

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PERBANDINGAN DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN
FONDASI TIANG PANCANG DENGAN *BORED PILE* PADA
PROYEK JEMBATAN KALIBANGER SEMARANG**

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



Disusun Oleh :

**Muhammad Iqbal
NIM : 30201900142**

**Muhammad Irfan Efendi
NIM : 30201900144**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PERBANDINGAN DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI TIANG PANCANG DENGAN *BORED PILE* PADA PROYEK JEMBATAN KALIBANGER SEMARANG



Muhammad Iqbal
NIM : 30201900142



Muhammad Irfan Efendi
NIM : 30201900144

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Juli 2023

Tim Penguji

1. **Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D**
NIDN: 0627115501
2. **Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si., M.Si**
NIDN: 0631057002
3. **Dr. Abdul Rochim, ST., MT.**
NIDN: 060867601

Tanda Tangan

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: 53/A.2/SA-T/III/2023

Pada hari ini tanggal 16 Maret 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 : Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si., M.Si.
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Muhammad Iqbal
NIM : 30201900142

Muhammad Irfan Efendi
NIM : 30201900144

Judul : Analisis Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang dengan *Bored Pile* pada Proyek Jembatan Kalibanger Semarang.

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	08/03/2023	ACC
2	Seminar Proposal	18/04/2023	ACC
3	Pengumpulan data	05/06/2023	ACC
4	Analisis data	10/06/2023	ACC
5	Penyusunan laporan	14/07/2023	ACC
6	Selesai laporan	26/07/2023	ACC

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

Dosen Pembimbing Utama

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

Dosen Pembimbing Pendamping

Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si., M.Si.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Muhammad Iqbal

NIM : 30201900142

NAMA : Muhammad Irfan Efendi

NIM : 30201900144

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : **"ANALISIS PERBANDINGAN DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI TIANG PANCANG DENGAN *BORED PILE* PADA PROYEK JEMBATAN KALIBANGER SEMARANG"** benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Muhammad Iqbal
NIM : 30201900142

NAMA : Muhammad Irfan Efendi
NIM : 30201900144

JUDUL : Analisis Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang dengan *Bored Pile* pada Proyek Jembatan Kalibanger Semarang.

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, __/__/__
Yang membuat pernyataan,

The block contains two handwritten signatures. The signature on the left is for Muhammad Iqbal, and the signature on the right is for Muhammad Irfan Efendi. Between the signatures is a red 10,000 Rupiah stamp with the serial number FC7B7AKX397597459. The background of the page features a large, faint watermark of the Universitas Islam Sultan Agung logo.

Muhammad Iqbal
NIM : 30201900142

Muhammad Irfan Efendi
NIM : 30201900144

MOTTO

1. Kamu adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada ma'ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka, di antara mereka ada yang beriman, dan kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik. **(QS. Ali'Imran : 110)**
2. Wahai orang – orang yang beriman! Apabila dikatakan kepadamu, “Berilah kelapangan didalam majelis – majelis”, maka lapangkanlah, niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu. Dan apabila dikatakan “Berdirilah kamu”, maka berdirilah, niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang – orang yang beriman di antaramu dan orang – orang yang diberi ilmu beberapa derajat. Dan Allah meneliti apa yang kamu kerjakan. **(QS. Mujadilah : 11)**
3. Belajarlah kamu semua, dan mengajarlah kamu semua, dan hormati guru – guru mu, serta berlaku baiklah terhadap oran yang mengajarkanmu. **(HR. Thabrani)**
4. Siapa yang menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan mudahkan baginya jalan menuju surga. **(HR. Muslim : 2699)**
5. Ilmu itu dimiliki dengan lidah yang banyak bertanya dan akal yang rajin untuk gemar memikirkan. **(Abdullah Ibnu Abbas)**
6. Usaha dan keberanian tidak cukup tanpa adanya tujuan dan arah perencanaan. **(John F. Kennedy)**
7. Orang yang meraih kesuksesan tidak selalu orang pintar, orang yang selalu meraih kesuksesan ialah orang yang gigih dan pantang menyerah.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya, bapak Agus Romadhon dan ibu Daryati, yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat, do'a dan pendidikan mental untuk berusaha mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat.
2. Dosen – dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan saya tentang ilmu – ilmu keteknikan yang sebelumnya saya tidak ketahui dan selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya.
3. Muhammad Irfan Efendi selaku rekan yang telah bekerja keras dan berjuang bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Saudara sekaligus teman saya Hayu Arif W. yang selalu memberi bantuan saat diperlukan.
5. Teman – teman main saya : Dony Wahyu Atmaja, Dhimas Ari, Riko Cahyono, Perdana Aditya, Afif Haidil Alim dan lainnya yang telah menemani saya selama beberapa tahun ini, memberikan semangat, motivasi dan membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Teman – teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2019 dan yang lainnya yang tidak saya sebutkan satu persatu. Terimakasih untuk kebersamaan kita selama 4 tahun ini, terimakasih atas doa, semangat dan motivasi kalian.

Muhammad Iqbal
NIM : 30201900142

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kepada ayah saya Mausiap dan ibu saya Zumrotun yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat, do'a dan Pendidikan mental untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat.
2. Dosen – dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan saya tentang ilmu – ilmu keteknikan yang sebelumnya saya tidak ketahui dan selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya.
3. Muhammad Iqbal selaku rekan yang telah bekerja keras dan berjuang Bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Saudara saya Wachidatul Fitriyah S.sos, Ali Murtado dan saudara yang lainnya yang tidak saya sebutkan satu persatu, terima kasih telah memberi dukungan, semangat dan do'a selama menyelesaikan tugas akhir.
5. Teman – teman belajar dan main selama perkuliahan : Umi Marifah, Zella Famelia S.E, Muhammad Bari' Chabanto, Fiqqy Renaldho Sya'bannas dan teman satu Kost Las Vegas yang telah membantu saya selama masa kuliah, memberikan semangat, motivasi dan membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Teman – teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2019 dan yang lainnya yang tidak saya sebutkan satu persatu. Terimakasih untuk kebersamaan kita selama 4 tahun ini, terimakasih atas doa, semangat dan motivasi kalian

Muhammad Irfan Efendi
NIM : 30201900144

KATA PENGANTAR

Contoh mukadimah dalam kata pengantar yang dapat digunakan. Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul ANALISIS PERBANDINGAN DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI TIANG PANCANG DENGAN *BORED PILE* PADA PROYEK JEMBATAN KALIBANGER SEMARANG, guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

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

1. Yth. Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik UNISSULA.
2. Yth. Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Yth. Prof. Ir. H. Pratikso, MST., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
4. Yth. Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

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

Semarang, Juli 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xvi
ABSTRAK	xix
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.5.1. Manfaat Secara Teoritis	4
1.5.2. Manfaat Secara Praktis	4
1.6. Keaslian Penulisan	5
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 13
2.1. Tanah Untuk Pendukung Fondasi	13
2.1.1. Parameter Tanah.....	13
2.1.2. <i>Modulus Young</i>	15
2.1.3. <i>Poisson Ratio</i>	16
2.1.4. Sudut Geser Dalam	16
2.1.5. Kohesi	17
2.2. Fondasi	17
2.3. Klasifikasi Fondasi	18
2.3.1. Fondasi Pile Cap	18
2.3.2. Fondasi Dalam	19
2.4. Pembebanan	23
2.5. Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal (<i>Single Pile</i>)	24
2.5.1. Perhitungan Daya Dukung Ujung Tiang Metode <i>Meyerhoff (1956)</i>	24
2.5.2. Perhitungan Daya Dukung Ujung Tiang Metode <i>Reese & Wright (1977)</i>	25
2.5.3. Perhitungan Daya Dukung Friksi Tiang Metode <i>Meyerhof (1956)</i>	25
2.5.4. Perhitungan Daya Dukung Friksi Tiang Metode <i>Reese & Wright (1977)</i>	27
2.5.5. Perhitungan Daya Dukung Ultimit Fondasi	29
2.6. Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang (<i>Pile Group</i>)	29
2.6.1. Menentukan Jumlah Tiang dalam Satu Kelompok	30

2.6.2. Menentukan Jarak Antar Tiang dalam Satu Kelompok	30
2.7. Perhitungan Daya Dukung Lateral Tiang Metode <i>Brooms</i>	31
2.7.1. Cek Kekuatan Tiang Akibat Beban Lateral	32
2.7.2. Cek Keruntuhan Tanah Akibat Beban Lateral	33
2.7.3. Cek Nilai H_u	33
2.8. Penurunan Elastis Tiang Tunggal Menurut <i>Vesic (1977)</i>	34
2.9. Penurunan Tiang Kelompok Menurut <i>Vesic (1977)</i>	37
2.10. Faktor Keamanan	37
2.11. Pemodelan Menggunakan <i>Software</i>	38
2.11.1. <i>Software</i> SAP2000 V14	39
2.11.2. <i>Software</i> PLAXIS V8.6	39
 BAB III METODOLOGI.....	40
3.1. Pengumpulan Data	40
3.2. Data Proyek	40
3.2.1. Data Umum Proyek	40
3.2.2. Data Laboratorium	41
3.2.3. Data Teknis Proyek	42
3.3. Tahapan Penelitian	42
 BAB IV ANALISA DAN PERHITUNGAN	47
4.1. Tinjauan Umum	47
4.2. Permodelan Struktur Atas Menggunakan SAP2000 V14	48
4.3. Kriteria Desain Permodelan Struktur	49
4.4. Pembebanan Struktur	49
4.4.1. Beban Mati (<i>Dead Load</i>)	49
4.4.2. Beban Lajur Lalu Lintas	50
4.4.3. Beban Gempa (<i>Seismic</i>)	52
4.5. Analisa Daya Dukung Aksial Fondasi Tiang Pancang (<i>Spun Pile</i>)	54
4.5.1. Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal Fondasi Tiang Pancang (<i>Spun Pile</i>) Metode <i>Meyerhoff (1956)</i>	55
4.5.2. Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal Fondasi Tiang Pancang (<i>Spun Pile</i>) Metode <i>Reese & Wright (1997)</i>	56
4.6. Analisa Daya Dukung Aksial Fondasi <i>Bored Pile</i>	59
4.6.1. Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal Fondasi <i>Bored Pile</i> Metode <i>Meyerhoff (1956)</i>	60
4.6.2. Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal Fondasi <i>Bored Pile</i> Metode <i>Reese & Wright (1997)</i>	61
4.7. Analisa Daya Dukung Kelompok Tiang (<i>Pile Group</i>) Fondasi Tiang Pancang (<i>Spun Pile</i>)	67
4.7.1. Analisa Jarak Antar Fondasi Tiang Pancang dan Jarak As ke Tepi	67
4.7.2. Kebutuhan Jumlah Tiang Kelompok Fondasi Tiang Pancang.....	67
4.7.3. Perhitungan <i>Pile Cap</i> Fondasi Tiang Pancang (<i>Spun Pile</i>).....	68
4.7.4. Kapasitas Daya Dukung Tiang Kelompok Fondasi Tiang Pancang (<i>Spun Pile</i>)	68
4.8. Analisa Daya Dukung Kelompok Tiang (<i>Pile Group</i>) Fondasi <i>Bored Pile</i>	69
4.8.1. Analisa Jarak Antar Fondasi <i>Bored Pile</i> dan Jarak As ke Tepi	69
4.8.2. Kebutuhan Jumlah Tiang Kelompok Fondasi <i>Bored Pile</i>	70

