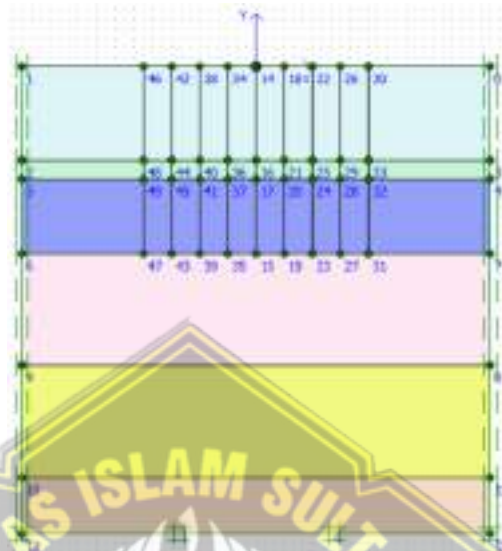
1. Tahapan pertama input data menggunakan *software* PLAXIS v.8.6 dengan menentukan judul dan satuan, sesuai gambar 4.23.

Gambar 4.23 Pengaturan *Global-Project*

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

Gambar 4.24 Pengaturan *Global-Project*

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



Gambar 4.25 Pemodelan Kontur Tanah

4. Kemudian klik  dan akan muncul dialog seperti gambar 4.26 sampai 4.28.

Mohr-Coulomb - Clay (0-10)

Urutan | Parameter | Antarmuka

Kumpulan material

Identifikasi: Clay (0-10)

Model material: Mohr-Coulomb

Jenis material: Tak terdrainase

Permeabilitas

k_h : 4,500E-03 m/hari

k_v : 4,500E-03 m/hari

Tingkat lanjut...

SoilTest | berikutnya | OK | batal

Gambar 4.26 Data Umum

Mohr-Coulomb - Clay (D-10)

Uraian	Parameter	Formulasi
Kekakuan	E_{sat}	8000,000 kg/m^2
	ν (nu)	0,334
Atraksi	G_{sat}	2998,303 kg/m^2
	E_{sat}	$1,303\text{E}+04$ kg/m^2
Kekompresian	V_p	-49,450 $\pm$ 0,008
	V_p	99,450 $\pm$ 0,008

Tampilkan hasil...

SalTest Berhenti OK Batal

Gambar 4.27 *Mohr Coulomb*

Mohr-Coulomb - Clay (D-10)

Uraian	Parameter	Formulasi
Kekakuan	E_{sat}	8000,000 kg/m^2
	ν (nu)	0,334
Atraksi	G_{sat}	2998,303 kg/m^2
	E_{sat}	$1,303\text{E}+04$ kg/m^2
Kekompresian	V_p	-49,450 $\pm$ 0,008
	V_p	99,450 $\pm$ 0,008

Tampilkan hasil...

SalTest Berhenti OK Batal

Gambar 4.28 Dialog Muka Material Pasir

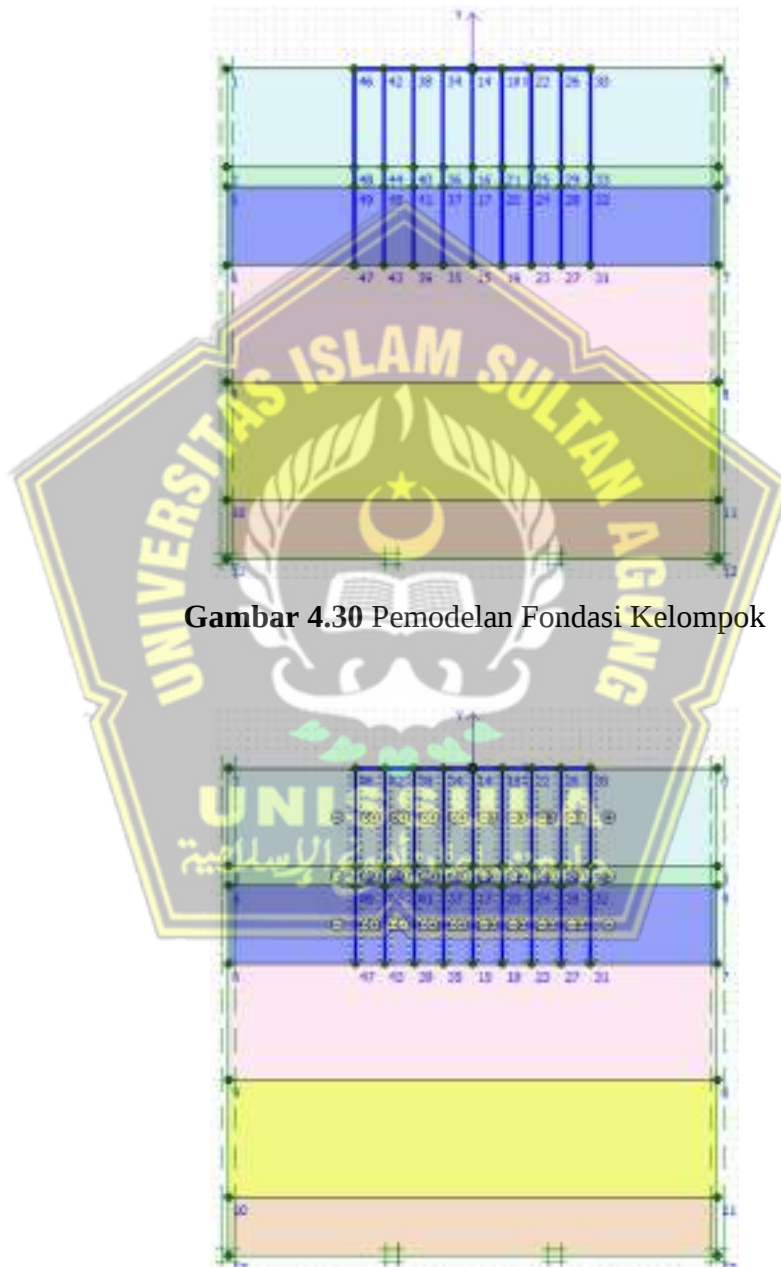
- Setelah input data material tanah, tahap selanjutnya input data material fondasi sesuai dengan yang direncanakan, sesuai gambar 4.29.

Sifat pelat

Kumpulan material	Sifat-sifat
Identifikasi: Fondasi	E_A : $4,603\text{E}+05$ kg/m^2
Jenis material: Elastis	E_I : $1,806\text{E}+09$ $\text{kg/m}^2/\text{m}$
Komentar	d : 98,617 m
	w : 0,000 $\text{kg/m}^2/\text{m}$
	V : 0,000
	H_p : $1,000\text{E}+11$ $\text{kg/m}^2/\text{m}$
	H_p : $1,000\text{E}+11$ $\text{kg/m}^2/\text{m}$
	α Rayleigh: 0,000
	β Rayleigh: 0,000
	OK
	Batal

Gambar 4.29 Data Material Fondasi

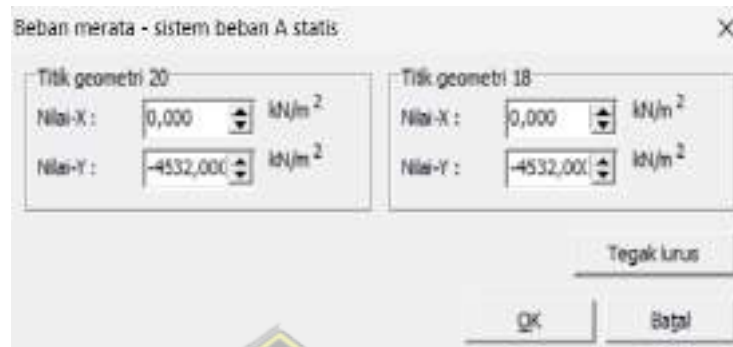
6. Kemudian klik  untuk menentukan fondasi yang sudah ditentukan, seperti pada gambar 4.30. Setelah itu klik  untuk menghasilkan tekanan positif dan negatif di daerah sekeliling fondasi sesuai gambar 4.31.