4.8.3. Perhitungan <i>Pile Cap</i> Fondasi <i>Bored Pile</i>	70
4.8.4. Kapasitas Daya Dukung Tiang Kelompok Fondasi <i>Bored Pile</i>	71
4.9. Perhitungan Daya Dukung Lateral Tiang Metode <i>Brooms</i>	72
4.9.1. Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Terhadap Gaya Lateral	72
4.9.2. Daya Dukung Fondasi <i>Bored Pile</i> Terhadap Gaya Lateral	75
4.10. Penurunan Fondasi	78
4.10.1. Analisa Penurunan Pada Fondasi Tiang Pancang (<i>Spun Pile</i>)	78
4.10.2. Penurunan Elastis Pada Fondasi Tiang Pancang (<i>Spun Pile</i>) Kelompok (<i>Pile Group</i>)	80
4.10.3. Analisa Penurunan Pada Fondasi <i>Bored Pile</i>	80
4.10.4. Penurunan Elastis Pada Fondasi <i>Bored Pile</i> Kelompok (<i>Pile Group</i>)....	82
4.11. Menganalisa Permodelan Pada Program PLAXIS V8.6	83
4.12. Hasil dan Pembahasan	97
 BAB V KESIMPULAN	 101
5.1. Kesimpulan	102
5.2. Saran	103
DAFTAR PUSTAKA	105
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Penelitian Yang Terkait	6
Tabel 1.2. Rencana Penelitian	11
Tabel 2.1. Parameter Sondir	14
Tabel 2.2. Hubungan Antara Konsistensi dengan Tekanan Conus	14
Tabel 2.3. Hubungan Antara Kepadatan dengan <i>Relative Density</i>	15
Tabel 2.4. Nilai <i>Modulus Young</i>	15
Tabel 2.5. Jenis Tanah dan Nilai <i>Poisson Ratio</i>	16
Tabel 2.6. Hubungan Antar Sudut Geser Dalam dan Jenis Tanah.....	16
Tabel 2.7. Nilai-nilai n_h Untuk Tanah Granular	32
Tabel 2.8. Nilai-nilai n_h Untuk Tanah Kohesif	33
Tabel 2.9. Koefisien Empiris	36
Tabel 2.10. Jenis Tanah dan Nilai <i>Poisson's Ratio</i>	36
Tabel 2.11. Fakor Kemanan yang disarankan.....	38
Tabel 4.1. Beban Mati Pada Lantai 2 dan Lantai 3	49
Tabel 4.2. Beban Lajur Lalu Lintas Rencana	50
Tabel 4.3. Faktor Beban Untuk Beban Lajur	51
Tabel 4.4. Klasifikasi Jalan	52
Tabel 4.5. Faktor Akibat Gempa	52
Tabel 4.6. Beban dan Perkiraan Tipe Fondasi Rencana	53
Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi <i>Spun Pile</i> metode <i>Meyerhoff (1956)</i>	65
Tabel 4.8. Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi <i>Spun Pile</i> metode <i>Reese & Wright (1977)</i>	65
Tabel 4.9. Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi <i>Bored Pile</i> metode <i>Meyerhoff (1956)</i>	66
Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi <i>Bored Pile</i> Metode <i>Reese & Wright (1977)</i>	66
Tabel 4.11. Parameter Tanah PLAXIS	83
Tabel 4.12. Hasil Pembebanan Struktur.....	98
Tabel 4.13. Hasil Daya Dukung Tiang Tunggal	98
Tabel 4.14. Hasil Daya Dukung Tiang Kelompok.....	99
Tabel 4.15. Hasil Daya Dukung Lateral.....	99
Tabel 4.16. Hasil Penurunan Tiang Fondasi	100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Jenis Fondasi Memanjang	18
Gambar 2.2. Jenis Fondasi Sumuran	19
Gambar 2.3. Jenis Fondasi Tiang Pancang	20
Gambar 2.4. Jenis Fondasi Spun Pile	21
Gambar 2.5. Jenis Fondasi Bored Pile	22
Gambar 2.6. Tahanan Ujung Ultimit pada Tanah Non-kohefif	26
Gambar 2.7. Faktor Adhesi	28
Gambar 2.8. Hitungan Efisiensi dalam Jarak S	29
Gambar 2.9. Jarak Kelompok Tiang	30
Gambar 2.10. Grafik Angka Tahanan Momen Ultimit	34
Gambar 2.11. Jenis Distribusi Tahanan Selimut Sepanjang Tiang	35
Gambar 2.12. Tampilan <i>Software</i> SAP2000	39
Gambar 2.13. Tampilan <i>Software</i> PLAXIS V8.6	39
Gambar 3.1. Layout Lokasi Proyek Jembatan Kalibanger	40
Gambar 3.2. Data Penyelidikan Tanah	41
Gambar 3.3. Diagram Alir Pelaksanaan	46
Gambar 4.1. Pemodelan Struktur dengan SAP2000 V14	48
Gambar 4.2. Gambar Lendutan Akibat Gempa	53
Gambar 4.3. Grafik Nilai Tahanan Ultimit Tiang Pancang (<i>Spun Pile</i>)	74
Gambar 4.4. Grafik Nilai Tahanan Ultimit <i>Bored Pile</i>	77
Gambar 4.5. Menu Awal Pengaturan <i>Global – Proyek</i>	85
Gambar 4.6. Menu Awal Pengaturan <i>Global – Dimensi</i>	85
Gambar 4.7. Pemodelan Kontur Tanah	86
Gambar 4.8. Pemodelan Material Tanah – Umum	86
Gambar 4.9. Pemodelan Material Tanah – Parameter	87
Gambar 4.10. Pemodelan Material Tanah – Antarmuka	87
Gambar 4.11. Hasil Kumpulan Data Material	88
Gambar 4.12. Hasil Input Material Tanah	88
Gambar 4.13. Hasil Input Tiang	89
Gambar 4.14. Input Hasil Sifat Plat	89
Gambar 4.15. Hasil Kumpulan Data Material – Pelat	90
Gambar 4.16. Hasil Input Pelat Fondasi	90
Gambar 4.17. Input Beban Merata	91
Gambar 4.18. Hasil Input Beban Merata	91
Gambar 4.19. Hasil Input Jepit Standar	92
Gambar 4.20. Tampilan Jaringan Elemen Yang Tersusun	92
Gambar 4.21. <i>Input</i> Berat Isi Air	93
Gambar 4.22. Hasil Input Muka Air	93
Gambar 4.23. Tampilan Tekanan Air Pori	94
Gambar 4.24. Tampilan Prosedur – K0	94
Gambar 4.25. Tampilan Tegangan Tanah Awal	95
Gambar 4.26. Tampilan <i>Input</i> Perhitungan Analisa	95
Gambar 4.27. Tampilan Hasil <i>Deformasi</i>	96
Gambar 4.28. Tampilan Sukses Perhitungan	96

ANALISA PERBANDINGAN DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI TIANG PANCANG DENGAN *BORED PILE* PADA PROYEK JEMBATAN KALIBANGER SEMARANG

Abstrak

Proyek Jembatan Kalibanger Semarang merupakan bentuk dari pengembangan sarana dan prasarana kota Semarang. Jembatan harus memiliki perencanaan yang tepat dari struktur fondasi hingga struktur atas. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa perbandingan antara dua fondasi yaitu Fondasi Tiang Pancang dan *Bored Pile* di Jembatan Kalibanger Semarang.

Data tanah menggunakan (*N-SPT*) dari pembangunan Jembatan Kalibanger Semarang yang memiliki panjang 30 m. Metode perhitungan daya dukung menggunakan metode *Meyerhof (1956)* dan *Reese & Wright (1977)*, serta untuk perhitungan penurunan menggunakan metode *Vesic (1977)* dan *software Plaxis V8.6*.

Berdasarkan analisa pembebanan dengan *software SAP2000 V14* didapatkan beban maksimum sebesar 9968,7889 kN. Direncanakan fondasi *Spun Pile* dengan dimensi 60 cm dan *Bored Pile* diameter 50 cm dengan kedalaman 40 m. Hasil perhitungan kapasitas daya dukung tiang tunggal fondasi *Spun Pile* sebesar 1130,08 kN, fondasi *bored pile* sebesar 653,66 kN. Hasil perhitungan kapasitas daya dukung tiang kelompok fondasi *Spun Pile* sebesar 758017 kN dan fondasi *Bored Pile* sebesar 761707 kN. Hasil perhitungan penurunan tiang tunggal fondasi *Spun Pile* secara manual sebesar 0,02 m dan *software PLAXIS V8.6* sebesar 0,39 m. Perhitungan penurunan fondasi *Bored Pile* secara manual sebesar 0,01 m dan *software PLAXIS V8.6* sebesar 0,063 m. Hasil perhitungan penurunan tiang kelompok fondasi *Spun Pile* secara manual sebesar 0,033 m dan *software Plaxis V8.6* sebesar 0,121 m. Untuk fondasi *Bored Pile* secara manual sebesar 0,019 m dan *software Plaxis V8.6* sebesar 0,0210 m. Hasil analisa perbandingan daya dukung dan penurunan fondasi dengan metode manual dan program hasilnya memiliki selisih yang tidak terlalu jauh antara fondasi *Spun Pile* dengan *Bored Pile*, namun fondasi *Spun Pile* memiliki efisiensi lebih dari fondasi *Bored Pile*.

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

COMPARATIVE ANALYSIS OF BEARING CAPACITY AND SETTLEMENT OF PILE FOUNDATION WITH BORED PILE IN KALIBANGER BRIDGE PROJECT SEMARANG

Abstract

The Kalibanger Semarang Bridge project is a form of development of Semarang city facilities and infrastructure. The bridge must have proper planning from the foundation structure to the superstructure.. The purpose of this research is to analyze the comparison between two foundations, namely Pile Foundation and Bored Pile at Kalibanger Bridge Semarang.

Soil data using (N-SPT) from the construction of Kalibanger Bridge Semarang which has a length of 30 m. The calculation method of bearing capacity uses the Meyerhof (1956) and Reese & Wright (1977) methods, and for the calculation of settlement using the Vesic (1977) method and Plaxis V8.6 software.

Based on the loading analysis with SAP2000 V14 software, the maximum load is 9968.7889 kN. Spun Pile foundation with dimensions of 60 cm and Bored Pile diameter of 50 cm with a depth of 40 m is planned. The results of the calculation of the bearing capacity of a single pile of Spun Pile foundation amounted to 1130.08 kN, bored pile foundation amounted to 653.66 kN. The results of the calculation of the bearing capacity of the pile group of Spun Pile foundations amounted to 758017 kN and the Bored Pile foundation amounted to 761707 kN. The result of the calculation of the single pile settlement of the Spun Pile foundation manually is 0.02 m and the PLAXIS V8.6 software is 0.39 m. The calculation of the decrease in the Bored Pile foundation manually is 0.01 m and the PLAXIS V8.6 software is 0.063 m. The result of the calculation of the decrease in the pile of the Spun Pile foundation group manually is 0.033 m and the Plaxis V8.6 software is 0.121 m. For the Bored Pile foundation manually by 0.019 m and Plaxis V8.6 software by 0.0210 m. The results of the analysis of the comparison of bearing capacity and foundation settlement with the manual method and the program results have a difference that is not too far between the Spun Pile foundation and the Bored Pile, but the Spun Pile foundation has more efficiency than the Bored Pile foundation..

Keyword : Bored Pile; Bearing Capacity; Foundation; Piles

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jembatan adalah suatu struktur yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya yang memungkinkan rute transportasi melintasi sungai, danau, saluran irigasi, kali, jalan raya, jalan kereta api, dan lain sejenisnya (Manu, 1995).