Gambar 4.30 Pemodelan Fondasi Kelompok

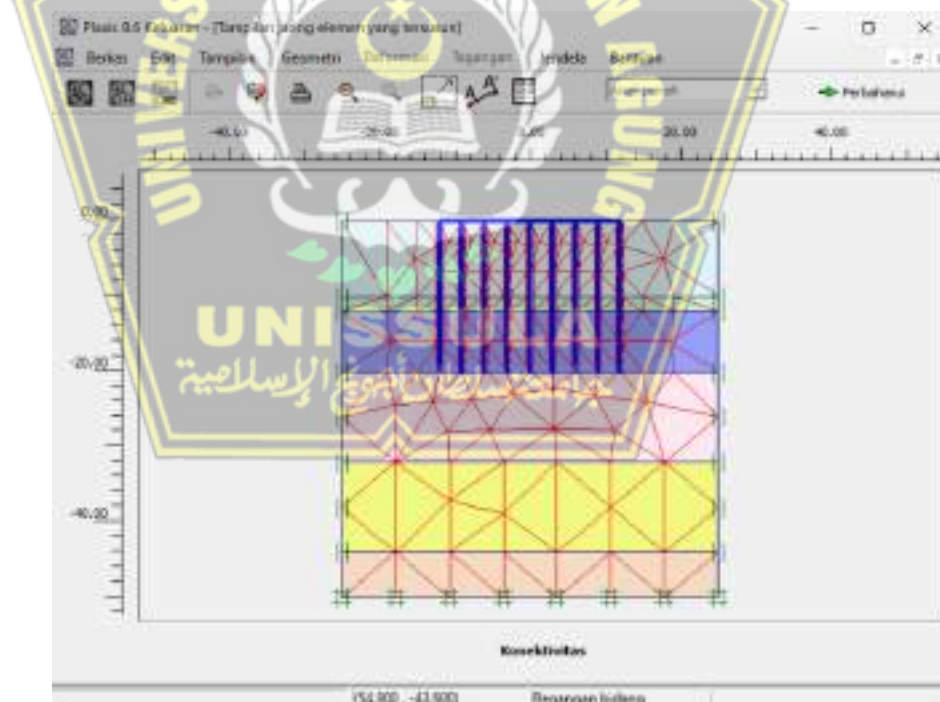
Gambar 4.31 Pemodelan Fondasi Kelompok dengan Mengaktifkan Tekanan Positif dan Negatif Disekeliling Fondasi

7. Setelah itu klik  untuk mengisi beban dari beban bangunan, beban yang digunakan sebesar $4531,8555 \text{ kN/m}^2$, sesuai gambar 4.32.