Salah satu jembatan yang ada di kota Semarang adalah Jembatan Kalibanger, jembatan sepanjang 30 m ini di bangun agar dapat membantu warga sekitar melintasi sungai Kalibanger Semarang. Terdapat 10 kelurahan di Kecamatan Gayamsari yang dilintasi sungai Kalibanger yaitu Kelurahan Kemijen, Rejomulyo, Mlatibaru, Bugangan, Kebon Agung, Rejosari, Sarirejo, Karangturi, dan Karang Tempel.

Salah satu bagian struktur penting yang ada di jembatan adalah fondasi. Suatu fondasi harus direncanakan secara teliti dan matang agar dapat menopang beban yang diterima dengan daya dukung fondasi. Analisa perbandingan daya dukung dan penurunan fondasi tiang pancang dan *bored pile* pada proyek jembatan menjadi penting karena kedua jenis fondasi tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing yang dapat mempengaruhi keamanan dan keberlangsungan proyek jembatan (Gunawan, 1991).

Tujuan pada penelitian ini ialah guna membandingkan serta menganalisa daya dukung dan penurunan fondasi Tiang Pancang dan *bored pile* pada proyek Jembatan Kalibanger Semarang, serta membandingkan hasil perhitungan daya dukung dan penurunan untuk menemukan fondasi paling aman.

Secara umum Tiang pancang merupakan jenis fondasi yang umum digunakan pada konstruksi jembatan. Fondasi ini dibuat dengan cara menancapkan tiang pancang ke dalam tanah hingga mencapai lapisan tanah yang memiliki daya dukung yang cukup. Tiang pancang memiliki keunggulan dalam kemampuan menahan beban yang besar, mudah dalam pemasangan, serta relatif lebih murah dibandingkan dengan *bored pile*. Namun, tiang pancang juga memiliki kekurangan dalam hal kualitas beton yang tidak dapat dikendalikan dengan baik, serta

kemungkinan terjadinya kegagalan atau retak pada tiang pancang yang terkait dengan kualitas tanah yang kurang baik di lokasi proyek. Selain itu, tiang pancang juga dapat menyebabkan penurunan tanah di sekitar fondasi (Sardjono, H.S. 1988).

Sementara itu, *bored pile* jenis fondasi yang lebih modern dan kompleks dibandingkan dengan tiang pancang. Fondasi ini dibuat dengan cara membuat lubang di tanah menggunakan alat bor dan kemudian diisi dengan campuran beton dan besi tulangan. Bored pile memiliki keunggulan dalam kualitas beton yang lebih baik, keamanan yang lebih tinggi, serta kemampuan menahan gaya-gaya lateral yang lebih baik dibandingkan dengan tiang pancang. Namun, *bored pile* juga memiliki kekurangan dalam hal biaya yang lebih tinggi, serta kesulitan dalam pemasangan karena memerlukan alat khusus dan tenaga ahli yang terampil. Selain itu, bored pile juga memerlukan waktu yang lebih lama untuk pembuatannya (Bowles, 1997).

Oleh karena itu, analisa perbandingan daya dukung dan penurunan fondasi tiang pancang dan bored pile pada proyek jembatan menjadi penting untuk menentukan jenis fondasi mana yang lebih sesuai dengan kebutuhan proyek jembatan yang sedang dilakukan. Dengan melakukan analisa ini, dapat dihasilkan keputusan yang tepat untuk memilih jenis fondasi yang tepat sehingga proyek jembatan dapat berjalan dengan aman, efektif, dan efisien.

Data yang digunakan seperti data *shop drawing* sebagai data perencanaan struktur dalam mencari beban bangunan. Adapula data hasil survei tanah (SPT) digunakan untuk menganalisis perhitungan daya dukung dan penurunan fondasi (PT. BUKAKA Teknik Utama). Serta untuk mencapai beban bangunan yang maksimal menggunakan *software* SAP2000.

Ada beberapa metode perhitungan analisis daya dukung secara manual dengan metode *Meyerhoff (1956)* salah satu yang digunakan untuk menentukan daya dukung pondasi pada perhitungan lateral maksimum yang ditahan oleh tanah dan *Reese & Wright (1977)* digunakan untuk perhitungan daya dukung pondasi pada tanah lempung dan tanah pasir. Untuk analisis penurunan dengan metode *Vesic (1977)* pada bangunan yang dirancang untuk mencegah pergerakan dan kerusakan struktur akibat pergeseran tanah dan *software* Plaxis V8.6 perangkat lunak komputer yang digunakan dalam analisis geoteknik dan mekanika tanah.

1.2. Rumusan Masalah

Menurut penjelasan latar belakang diatas, muncul berbagai masalah yang berbeda, sebagai berikut :

1. Berapa besar beban maksimal pada proyek Penggantian Jembatan Kalibanger Semarang?
2. Berapa kapasitas daya dukung tiang tunggal fondasi tiang pancang dan *bored pile* menurut metode *Meyerhoff (1956)* dan *Reese & Wright (1977)*?
3. Berapa nilai efisiensi kelompok fondasi tiang pancang dan *bored pile* menurut metode *Converse Labarre-Formula*?
4. Berapa besar penurunan tiang kelompok pada fondasi tiang pancang dan *bored pile* menurut metode *Vesic (1977)* dan *Software Plaxis V8.6*?
5. Bagaimana hasil komparasi penurunan fondasi menggunakan perhitungan manual dengan pemodelan *software Plaxis V8.6*?

1.3. Tujuan

1. Mengetahui beban maksimal pada proyek Penggantian Jembatan Kalibanger Semarang
2. Mengetahui kapasitas daya dukung tiang tunggal fondasi tiang pancang dan *bored pile* dengan metode *Meyerhoff (1956)* dan *Reese & Wright (1977)*
3. Mengetahui nilai efisiensi kelompok fondasi tiang pancang dan *bored pile* dengan metode *Converse Labarre-Formula*
4. Mengetahui besarnya penurunan tiang kelompok pada fondasi tiang pancang dan *bored pile* dengan metode *Vesic (1977)* dan *software Plaxis V8.6*
5. Mengetahui komparasi penurunan fondasi secara manual dan menggunakan *software Plaxis 8.6*.

1.4. Batasan Masalah

Menurut penjelasan diatas, terdapat beberapa hal yang menjadi akan batasan masalah sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian tanah berada di Jembatan Kalibanger Semarang
2. Jenis struktur fondasi pada penelitian ini adalah jenis fondasi tiang pancang dan *bored pile*

3. Data penyelidikan tanah menggunakan hasil uji SPT
4. Menghitung daya dukung fondasi tiang pancang dan *bored pile* menggunakan perhitungan manual dengan metode *Meyerhoff (1956)* dan *Reese & Wright (1977)*
5. Menghitung penurunan fondasi dilakukan secara manual dengan metode *Vesic (1977)* dan secara *program Plaxis V8.6*
6. Perhitungan analisa daya dukung dengan beban lateral dan aksial
7. Program *software* yang digunakan SAP2000 dan Plaxis V8.6

1.5. Manfaat Penelitian

Keunggulan menurut penelitian ini adalah sebagai berikut :

1.5.1. Manfaat Secara Teoritis

1. Memilih jenis fondasi yang tepat: Dengan melakukan analisa perbandingan ini, dapat diketahui jenis fondasi mana yang lebih cocok dan efektif untuk digunakan pada proyek jembatan tersebut.
2. Menjamin keamanan dan kestabilan jembatan: Fondasi yang kuat dan stabil sangat penting untuk memastikan keamanan dan kestabilan jembatan. Dengan melakukan analisa perbandingan daya dukung dan penurunan fondasi tiang pancang dan *bored pile*, dapat dipilih jenis fondasi yang mampu menahan beban dan meminimalkan penurunan yang terjadi.

1.5.2. Manfaat Secara Praktis

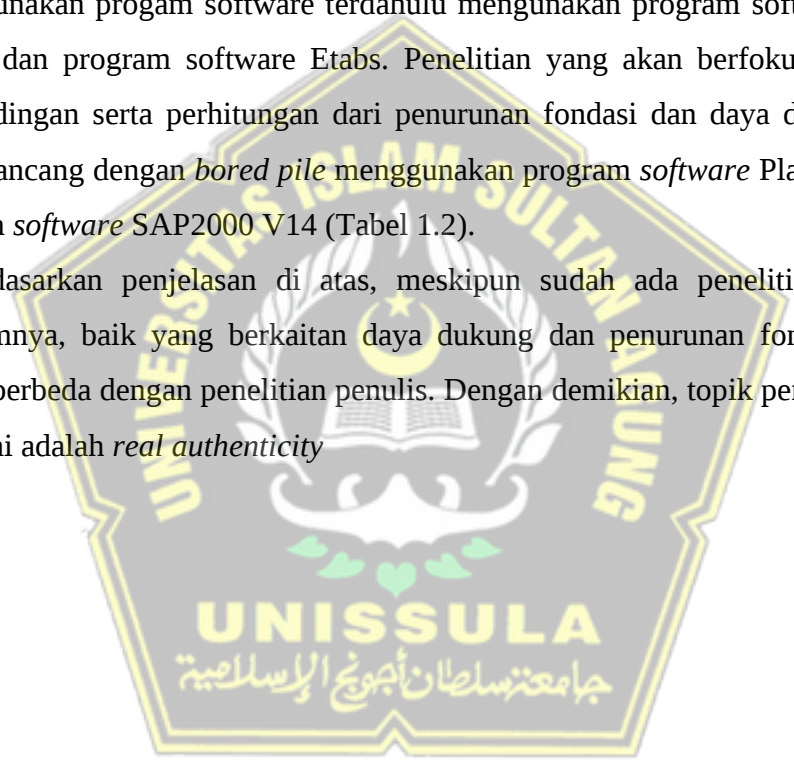
1. Meningkatkan efisiensi konstruksi: Dengan memilih jenis fondasi yang tepat, dapat meningkatkan efisiensi konstruksi.
2. Memenuhi standar teknis: Proyek jembatan harus memenuhi standar teknis yang telah ditetapkan. Dengan melakukan analisa perbandingan ini, dapat dipilih jenis fondasi yang memenuhi standar teknis yang berlaku.
3. Meningkatkan kualitas proyek: Fondasi yang kuat dan stabil sangat penting untuk memastikan kualitas proyek. Dengan memilih jenis fondasi yang tepat, dapat meningkatkan kualitas proyek jembatan dan mengurangi risiko kerusakan pada masa yang akan datang

1.6. Keaslian Penelitian

Menurut sebagian penelitian sebelumnya, kebenaran penelitian ini memiliki karakteristik hampir sama dalam banyak hal, seperti topik penelitian atau metode penelitian. Penelitian ini memiliki kesamaan yang berkaitan Analisa daya dukung serta penurunan fondasi (Tabel 1.1),

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian yang di lakukan oleh Haris Al Asror dan Muhammad Wisnu Adji P. (2022) terdahulu adalah terdapat pada subjek penelitian yaitu berfokus melakukan perbandingan serta perhitungan dari penurunan fondasi dan juga daya dukung fondasi *mini pile* dengan *bored pile* menggunakan progam software terdahulu menggunakan program software AllPile V6.5E dan program software Etabs. Penelitian yang akan berfokus melakukan perbandingan serta perhitungan dari penurunan fondasi dan daya dukung fokus tiang pancang dengan *bored pile* menggunakan program software Plaxis V8.6 dan Pogram software SAP2000 V14 (Tabel 1.2).