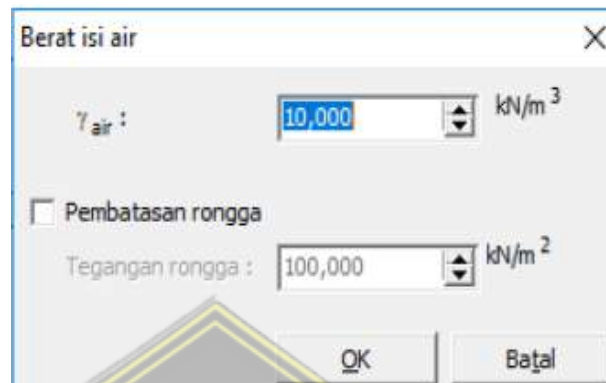
Gambar 4.32 Point Load

8. Kemudian klik  untuk mengetahui susunan jaringan elemen, sesuai pada gambar 4.33.

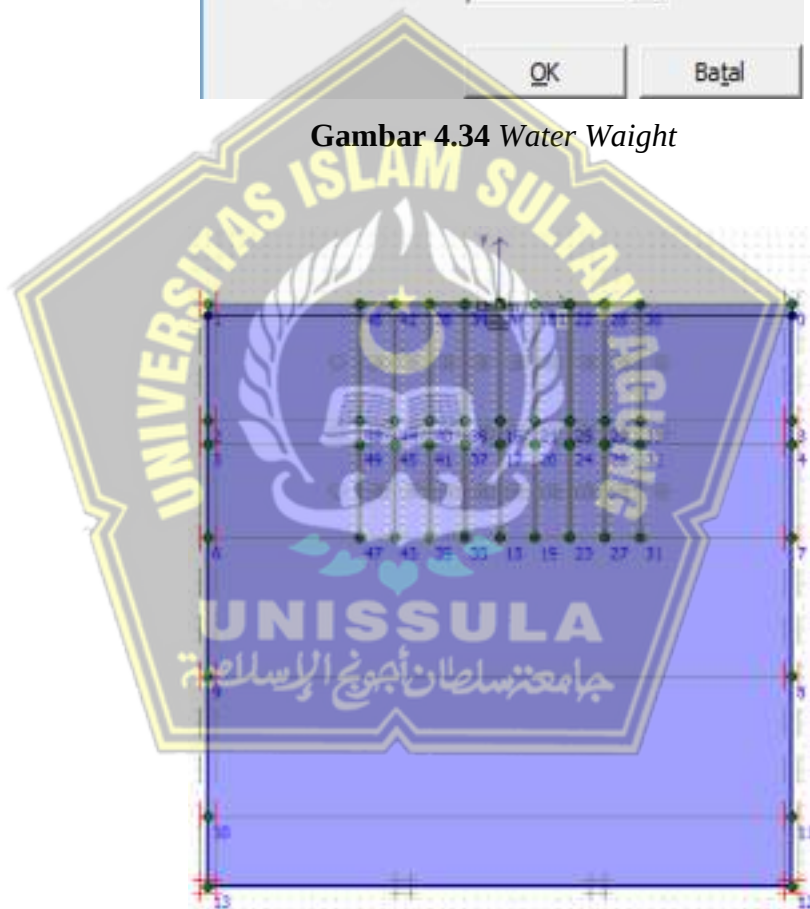


Gambar 4.33 Susunan Jaringan Elemen

9. Kemudian klik  yang ada di *toolbar*, kemudian klik  untuk mengetahui berat isi dan muka air tanah yang berada dikedalaman 1 meter dibawah permukaan tanah sesuai gambar 4.34 dan 4.35.

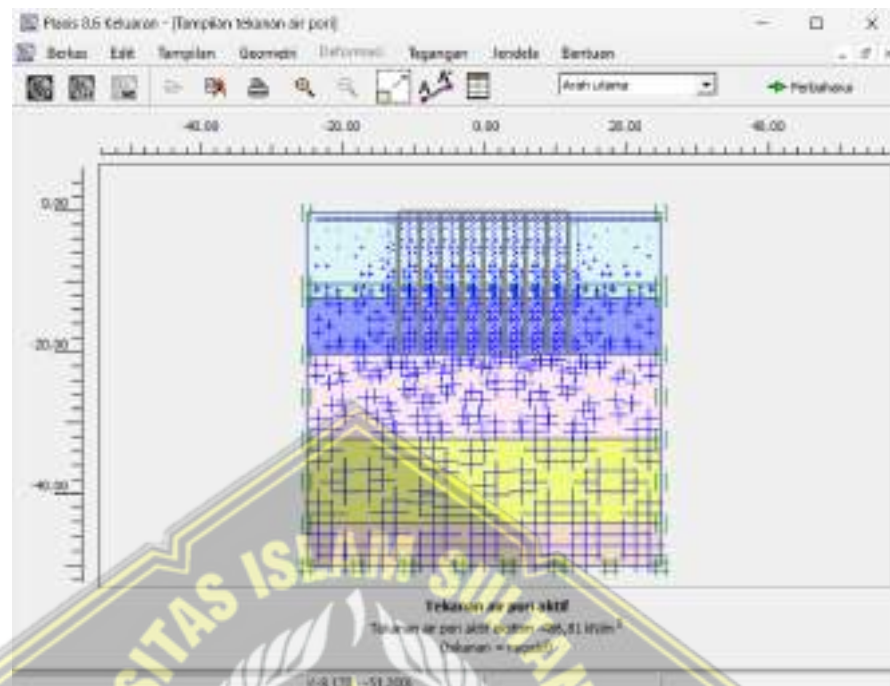


Gambar 4.34 Water Waight



Gambar 4.35 Muka Air Tanah

10. Kemudian klik  maka akan muncul sesuai gambar 4.36.



Gambar 4.36 Tekanan Air Pori Aktif

11. Kemudian klik  lalu muncul prosedur K0 sesuai gambar 4.37. lalu klik  untuk mengetahui hasil dari perhitungan pemodelan menggunakan software PLAXIS v.8.6 dapat dilihat pada gambar 4.38.