Berdasarkan penjelasan di atas, meskipun sudah ada penelitian terdahulu sebelumnya, baik yang berkaitan daya dukung dan penurunan fondasi, namun masih berbeda dengan penelitian penulis. Dengan demikian, topik penelitian tugas akhir ini adalah *real authenticity*



Tabel 1.1 Penelitian Yang Terkait

No	Nama	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
1	Haris Al Asror Muhammad Wisnu Adji P (2022)	Analisa Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Mini Pile Dengan Bored Pile Pada Gedung Fakultas Farmasi Universitas Wahid Hasyim Semarang	a. Mengetahui beban maksimal pada proyek Gedung Fakultas Farmasi Universitas Wahid Hasyim Semarang. b. Mengetahui kapasitas daya dukung tiang tunggal fondasi <i>mini pile</i> dan <i>bored pile</i> menurut metode <i>Meyerhoff (1956)</i> dan <i>Reese & Wright (1977)</i>. c. Mengetahui kapasitas daya dukung tiang kelompok fondasi <i>mini pile</i> dan <i>bored pile</i> menurut metode <i>Converse Labarre-Formula</i>. d. Mengetahui besarnya penurunan tiang tunggal pada fondasi <i>mini pile</i> dan <i>bored pile</i> menurut metode <i>Vesic (1977)</i> serta <i>software AllPile V6.5E</i> e. Mengetahui besarnya penurunan tiang kelompok pada fondasi <i>mini pile</i> dan <i>bored pile</i> menurut metode <i>Vesic (1977)</i> dan <i>software Plaxis V8.6</i>. f. Mengetahui komparasi penurunan fondasi secara manual maupun dengan <i>software</i>.	a. <i>Meyerhoff (1956)</i>. b. <i>Reese & Wright (1977)</i>. c. <i>Converse Labarre-Formula</i>. d. <i>Vesic (1977)</i>. e. <i>software AllPile V6.5E</i>. f. <i>Software Plaxis V8.6</i>. g. <i>Etabs V20</i>	a. Analisa hitungan beban maksimum dan penambahan beban <i>Pilecap</i> = 2420.137 kN. b. Analisa hitungan kapasitas daya dukung tiang tunggal Pondasi <i>Minipile Meyerhoff (1956)</i> = 77917 kN <i>Reese & Wright (1977)</i> = 1199,70 kN Pondasi <i>Bored Pile Meyerhoff (1956)</i> = 765,87 kN <i>.Reese & Wright (1977)</i> = 1141,60 Kn. c. Analisa hitungan kapasitas daya dukung tiang kelompok

Lanjutan **Tabel 1.1** Penelitian Yang Terkait

No	Nama	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
					Fondasi <i>Mini Pile</i> <i>Converse Labarre-Formula</i> = 2449,711 kN Fondasi <i>Bored Pile</i> <i>Converse Labarre-Formula</i> = 2432,403 kN d. Analisa hitungan penurunan tiang tunggal Fondasi <i>Mini Pile</i> <i>Vesic (1997)</i> = 0,024 m software AllPile V6.5E = 0,027 m Fondasi <i>Bored Pile</i> software AllPile V6.5E = 0,027 m software AllPile V6.5E = 0,027 m Fondasi <i>Bored Pile</i> <i>Vesic (1997)</i> = 0,028 m. software AllPile = 0,026

Lanjutan **Tabel 1.1** Penelitian Yang Terkait

NO	Nama	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
					Fondasi <i>Bored Pile</i> <i>Vesic (1997)</i> = 0,028 m. <i>software AllPile</i> = 0,026 m. e. Analisa hitungan penurunan tiang kelompok Fondasi <i>Mini Pile</i> <i>Vesic (1997)</i> = 0,055 m. <i>software Plaxis V8.6</i> = 0,054 m. Fondasi <i>Bored Pile</i> <i>Vesic (1997)</i> = 0,058 m Fondasi <i>Bored Pile</i> <i>software Plaxis V8.6</i> sebesar 0,056 m.
2	Muhammad Fadil Ilham Khayayuman. (2022)	<i>Kajian Efisiensi Grub Tiang Terhadap Penurunan Daya Dukung dan Konfigurasi Fondasi</i>	a. Untuk mengetahui pembebanan fondasi pada proyek pembangunan b. gedung kuliah dan dekanat fakultas kedokteran gigi unissula jika ditambah beban satu lantai.	a. <i>Meyerhoff (1956)</i>. b. <i>Broms</i>. c. <i>Plaxis V8.6</i>. d. <i>SAP2000 V20</i>.	a. Pembebanan tiang konfigurasi paling berat, sedang, dan kecil didapatkan

Lanjutan **Tabel 1.1** Penelitian Yang Terkait

NO	Nama	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
		<i>Tang Pancang</i>	c. Untuk mengetahui berapa daya dukung dan penurunan fondasi jika ditambah beban satu lantai pada proyek pembangunan gedung kuliah dan dekanat fakultas kedokteran gigi. d. Untuk mengetahui pengaruh susunan konfigurasi tiang pancang kelompok terhadap daya dukung tiang		b. Pada perhitungan program SAP 2000 V.20 konfigurasi beban P7 = 909,019 ton P4 = 565,311 ton konfigurasi beban P3 = 213,746 ton c. Hasil perhitungan daya dukung fondasi dan penurunan. Memperoleh nilai daya dukung 67,328 ton F8 = 0,0343m F5 = 0,0343m F3 = 0,0153M.
3	Alvin Fa'qu Rohman (2022)	<i>Analisis Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Bored Pile Pada Proyek Pembangunan Rumah</i>	a. Mengetahui beban maksimum struktur atas pada proyek Susun Pekerja Industri Batang I b. Mengetahui nilai daya dukung aksial dan daya dukung lateral fondasi <i>bored pile</i> dari hasil data sordir dan SPT.	a. Etabs. b. AllPile. c. Aoki de Alencar d. Reese and Wright e. Meyerhoff f. Brooms	a. Analisis pemodelan struktur dengan program Etabs diperoleh beban maksimum. Fondasi <i>Bored Pile</i> = 1351,33 kN

Lanjutan **Tabel 1.1** Penelitian Yang Terkait

NO	Nama	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
		<i>Susun Pekerja Industri Batang I</i>	c. Mengetahui nilai efisiensi dan kapasitas dukung tiang kelompok fondasi <i>bored pile</i>. d. Mengetahui hasil penurunan elastis tiang tugal (<i>Single Pile</i>). e. Mengetahui hasil run analysis pemodelan fondasi dengan program AllPile.		b. Analisis perhitungan daya dukung aksial fondasi <i>bored pile</i> Pada kedalaman 10 m <i>Aoki de Alencar</i> $Q_{ult} = 764,14 \text{ kN}$ $Q_{all} = 305,66 \text{ kN}$ Langsung $Q_{ult} = 1772,53 \text{ kN}$ $Q_{all} = 537,67 \text{ kN}$ <i>Reese and Wright</i> $Q_{ult} = 2426,96 \text{ kN}$ $Q_{all} = 970,78 \text{ kN}$ <i>Meyerhoff</i> $Q_{ult} = 2427,0 \text{ kN}$ $Q_{all} = 970,8 \text{ Kn}$

Tabel 1.2 Rencana Penelitian

NO	Nama	Judul	Tujuan	Metode	Rencana
1	Muhammad Iqbal Muhammad Irfan Efendi	<i>Analisa Perbandingan Daya Dukung Dan Penurunan Fondasi Tiang Pncang dengan Bored Pile Pada Proyek Jembatan Kalibanger</i>	a. Mengetahui beban maksimal pada proyek Penggantian Jembatan Kalibanger Semarang b. Mengetahui kapasitas daya dukung tiang tunggal fondasi tiang pancang dan bored pile dengan metode <i>Meyerhoff (1956)</i> dan <i>Reese & Wright (1977)</i>. c. Mengetahui kapasitas daya dukung tiang kelompok fondasi tiang pancang dan bored pile dengan metode <i>Converse Labarre-Formula</i>. d. Mengetahui besarnya penurunan tiang kelompok pada fondasi tiang e. pancang dan bored pile dengan metode <i>Vesic (1977)</i> dan software <i>Plaxis V8.6</i>. f. Mengetahui komparasi penurunan fondasi secara manual dan menggunakan <i>software Plaxis 8.6</i>	a. <i>Meyerhoff (1956)</i>. b. <i>Reese & Wright (1977)</i>. c. <i>Converse Labarre-Formula</i>. d. <i>Vesic (1977)</i>. e. <i>Plaxis V8.6</i> f. <i>SAP2000 V14</i>	a. Analisa Hitungan Beban Maksimum Jembatan Kalibanger Semarang Dan Penambahan Beban <i>Pilecap</i>. b. Analisa Hitungan Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal Fondasi Tiang Pancang dan Bored Pile Dengan Metode <i>Reese & Wright (1977)</i> dan <i>Meyerhoff (1956)</i>. c. Analisa hitungan kapasitas daya dukung tiang kelompok fondasi Tiang Pancang dan Bored Pile dengan metode <i>Converse Labarre-Formula</i>.

Lanjutan **Tabel 1.2** Rencana Penelitian

NO	Nama	Judul	Tujuan	Metode	Rencana
					d. Analisa Hitungan Penurunan Tiang Tunggal Fondasi Tiang Pancang dan <i>Bored Pile</i> Dengan Metode <i>Vesic</i> (1997) e. dan <i>Bored Pile</i> Dengan Metode <i>Vesic</i> (1997) f. Analisa Hitungan Penurunan Tiang Kelompok Fondasi Tiang Pancang dan Fondasi <i>Bored Pile</i> Dengan Metode <i>Vesic</i> (1997) Dan Software Plaxis V8.6

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah Untuk Pendukung Fondasi

Lapisan tanah ialah suatu lapisan teratas dari lapisan bumi dengan mempunyai sifat yang bermacam-macam setiap daerah. Tanah terdiri dari partikel-partikel yang terdiri dari agregat padat berlapis mineral dan bahan organik yang dapat terurai, yang celahnya diisi dengan gas dan cairan (Das, 1991).

Tanah ialah bagian dari zat padatan yang tidak terikat antara partikel lain, termasuk partikel organik yang berasal dari rongga antara mineral yang berisi air dan udara (P.N.W. Verhoef, 1994).

Secara umum tanah terdiri dua jenis ialah tanah non-kohefif dan tanah kohefif. Tanah kohefif yaitu tanah yang mempunyai karakteristik fisik yang terdapat pada pengeringan dan pembasahan yang terdiri dari butiran-butiran tanah yang telah menyampur maka dari itu gaya yang berperan untuk membaginya dalam kondisi kering (Bowles, 1991). Adapun tanah tidak kohefif ialah tanah yang tidak punya sedikit lekatan antar butiran partikel.

Dalam perencanaan suatu konstruksi memerlukan adanya pengertian serta pemahan tentang karakteristik tanah dan parameter tanah seperti daya dukung pada tanah, jenis dari tanah, tingkat kerapatan, kadar dari air, sudut geser dan angka pori pada lapisan tanah.

2.1.1. Parameter Tanah

Unsur pada tanah memiliki 3 tahap, antara lain udara, air, dan butiran padat. Pemahaman mengenai sifat tanah yang berguna untuk memutuskan dalam mendapatkan hubungan antar volume dan berat serta parameter tanah.

Untuk klasifikasi tanah yang memanfaatkan data sondir dengan hasil data yang berupa qc atau tekanan *conus*, fs atau hambatan pelek, dapat dimanfaatkan untuk menentukan jenis tanah. (Tabel 2.1) :

Tabel 2.1. Parameter Sondir

Nilai Sondir		Klasifikasi
qc	Fs	
6	0,15 - 0,4	<i>Humus, Very Soft Clay</i>
6 – 10	0,2	<i>Loose Sand, Very Loose Sand</i>
	0,2 – 0,6	<i>Soft Clay, Soft Silty Clay</i>
10 – 30	0,1	<i>Loose Pebbles</i>
	0,1 – 0,4	<i>Loose Sand</i>
	0,8 – 2	<i>Slightly Chewy Clay</i>
30 – 60	1,5	<i>Silty Sand, Dense Sand</i>
	1 – 3	<i>Silty Clay</i>
60 – 150	1	<i>Loose Sand Gravel</i>
	1 – 3	<i>Solid Sand, Silty Sand or Solid Clay and Silty Clay</i>
	3	<i>Gravel Clay</i>
150 – 300	1 – 20	<i>Dense Sand, Gravel Sand, and Rough Sand</i>

(Das, 2011)

Hubungan antara konsistensi dan kohesi tak terdrainase serta tekanan kerucut adalah sama, bertambah tinggi suatu nilai qc dan c maka, lebih keras tanah tersebut.

(Tabel 2.2) :

Tabel 2.2. Hubungan Antara Konsistensi dengan Tekanan Conus

Konsistensi Tanah	Tekanan Conus qc (Kg/cm ²)	Undrained Cohesion (t/m ²)
Very Soft	< 2,50	< 1,25
Soft	2,5 – 5,0	1,25 – 2,50
Medium Stiff	5,0 – 10,0	2,50 – 5,0
Stiff	10,0 – 20,0	5,0 – 10,0
Very Stiff	20,0 – 40,0	10,0 – 20,0
Hard	> 40,0	> 20,0

(Begeman, 1965)

Kaitannya beda nilai kepadatan dengan angka nilai q_c , N-SPT, ϕ , *Relative Density* yaitu setara. (Tabel 2.3) :

Tabel 2.3. Hubungan Antara Kepadatan dengan *Relative Density*

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

(Meyerhoff, 1956)

2.1.2. Modulus Young

Nilai pada *Modulus Young* dapat menunjukkan elastisitas pada tanah dinyatakan sebagai perbedaan antara regangan atau tegangan yang terukur pada *Triaxial Test*. Nilai empiris modulus elastisitas (E) diperoleh dari data tanah sondir dan jenis dari tanahnya. (Tabel 2.4) :

Tabel 2.4. Nilai *Modulus Young*

Macam Tanah	E (kN/m ²)
Lempung	
Sangat Lunak	300 – 3000
Lunak	2000 – 4000
Sedang	4500 – 9000
Keras	7000 – 20000
Berpasir	30000 – 42500
Pasir	
Berlanau	5000 – 20000
Tidak Padat	10000 – 25000
Padat	50000 – 100000
Pasir dan Kerikil	
Padat	80000 – 200000
Tidak Padat	50000 – 140000

Macam Tanah	E (kN/m ²)
Lanau	2000 – 20000
Loose	15000 – 60000
Serpih	140000 - 14000000

(Hardiyatmo, 2011)

2.1.3. Poisson's Ratio

Angka nilai dari *Poisson's Ratio* didapatkan dari pemadatan poros pada regangan permukaan lateral. Angka nilai dari *Poisson's Ratio* bisa ditetapkan oleh klasifikasi tanahnya. (Tabel 2.5) :

Tabel 2.5. Jenis Tanah dan Nilai Poisson's Ratio

Jenis Tanah	Poisson's Ratio
Lempung Lunak	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

(Das, 2011)

2.1.4. Sudut Geser Dalam (ϕ)

Nilai sudut geser dalam adalah sudut rekahan yang disebabkan karena adanya proses terkenanya suatu material terhadap tegangan dalam bentuk tekanan lateral dalam tanah. Angka nilai ini bisa diperoleh dalam pengukuran Uji Geser Langsung. (Tabel 2.6) :

Tabel 2.6. Hubungan Antar Sudut Geser Dalam dan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam (ϕ)
Kerikil kepasiran	35° - 40°
Kerikil kerakal	35° - 40°
Pasir padat	35° - 40°
Pasir lepas	30°
Lempung kelanauan	25° - 30°

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam (θ)
Lempung	20° - 25°

(Das, 2011)

2.1.5. Kohesi (c)

Kohesi ialah sebuah kekuatan yang mengikat partikel atau butiran tanah bersama-sama. Kohesi dan sudut geser dalam adalah suatu satuan tanah yang terdeformasi oleh gerakan gaya lateral pada tanah sebagai akibat dari tegangan yang bekerja pada tanah. Perpaduan kondisi kritis dari tegangan geser, tegangan normal yang tidak sesuai oleh faktor keamanan yang disusun dapat mengakibatkan deformasi. kohesi didapatkan dari nilai secara empiris dari data uji tanah (SPT) dan pengujian *Direct Shear Test*. Lihat Persamaan 2.1:

$$\text{Kohesi (cu)} = D \times N\text{-spt (ton)} \dots\dots\dots(2.1)$$

2.2. Fondasi

Fondasi yaitu komponen struktur fundamental yang membawa atau mengangkat beban bangunan ke dalam tanah (Setyanto, 1999). Secara umum ada dua klasifikasi fondasi seperti fondasi dalam dan fondasi dangkal. Fondasi dalam ialah fondasi yang dapat menerima banyak beban yang besar. Fondasi yang dapat menerima beban yang relatif kecil atau disebut juga fondasi dangkal (Hardiyatmo, 2002).

Fondasi ialah suatu konstruksi bangunan yang terdapat di bagian paling bawah yang memiliki peran penting untuk menanggung keseluruhan daribeban yang diatasnya untuk disalurkan ke lapisan tanah di bawahnya (Sardjono H. S., 1988).

Secara umum pada saat merencanakan suatu fondasi sangat membutuhkan ketelitian pada karakteristik dan sifat-sifat tanah. Beban harus di topang oleh fondasi sampai dengan batas aman yang sudah ditentukan (Maciej Serda dkk., 2017)

Jadi, dapat disimpulkan bahwa fondasi adalah suatu struktur yang berperan penting dalam membantu menahan beban diatasnya ke lapisan tanah yang agak kuat guna menahan pada tempatnya. Oleh karena itu, jika beban yang disalurkan pada fondasi menuju lapisan tanah tidak melebihi batas kekuatan tanah yang diperbolehkan, perencanaan fondasi dapat dianggap benar. Jika terjadi, maka akan menyebabkan keruntuhan tanah atau penurunan yang berlebih (Das, 1998).

Ketentuan yang wajib diperhatikan untuk merencanakan fondasi, yaitu sebagai berikut :

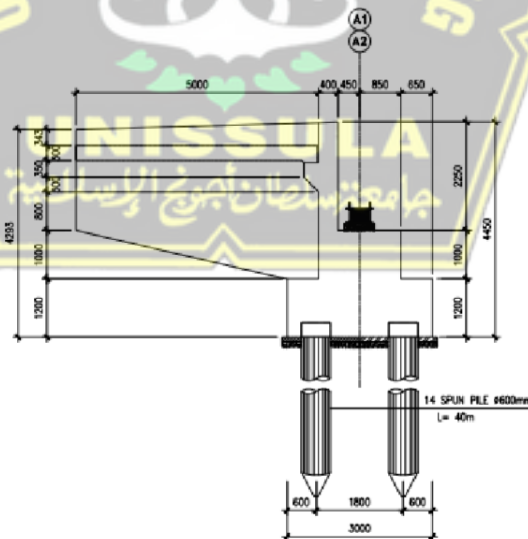
1. Daya dukung fondasi harus lebih kuat dari beban, baik beban statik ataupun dinamik.
2. Pengurangan beban tidak dapat melebihi pengurangan yang diijinkan.

2.3. Klasifikasi Fondasi

Secara umum fondasi digunakan sebagai konstruksi dari suatu bangunan gedung seperti tempat tinggal sampai ke gedung tingkat tinggi serta jembatan. Fondasi sebagai konstruksi yang bermanfaat untuk memikul suatu beban bangunan yang langsung dialirkan menuju ke tanah. Berikut merupakan jenis klasifikasi fondasi :

2.3.1. Fondasi *Pile Cap*

Fondasi *pile cap* adalah fondasi yang dipakai guna menompang beban dari struktur yang ada di atasnya yang akan disalurkan lebih lanjut ke tiang pancang. *Pile cap* mampu digunakan pada struktur bangunan yang terlalu tinggi dan tanah yang keras dapat menopang berat bangunan. Bahkan *pile cap* memiliki fungsi lain seperti untuk menahan pergeseran dari beban. (Gambar 2.1) :

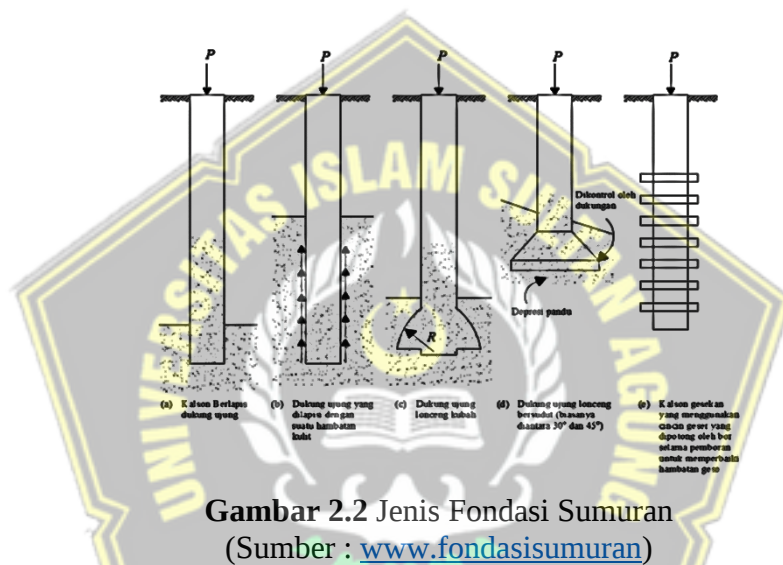


Gambar 2.1 Jenis Fondasi Memanjang
(Sumber : Dokumen Kerja PT. MCM KSO PT.CDI, 2022)

2.3.2. Fondasi Dalam

Fondasi dalam ialah sebuah fondasi yang mampu melanjutkan beban bangunan ke dalam lapisan tanah dengan kedalaman relatif jauh dari dasar permukaan. Berikut jenis-jenis fondasi dalam :

A. Pier Foundation atau Fondasi Sumuran/kaison yaitu bentuk perpindahan antara fondasi dalam dan dangkal. *Pier Foundation* dapat berfungsi apabila kedalaman tanah kerasnya relatif dalam. Fondasi ini memiliki bentuk bulat yang berlubang dan diisi dengan beton bertulang atau pracetak dengan diameter yang bervariasi dan umumnya memiliki kedalaman sekitar 3-5 meter. (Gambar 2.2) :



Fondasi sumuran pelaksanaannya dapat dilakukan dengan membuat suatu lubang dengan cara pengeboran hingga mencapai kedalaman yang diperlukan, cara pengeborannya menggunakan alat manual atau hidrolik. Fondasi ini mempunyai kekurangan dan juga kelebihan diantaranya sebagai berikut :

1. Kelebihan dari Fondasi Sumuran

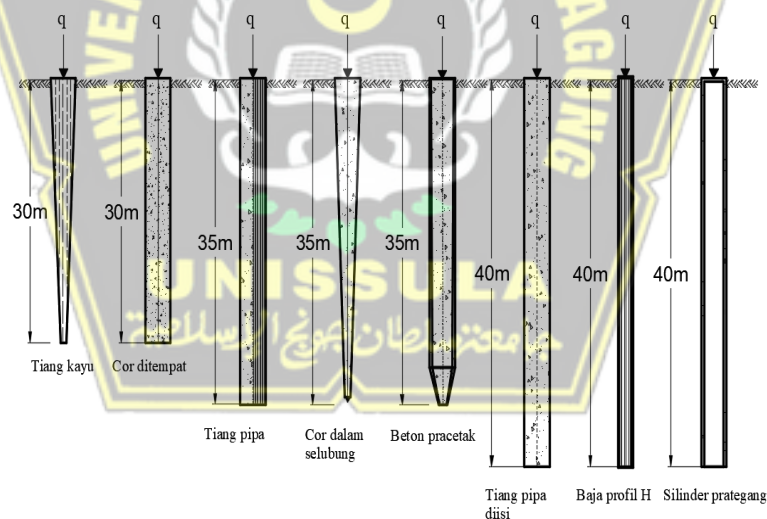
- Fondasi dengan biaya yang murah, namun mempunyai kualitas yang bagus
- Memiliki fleksibilitas dalam pelaksanaannya, misalnya rangka fondasi dapat ditanam dan dibangun berada didalam air
- Efisiensi peralatan dalam proses pelaksanaannya
- Memiliki tingkat *durability* yang tinggi, karena , pelaksanaannya dapat mencapai titik tanah keras
- Memiliki daya dukung yang cukup tinggi

2. Kekurangan dari Fondasi Sumuran

- Waktu pekerjaan yang lama, yaitu pada saat pengecoran fondasi
- Proses pekerjaan tergantung pada kondisi cuaca

B. Fondasi Tiang Pancang (*Pile Foundation*) yaitu fondasi yang berfungsi untuk memberikan dukungan bagi struktur ketika kekerasan lapisan bawah tanah ditemukan pada tingkat yang sangat rendah. Fondasi ini berisi susunan tiang yang ditancapkan jauh ke dalam tanah yang direncanakan dan menggunakan alat HSPD (*Hydraulic Static Pile Driver*) atau *Drop Hammer*. Penggunaan alat HSPD dan *Drop Hammer* biasanya menyesuaikan biaya dan juga lingkungan disekitar proyek berlangsung.