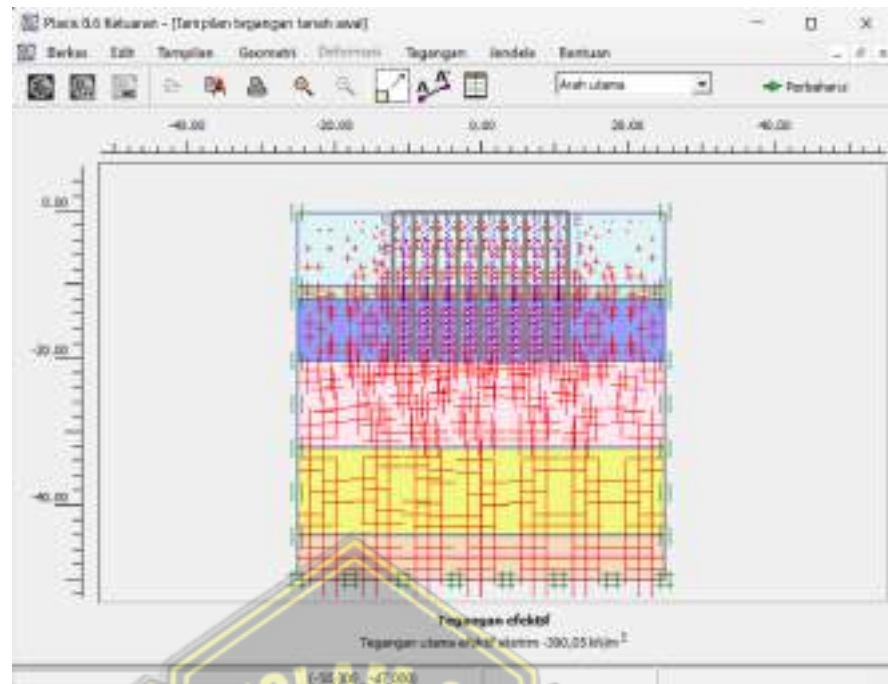
Prosedur-K0

EM-weight : 1.000

Klaster	Material	OCR	POP	K0
1	MC	N/A	N/A	0,493
2	MC	N/A	N/A	0,687
3	MC	N/A	N/A	0,708
4	MC	N/A	N/A	0,708
5	MC	N/A	N/A	0,708

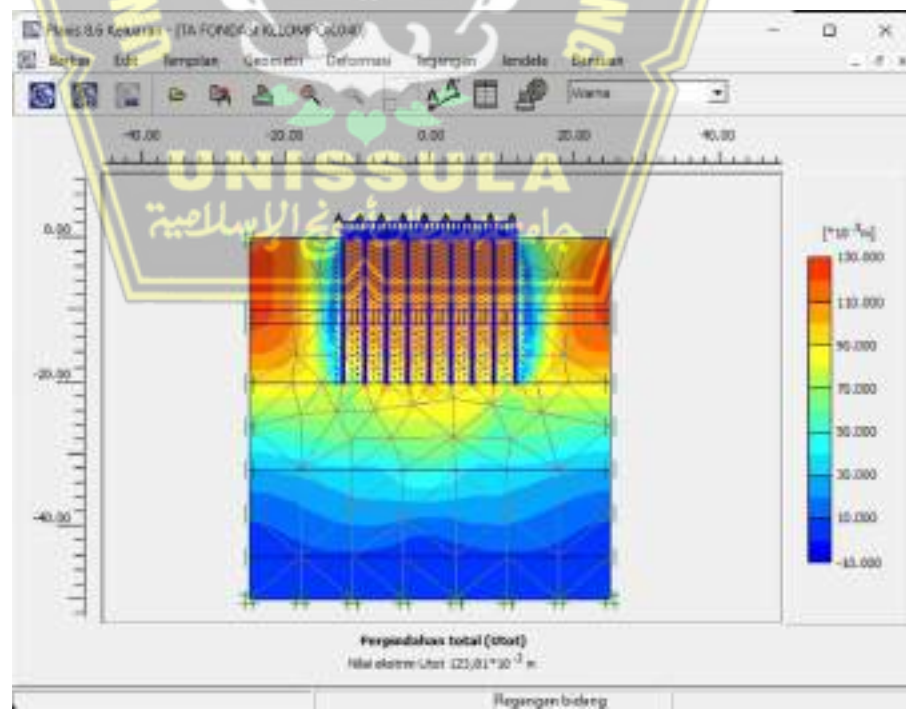
OK Batalkan

Gambar 4.37 Prosedur K0



Gambar 4.38 Tegangan Efektif Tanah

12. Hasil dari pemodelan *software* PLAXIS V 8.6 menghasilkan penurunan sebesar $123,81 \times 10^{-3}$ m atau 12,381 cm sesuai gambar 4.39.



Gambar 4.39 Deformasi Total yang Terjadi $123,81 \times 10^{-3}$ m

4.8 Pembahasan

4.8.1 Perhitungan Daya Dukung Fondasi

Hasil dari perhitungan daya dukung fondasi tunggal menggunakan metode Aoki De Alencar dan metode Mayerhoff seperti yang terlihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Perbandingan Perhitungan Daya Dukung Fondasi Tunggal

No.	Fondasi	Aoki De Alencar (ton)	Mayerhoff (ton)
1.	Tiang Pancang <i>Spun Pile</i>	44,528	52,626
2.	<i>Bored Pile</i>	22,264	52,626

Dari tabel 4.21 diperoleh daya dukung fondasi tunggal *bored pile* lebih kecil dibandingkan daya dukung fondasi tunggal *spun pile* karena nilai faktor koefisien empiric fondasi *bored pile* lebih besar dari fondasi *spun pile*.

Hasil dari perhitungan daya dukung fondasi kelompok dengan jumlah sebanyak 9 tiang menggunakan metode Converse-Labarre dan metode Broms seperti yang terlihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Perbandingan Perhitungan Daya Dukung Fondasi Kelompok

No.	Daya Dukung Kelompok	Metode	Fondasi <i>Spun Pile</i>	Fondasi <i>Bored Pile</i>
1.	Aksial (9 tiang)	Converse-Labarre	608,146 ton	468,71 ton
2.	Lateral (9 tiang)	Broms	292,875 ton	190,79 ton

Dari tabel 4.22 diperoleh daya dukung aksial dan lateral fondasi *bored pile* dengan jumlah 9 tiang lebih kecil dibandingkan daya dukung aksial dan lateral fondasi *spun pile* dengan jumlah 9 tiang karena nilai faktor koefisien empiric fondasi *bored pile* lebih besar dari fondasi *spun pile*.

4.8.2 Perhitungan Penurunan

Berikut adalah perbandingan perhitungan penurunan fondasi tiang pancang *spun pile*, *bored pile*, dan *plaxis* seperti yang terlihat pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Perbandingan Perhitungan Penurunan Fondasi

No.	Perhitungan	Tunggal (cm)	Kelompok (cm)
1.	Tiang Pancang <i>Spun Pile</i>	2,15	5,933
2.	<i>Bored Pile</i>	3,33	9,171
3.	Plaxis	4,455	12,381