Terdapat 5 jenis fondasi tiang pancang seperti fondasi tiang pancang jenis kayu, fondasi tiang pancang profil baja, fondasi tiang pancang jenis beton pracetak, fondasi tiang pancang jenis beton pratekan, dan fondasi tiang pancang jenis komposit. (Gambar 2.3) :



Gambar 2.3 Jenis Fondasi Tiang Pancang
(Sumber : www.fondasitiangpancang)

C. Fondasi “*Spun Pile*” adalah fondasi tiang pancang yang dimanfaatkan untuk menguatkan berbagai macam fondasi bangunan yang terbuat dari beton precast, beberapa diantaranya meliputi Dermaga, jembatan, gedung dan lain-lain. Dengan Panjang yang terbatas bisanya digunakan pengelasan pelat besi untuk

The drawing consists of two main views: a cross-section (top) and a side view (bottom).

Cross-section View (Top):

- Dimensions:**
 - Horizontal dimensions: 650, 400, 450, 850, 650.
 - Vertical dimensions: 2250, 4450, 1000, 1200.
- Labels and Callouts:**
 - A1, A2:** Section lines at the top.
 - B13-200/400:** Dimension line for the top section.
 - B16-200, 40D13:** Labels for the upper assembly.
 - D13-200, D16-150:** Labels for the middle assembly.
 - D13-200, D25-150:** Labels for the lower assembly.
 - D18-200, D25-150:** Labels for the bottom assembly.
 - D13-300, D16-200:** Labels for the base assembly.
 - D16-150, D16-150:** Labels for the base assembly.
 - D13-300:** Label for the base assembly.
 - D19-150, D25-150:** Labels for the base assembly.

Side View (Bottom):

- Dimensions:**
 - Horizontal dimensions: 600, 1800, 600.
 - Vertical dimension: 3000.
- Labels and Callouts:**
 - 16 SPUN FILE #600mm, L=40mm:** Label for the side view.

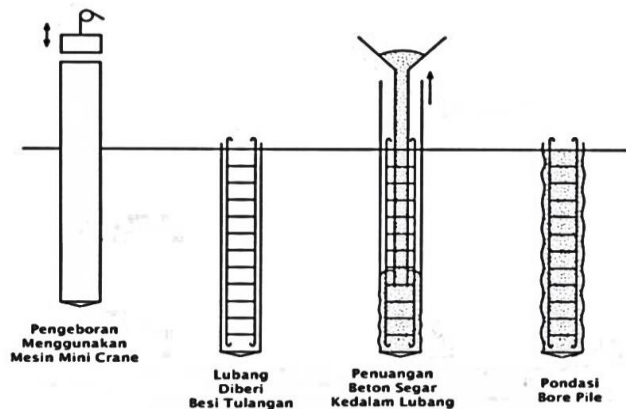
Gambar 2.4 Jenis Fondasi *Spun Pile*

UNISSULA

- , yaitu proses pembuatan dengan

ile” adalah Beban bangunan dan

bored pile yang dipilih dapat digunakan dalam berbagai cara, tergantung pada kondisi medan, jenis tanah, serta konstruksi yang dipilih. (Gambar 2.5) :



Gambar 2.5 Jenis Fondasi *Bored Pile*
(Sumber : www.fondasiboredpile)

Fondasi *bored pile* mempunyai kelebihan serta kekurangan :

1. Kelebihan Fondasi *Bored Pile*

- Fondasi *bored pile* tunggal biasanya bisa dijadikan untuk pile cap serta tiang kelompok
- Bisa divariasikan untuk kedalaman tiangnya
- Pada pelaksanaan *bored pile* memiliki ketahanan tertinggi pada beban lateral yang digunakan dalam konstruksi

2. Kekurangan Fondasi *Bored Pile*

- Pengeboran tanah bisa menyebabkan gangguan kepadatan pada tanah, apabila air mengalir langsung ditarik dan dialirkan ke kolam, daya dukung tiang pancang dapat berkurang.
- Memasang selubug sementara untuk menghentikan tanah longsor akan membantu mencegah keruntuhan tanah, yang dapat terjadi jika tindakan pencegahan tidak dilakukan.
- Kondisi cuaca buruk juga bisa menghambat proses kerja pada saat pengecoran serta pengeboran
- Dengan adanya diameter yang cukup besar maka memerlukan material dan beton yang banyak

2.4. Pembebanan

Beban bangunan berfungsi untuk menguji kemampuan dan perilaku struktur terhadap gaya dan aksi nyata yang disebabkan oleh beban pada sistem struktur. Kegagalan struktural dalam fase desain terjadi ketika kekuatan dari struktur jatuh dibawah kondisi dari batas yang ditentukan dan kemampuannya tidak mengikuti rencana. Analisis pembebanan menggunakan SAP2000 berguna untuk mengetahui besarnya beban sedang digunakan untuk acuan sebagai kapasitas daya dukung fondasi. Ada beberapa sifat beban yang diberikan pada suatu struktur bervariasi tergantung pada lokasi, manfaat, desain dan materialnya yang digunakan yaitu :

1. **Beban Mati** dapat didefinisikan sebagai komponen permanen yang melekat pada konstruksi jembatan seperti bahan bangunan : lantai jembatan, trotoar, gelagar memanjang, aspal dan sandaran (*Railing*).
2. **Beban Hidup** dapat didefinisikan sebagai beban yang ditimbulkan oleh Pengguna jembatan dari suatu bangunan maupun struktur lainnya.
3. **Beban Gempa** dapat didefinisikan sebagai suatu beban dapat bekerja pada struktur yang akibat gerakan atau getaran tanah akibat getaran gempa bumi. Gempa bumi dengan probabilitas melebihi besarnya untuk elemen struktur bangunan 5 tahun dianggap memiliki beban gempa sebesar 2%. Gempa bumi memiliki dampak terbesar pada nilai rata-rata geometris percepatan tanah puncak (PGA).
4. **Beban Angin**, merupakan aliran angin berubah arah dan bahkan mungkin berhenti karena beban yang ditempatkan pada struktur oleh struktur yang berada di jalur angin. Akibatnya struktur mengalami tekanan dan hisapan dari angin. Namun demikian, struktur yang kaku dan rendah tidak terpengaruh secara signifikan oleh beban angin.

2.5. Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal (*Single Pile*)

Daya dukung pada tanah mengukur kekuatan pada tanah untuk menanggung beban yang ada diatasnya. Suatu daya dukung pada tanah menunjukkan kekuatan geser tanah terhadap pengendapan akibat pembebanan. Untuk memastikan stabilitas jangka panjang diletakkan di permukaan fondasi dengan kedalaman yang memenuhi syarat untuk gangguan pada tanah disekitar fondasi, gerusan,

pembengkakan, penyusut serta mengatasi erosi permukaan. Analisa kapasitas daya dukung tiang tunggal ini dilaksanakan dengan cara pendekatan untuk memudahkan dalam pemahaman materi maupun perhitungan. Persamaan yang digunakan harus berdasarkan pada tanah yang telah disepakati.

2.5.1. Perhitungan Daya Dukung Ujung Tiang Metode *Meyerhof* (1956)

Hitungan untuk ujung fondasi (*End Bearing*) didasarkan pada uji tanah (SPT) dengan metode persamaan *Meyerhof*, yaitu :

1. Fondasi Tiang Pancang

Hitungan untuk daya dukung ujung (*End Bearing*) fondasi tiang pancang menggunakan persamaan *Meyerhof* (1956). Persamaan 2.2, 2.3, dan 2.4 :

$$Q_p = 9 \times A_p \times C_u \dots\dots\dots(2.2)$$

$$q_p = 9 \times C_u \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

Q_p = Daya dukung pada ujung tiang (ton)

A_p = Luas penampang fondasi (m^2)

C_u = Kohesi tanah (ton)

q_p = Tahanan ujung per satuan luas (ton)

2. Fondasi *Bored Pile*

Hitungan untuk daya dukung ujung (*End Bearing*) pada fondasi *bored pile* menggunakan persamaan *Meyerhof* (1956). Persamaan 2.5, 2.6, dan 2.7 :

$$Q_p = 9 \times A_p \times C_u \dots\dots\dots(2.4)$$

$$q_p = 9 \times C_u \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

Q_p = Daya dukung pada ujung tiang (ton)

A_p = Luas penampang fondasi (m^2)

C_u = Kohesi (ton)

q_p = Tahanan ujung per satuan luas (ton)

2.5.2. Perhitungan Daya Dukung Ujung Tiang Metode Reese & Wright (1977)

Hitungan untuk daya dukung pada ujung tiang (*End Bearing*) untuk fondasi *spun pile* dan *bored pile* menggunakan data hasil uji tanah (SPT) menurut Reese & Wright (1977) berdasarkan metode Terzaghi. Persamaan 2.8 :

Untuk $N\text{-SPT} > 60$, maka :

$$Q_p = 9 \times A_p \times C_u \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

Q_p = Daya dukung tiang ujung (ton)

A_p = Luas penampang fondasi (m^2)

C_u = Kohesi tanah tak terdrainase (ton)

Untuk lapisan tanah jenis kohesif, nilai tahanan pada ujung tiang (q_p) per satuan tiang dapat diasumsikan sejumlah $9 \times$ kuat geser tanah, sedangkan untuk tanah jenis non-kohesif terdapat selisih korelasi tanah antara data q_p dan $N\text{-SPT}$. (Gambar 2.6)

:



Gambar 2.6 Tahanan ujung ultimit pada tanah non-kohesif
(Sumber : Reese & Wright, 1977)

Hitungan untuk mencari nilai Q_p dalam tanah kohesif dapat dilihat persamaan 2.9, 2.10, 2.11 :

$$q_p = 9 \times C_u \dots\dots\dots(2.7)$$

$$c_u = D \times N\text{-spt} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$Q_p = q_p \times A_p \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

C_u = Kohesi tanah tak terdrainase (ton)

Q_p = Daya dukung tiang ujung (ton)

q_p = Tahanan ujung per satuan luas (ton)

A_p = Luas penampang fondasi (m^2)

Sedangkan, untuk menghitung nilai Q_p pada tanah non-kohesif dapat menggunakan persamaan 2.12 :

:

$$Q_p = q_p \times A_p \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

Q_p = Daya dukung tiang ujung (ton)

q_p = Tahanan ujung per satuan luas (ton)

A_p = Luas penampang fondasi (m^2)

2.5.3. Perhitungan Daya Dukung Friksi Tiang Metode *Meyerhof (1956)*

Hitungan untuk daya dukung pada friksi tiang (*Skin Friction*) didasarkan pada data hasil uji tanah (SPT) menurut *Meyerhof (1956)*, yaitu :

1. Fondasi Tiang Pancang

Hitungan untuk Perhitungan *Skin Friction* (daya dukung selimut tiang) pada fondasi *mini pile* dengan metode *Meyerhoff (1956)*. Persamaan 2.13 dan 2.14 :

$$Q_s = f_s \times A_s \dots\dots\dots(2.11)$$

$$f_s = \alpha \times C_u \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

Q_s = Daya dukung selimut (ton)

A_s = Luas selimut tiang (m^2)

α = Faktor Adhesi (gambar 2.7)

f_s = Tahanan gesek satuan tiang (ton^2)

2. Fondasi *Bored Pile*

Hitungan untuk Perhitungan daya dukung pada selimut tiang (*Skin Friction*) pada fondasi *bored pile* memakai metode *Meyerhoff (1956)*. Persamaan 2.15 dan 2.16 :

$$Q_s = f_s \times A_s \dots\dots\dots(2.13)$$

$$f_s = \alpha \times C_u \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

Q_s = Daya dukung selimut (ton)

A_s = Luas selimut tiang (m^2)

α = Faktor Adhesi (gambar 2.7)

f_s = Tahanan gesek satuan per tiang (ton^2)

2.5.4. Perhitungan Daya Dukung Friksi Tiang Metode *Reese & Wright (1977)*

Hitungan untuk daya dukung pada selimut tiang (*Skin Friction*) untuk fondasi tiang pancang dan *bored pile* menurut data hasil uji tanah (SPT) menggunakan cara *Reese & Wright (1977)*. persamaan 2.17 :

$$Q_s = f_s \times A_s \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

f_s = Tahanan gesek tiang (ton^2)

Q_s = Daya dukung ultimit selimut tiang (ton)

A_s = Luas selimut tiang (m^2)

Dalam metode *Reese & Wright (1977)*, nilai suatu gesekan selimut tiang dapat dipengaruhi oleh jenis suatu tanah dan parameter kuat geser tanah. Hitung nilai f_s untuk tanah jenis kohesif. Persamaan 2.18 dan 2.19 :

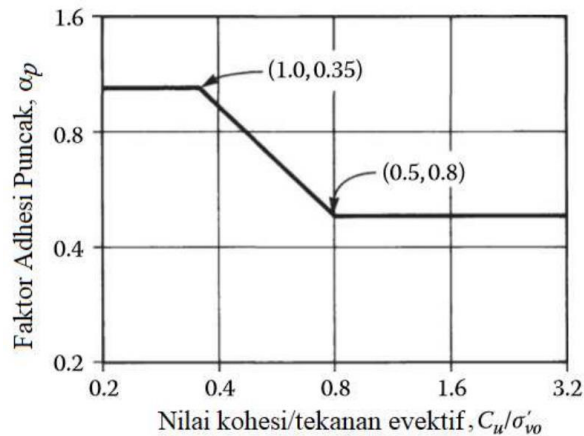
$$f_s = \alpha \times c_u \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

f_s = Tahanan gesek tiang (ton^2)

c_u = Kohesi tanah tak terdrainase (ton)

α = Faktor adhesi (Gambar 2.7)



Gambar 2.7 Faktor Adhesi
(Sumber : Tomlinson & Woodward, 2014)

Dalam perhitungan nilai f_s pada tanah non-kohesif dapat menggunakan rumus berikut :

$$f_s = \alpha \times C_u \dots\dots\dots(2.17)$$

$$Q_s = f_s \text{ Tahanan gesek tiang} \times A_s \dots\dots\dots(2.18)$$

Untuk $53 < N \leq 100$, maka f_s dikoreksi langsung dengan N-SPT (Reese & Wright, 1977)

2.5.5. Perhitungan Daya Dukung Ultimit Fondasi

Perhitungan daya dukung pada ultimit tiang untuk fondasi tiang pancang dan *bored pile* berdasarkan data hasil uji tanah (SPT). Persamaan 2.22 dan 2.23 :

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s \dots\dots\dots(2.19)$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan :

$$SF = 2,5 \text{ (Reese \& Wright, 1977)}$$

$$SF = 3 \text{ (Meyerhoff, 1956)}$$

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

$$Q_p = \text{Daya dukung ujung tiang (ton)}$$

$$Q_s = \text{Daya dukung selimut tiang (ton)}$$

2.6. Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang (Pile Group)

Persamaan dalam analisa kapasitas kelompok tiang menurut *Converse-Labarre Formula*. Persamaan 2.24 dan 2.25 :

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1) \times m + (m-1) \times n}{90 \times n \times m} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$Q_{all(Grp)} = n \times E_g \times Q_{all(Single)} \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan :

E_g = Efisiensi kelompok tiang

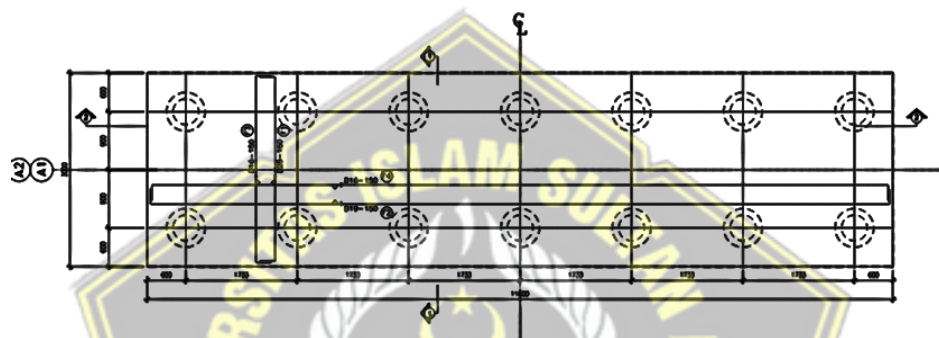
θ = arc tg (D/s) (derajat)

D = Dimensi tiang (m)

s = Jarak antar tiang (as ke as)

m = Jumlah baris tiang kelompok

n = Jumlah tiang arah x



Gambar 2.8 Hitungan Efisiensi Dalam Jarak S

Daya dukung kelompok tiang arah vertikal = $E_g \times \text{jumlah pile} \times \text{daya dukung ijin tiang}$, dimana daya dukung tiang harus lebih besar dari gaya aksial yang terjadi.

2.6.1. Menentukan Jumlah Tiang dalam Satu Kelompok (n)

Secara umum, jumlah tiang yang akan dipasang tergantung pada kapasitas pemikul beban yang diizinkan dan faktor beban yang bekerja dalam tiang pondasi. Persamaan 2.26 :

$$n = \frac{Q}{Q_{all}} \dots\dots\dots(2.23)$$

Keterangan :

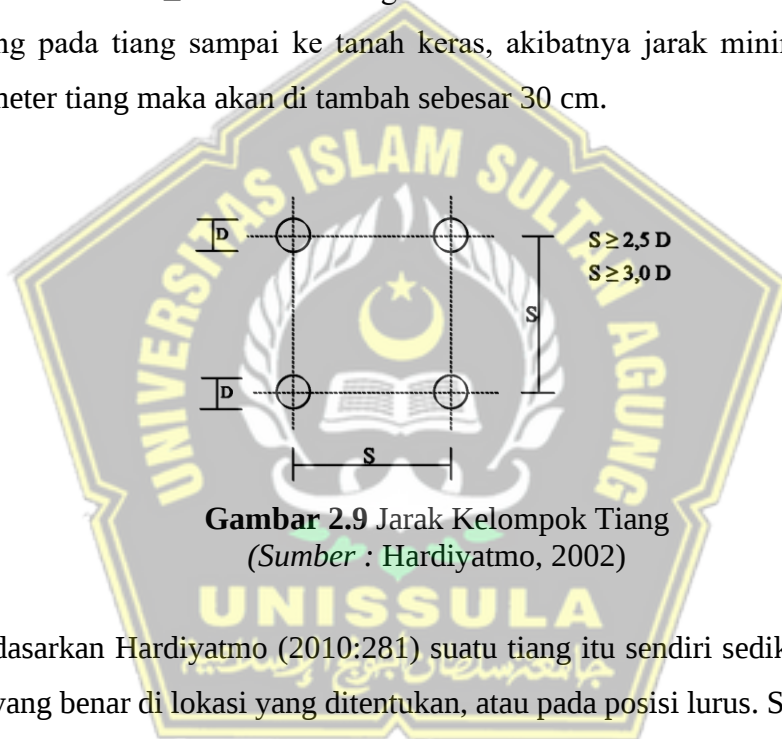
P_{tot} = Beban maksimal (ton)

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

2.6.2. Menentukan Jarak Antar Tiang dalam Satu Kelompok

Hitungan untuk daya dukung pada tiang kelompok dipengaruhi oleh jarak antara tiang dalam kelompok. Jarak antara tiang yang digunakan sesuai dengan peraturan masing-masing daerah pada umumnya digunakan untuk menghitung operasi kelompok diang. Pada prinsipnya jika jarak antar tiang semakin sempit maka dimensi *pilecap* akan semakin kecil, secara tidak langsung akan mengurangi biaya dan membuat lebih terjangkau. Jarak antara tiang satu kelompok biasanya dapat digunakan apabila :

- Ujung pada tiang tidak sampai ke tanah keras, akibatnya jarak minimum tiang di perbesar sebesar ≥ 2 diameter tiang.
- Ujung pada tiang sampai ke tanah keras, akibatnya jarak minimum tiang $\geq$ diameter tiang maka akan di tambah sebesar 30 cm.



Gambar 2.9 Jarak Kelompok Tiang
(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

Berdasarkan Hardiyatmo (2010:281) suatu tiang itu sendiri sedikit dipasang di posisi yang benar di lokasi yang ditentukan, atau pada posisi lurus. Sekalipun tiang dipasang tepat ditempat yang tepat, kepala tiang terkadang harus menahan momen lentur kolom. Berdasarkan Dirjen Bina Marga Departemen P.U.T.L perhitungan pada daya dukung tanah. Persamaan 2.27 dan 2.28 :

$$2,5 \times D < S < 3,0 \times D \dots\dots\dots(2.24)$$

$$S < 1,25 \times D \dots\dots\dots(2.25)$$

Keterangan :

S = Jarak tiang dalam kelompok (m)

D = Dimensi tiang (m)

1. Bila $< 2.5 D$

Jika jarak pada tiang kurang dari 2,5 kali diameter tiang pancang karena pancang didorong terlalu berdekatan, Tanah di sekeliling tiang kelompok bisa naik terlalu banyak.

2. Bila $< 3 D$

Jika massa kelompok lebih dari tiga kali diameter tiang, maka dapat disebut tidak ekonomis, karena dimensi tiang akan bertambah. Dalam kebanyakan kasus, jarak antara dua tiang dalam satu kelompok tiang juga harus paling sedikit 0,6 m dan paling banyak 2 m (Sardjono, 1991:51).