Dari tabel 4.23 penurunan fondasi tiang pancang *spun pile* lebih kecil dari *bored pile* ini dikarenakan daya dukung aksial fondasi tiang pancang *spun pile* lebih besar dari pada *bored pile*.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil analisis proyek pembangunan Jembatan Pelangi Sungai Bringin dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan pembebanan jembatan menggunakan *software* SAP2000 V.14, didapatkan hasil beban maksimal yang terjadi sebesar 4531,8555 kN.
2. Perhitungan tiang pancang *spun pile* dan *bored pile* dengan diameter 50 cm kedalaman fondasi 20 m. Hasil perhitungan daya dukung fondasi secara manual untuk fondasi tiang pancang *spun pile* dengan metode Aoki De Alencar mendapatkan hasil sebesar 44,528 ton sedangkan menggunakan metode Mayerhoff mendapatkan hasil sebesar 52,626 ton. Hasil perhitungan daya dukung fondasi secara manual untuk fondasi *bored pile* dengan metode Aoki De Alencar mendapatkan hasil sebesar 22,264 ton sedangkan menggunakan metode Mayerhoff mendapatkan hasil sebesar 52,626 ton.
3. Hasil perhitungan penurunan yang terjadi pada fondasi tiang pancang *spun pile* tunggal sebesar 2,15 cm, sedangkan untuk penurunan fondasi *spun pile* kelompok sebesar 5,933 cm. Untuk hasil perhitungan penurunan yang terjadi pada fondasi *bored pile* tunggal sebesar 3,33 cm, sedangkan untuk penurunan fondasi *bored pile* kelompok sebesar 9,171 cm. Hasil dari perhitungan penurunan menggunakan *software* PLAXIS v.8.6 didapat nilai penurunan fondasi tunggal sebesar 4,455 cm, sedangkan penurunan fondasi kelompok sebesar 12,381 cm. Dengan waktu penurunan yang akan terjadi selama 4,089 tahun.

5.2 Saran

1. Untuk menghitung fondasi grup tiang bisa divariasikan dengan bervariasi jenis fondasi terhadap daya dukung dan penurunan tanah.
2. Untuk validasi dan penurunan fondasi bisa menggunakan aplikasi *Allpile*.
3. Konfigurasi fondasi terhadap daya dukung bisa bervariasi lagi dengan menggunakan fondasi jenis lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bogeman, M. L. (1965). Teknologi Mekanika. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J. E. (1997). Analisis Dan Desain Fondasi Jilid 2. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J. E. (1998). Analisa dan Desain Fondasi : Edisi Keempat Jilid II, Erlangga, Jakarta.
- Bowles, J. E., & Henlim, J. K. (1991). Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah). Jakarta: PT . Erlangga.
- Broms. 1964. "Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soil."
- Craig, R. F. (1991). Mekanika Tanah. Jakarta: PT. Erlangga.
- Das, B. M. (2011). Principle Of Foundastion Engineering, edisi 7. Cengage Laerning, Stamford USA.
- Feri, F., Yosef Cahyo S. P., Ahmad Ridwan A. (2018). Study Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Jembatan Sembayat Baru II Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik. Gresik.
- Gunawan, R. (1990). Pengantar Teknik Fondasi. Yogyakarta: Kanisius.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). Mekanika Tanah I Edisis 3. Jakarta: PT. Gramedia Pusat Utara,
- Jusi, U. (2015). Analisa Kuat Dukung Fondasi Bored Pile Berdasarkan Data Pengujian Lapangan. Jurnal Teknik Sipil Siklus. pp. 50-82.
- L.D. Wesley. 1972. *Mekanika Tanah*. yogyakarta: ANDI.
- Mayerhoff, G. G. (1965). Shallow Foundation. Journal Of The Soil Mechanics And Foundations Devision. ASCE. Vol. 91. No. SM2. pp 21-23.
- Pagehgiri, J. (2015). Analisis Penggunaan Fondasi Tiang pancang persegi dan Fondasi Bored Pile Terhadap Biaya dan Waktu Pelaksanaan Pembangunann Ruang Kelas SMPN 10 Denpasar. Jurnal Teknik Sipil. Surabaya: Untag.
- Pamungkas, E. T., Gardjito, E., Winarto, S., & Azhari, F. M., (2021). Meningkatkan Daya Dukung Tanah dengan Fondasi Tiang pancang persegi Pada Gedung PT. Maju Jaya Kecamatan Ngasem, Kab. Kediri. Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil.
- Pratikso. (2017). Mekanika Tanah I. Semarang: UNISSULA PRESS.
- Sosrodarsono. 1990. Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi. Jakarta: PT Pradnya

Paramita.

Tomlinson, M., and Woodward, J. 2015. *Pile Design Construction Practice 6 th ed.*

CRC Pres Taylor & Francis Group A Spon Press Book. Landen, New York.

Vesic. 1977. "Design Of Pile Foundations." *Transportation Research Board*

National Academy Of Sciences.