2.7. Perhitungan Daya Dukung Lateral Tiang Metode *Brooms*

Hitungan untuk metode *brooms* memakai diagram himpitan tanah yang sudah memudahkan menggunakan resistansi tanah atau kedalaman tumpukan reaksi untuk menentukan nilai ultimit. *Brooms* mengklafikasikan untuk membedakan antara kondisi antara *free head* (kepala pada tiang dalam keadaan bebas) dan *fixed head* (kepala pada tiang dalam keadaan tetap) diantara perilaku tiang pendek atau kaku dan panjang atau elastis. Metode ini mempunyai beberapa kekurangan dan juga kelebihan seperti berikut :

1. Kelebihan

- a. Metode perhitungan yang digunakan pada tiang pendek ataupun panjang
- b. Mampu digunakan ketika kepala tiang tetap ataupun bebas

2. Kekurangan

- a. Metode ini berlaku pada jenis tanah homogen saja (tanah kohesif dan non kohesif)
- b. Metode ini tidak mampu digunakan pada jenis tanah yang berlapis

2.7.1. Cek Kekakuan Tiang Akibat Beban Lateral

Perhitungan kekakuan tiang yang diakibatkan oleh beban lateral dapat menggunakan persamaan 2.29 dan 2.30 :

$$E = 4700 \sqrt{fc} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$I = \frac{1}{6} \times \pi \times D^2 \dots\dots\dots(2.27)$$

Untuk mencari factor kekakuan (T) dapat menggunakan persamaan 2.31 dan 2.32 :

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p \times l_p}{n_h}} \dots\dots\dots(2.28)$$

$$4T = 4 \times T \dots\dots\dots(2.29)$$

Keterangan :

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

I = Momen Inersia (m^4)

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

D = Dimensi tiang (m)

Untuk menentukan nilai n_h pada tanah yang sesuai jenisnya. (Tabel 2.7 dan 2.8) :

Tabel 2.7 Nilai – nilai n_h Untuk Tanah Granular ($c=0$)

Kerapatan Relatif (D_r)	Tak Padat	Sedang	Padat
Interval Nilai A	100 – 300	300 – 1000	1000 - 2000
Nilai A Dipakai	200	600	1500
n_h , Pasir Kering atau Lembab (Terzaghi) (kN/m)	2425	7275	19400
n_h , Pasir Peredam Air (Terzaghi) (kN/m)	1386	4850	11779
Reese et al	5300	16300	34000

(Hardiyatmo, 2013)

Tabel 2.8 Nilai – nilai n_h Untuk Tanah Kohesif

Tanah	n_h (kN/m^3)	Referensi
Lempung Terkonsolidasi	166 – 3518	Reese dan Matlock (1956)
Normal Lunak	277 – 554	Davisson – Prakash (1963)
Lempung Terkonsolidasi	111 – 277	Peck dan Davisson (1962)
Normal Organik	111 – 831	Davisson (1970)
Gambut	55	Davisson (1970)
	27,7 – 111	Wilson dan Hitls (1967)

Loess	8023 – 11080	Bowless (1968)
-------	--------------	----------------

(Poulos & Davis, 1980)

2.7.2. Cek Keruntuhan Tanah Akibat Beban Lateral

Untuk menentukan nilai kerusakan yang diakibatkan oleh beban lateral tiang, dapat dihitung momen maksimum yang akan dipikul tiang ketika tanah terdorong mendatar dan tidak dapat runtuh. (Persamaan 2.33) :

$$M_{max} = D \times \gamma \times L^3 \times Kp \dots\dots\dots(2.30)$$

Jika M_{max} Lebih dari M_y , Maka tanah tidak akan runtuh dan kekuatan ultimit (H_u) dapat menentukan kekuatan beban pada tiang untuk menahan beban momen.

2.7.3. Cek Nilai H_u

$$f = 0,82 \sqrt{\frac{H_u}{d \times Kp \times \gamma}} \dots\dots\dots(2.31)$$

$$H_u = \frac{2 M_y}{e + \frac{2f}{3}} \dots\dots\dots(2.32)$$

$$H_{ijin} = \frac{H_u}{SF} \dots\dots\dots(2.33)$$

Keterangan :

H_u = Daya dukung lateral pada tiang (kN/m^2)

M_y = Momen max yang dapat di tahan tiang ($kN.m$)

γ = Berat volume pada tanah (kN/m^3)

D = Dimensi pada tiang (m)

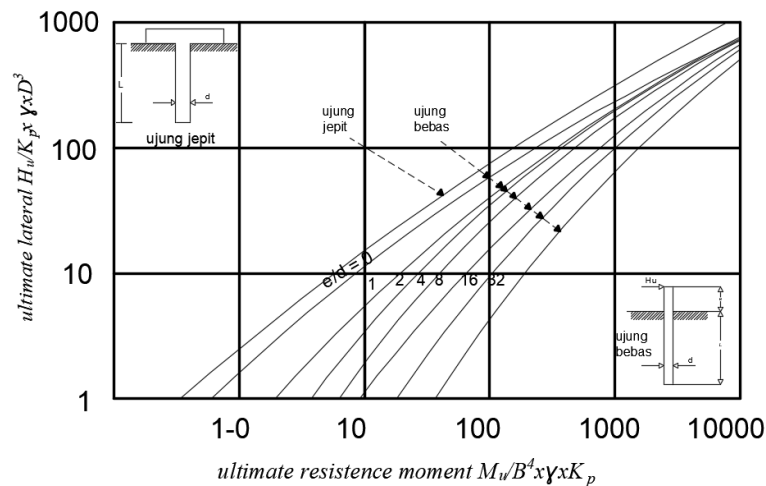
e = Jarak titik beban horizontal ke permukaan tanah (m)

Kp = Koefisien tekanan pada tanah pasif

f = Jarak kedalaman titik dimana gaya geser = 0 (m)

$$\text{Berdasarkan grafik, pada momen ultimit} = \frac{H_u}{D^4 \times \gamma \times Kp} \dots\dots\dots(2.33)$$

Untuk menggunakan nilai momen ultimate dapat dilihat pada grafik. (Gambar 2.12) :



Gambar 2.10 Grafik Angka Tahanan Momen Ultimit
(Sumber : Hardiyatmo, 2013)

Perhitungan pada tahanan lateral ijin (Persamaan 2.38) :

$$\text{Tahanan Momen Ultimit (Grafik)} = \frac{H_u}{D^3 \gamma x K_p} \dots\dots\dots(2.34)$$

2.8. Penurunan Elastis Tiang Tunggal (*Single Pile*) Menurut Vesic (1997)

Analisa distribusi beban dan penurunan tiang tunggal untuk tiang fondasi dapat diperoleh dengan metode transfer beban (coyle & Reese, 1966). Menurut (Vesic, 1977) penurunan elastis pada fondasi bisa dihitung dengan persamaan 2.39 :

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \dots\dots\dots(2.35)$$

Keterangan :

S_e = Penurunan tiang total (m)

$S_{e(1)}$ = Penurunan elastis tiang (m)

$S_{e(2)}$ = Penurunan tiang akibat beban ujung tiang (m)

$S_{e(3)}$ = Penurunan tiang akibat beban di sepanjang batang (m)

Untuk mendapatkan nilai $S_{e(1)}$. Persamaan 2.40, 2.41, dan 2.42 :

$$E = 4700 \times \sqrt{F_c'} \dots\dots\dots(2.36)$$

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_p + (\epsilon \times Q_s) \times L)}{A_p \times E_p} \dots\dots\dots(2.37)$$

$$\epsilon = 0.5 \text{ (distribusi tahanan sepanjang tiang)} \dots\dots\dots(2.38)$$

Dimana :

Q_p = Daya dukung tiang ujung (ton)

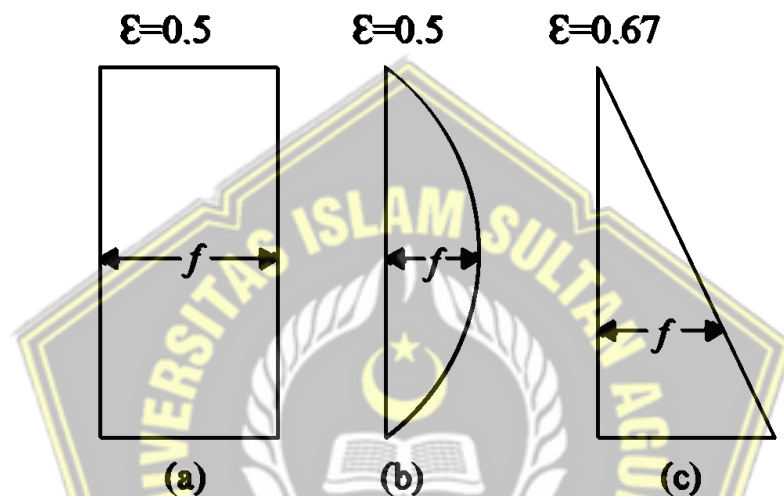
Q_s = Tahanan gesek per satuan luas ultimit (ton)

A_p = Luas penampang (m^2)

L = Panjang tiang (m)

E_p = Modulus elastisitas tiang (MPa)

Besarnya ϵ tergantung pada distribusi ketahanan kulit sepanjang tiang. Apabila distribusi ϵ merupakan datar atau parabola, misalnya pada gambar (a) tanah lanau serta gambar (b) tanah lempung sebesar 0,5, tetapi nilai distribusi ϵ pada segitiga (c) tanah berpasir sebesar 0,670 (Vesic, 1977) .(Gambar 2.13) :



Gambar 2.11 Jenis Distribusi Tahanan Selimut Sepanjang Tiang
(Sumber : Bowles, 1993)

Hitungan untuk penurunan pada tiang akibat beban pada titik yang diperoleh.
(Persamaan 2.43) :

$$S_{e(2)} = \frac{qp \times D}{E_s} \times (1 - \mu s^2) \dots\dots\dots(2.39)$$

Keterangan :

Q_p = Daya dukung pada ujung tiang (ton)

D = Dimensi tiang (m)

q_p = Tahanan pada ujung satuan tiang (ton)

C_p = Koefisien empiris, (Tabel 2.9) :

Tabel 2.9 Koefisien Empiris

Jenis Tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
<i>Sand</i> (Padat – Lepas)	0,02 – 0,04	0,09 – 0,18
<i>Clay</i> (Kaku – Lunak)	0,02 – 0,03	0,03 – 0,06
<i>Silt</i> (Padat – Lepas)	0,03 – 0,05	0,09 – 0,12

Serta, hitungan untuk penurunan tiang akibat beban yang terdapat sepanjang tiang $S_{e(3)}$. (Persamaan 2.44 dan 2.45) :

$$S_{e(3)} = \frac{Q_p}{P \times L} \times \frac{D}{E_s} \times (1 - \mu_s^2) \times I_{ws} \dots\dots\dots(2.40)$$

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} \dots\dots\dots(2.41)$$

Dimana :

Q_p = Daya dukung pada ujung tiang (kN)

P = Keliling pada tiang (m)

L = Panjang pada tiang (m)

μ_s = *Poisson's ratio* (Tabel 2.10)

Tabel 2.10. Jenis Tanah dan Nilai *Poisson's Ratio*

Jenis Tanah	<i>Poisson's Ratio</i>
Lempung Lunak	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, 1998)

Serta, guna mengetahui besaran angka penurunan ijin pondasi. Persamaan 2.46 :

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

Dimana :

D = Dimensi tiang (m)

2.9. Penurunan Tiang Kelompok (*Group Pile*) Menurut *Vesic (1997)*

Saat menghitung fondasi tiang, kapasitas daya dukung tiang yang diijinkan biasanya berdasarkan kebutuhan untuk penurunan. Penurunan pada tiang bergantung pada rasio ketahanan ujung terhadap beban tiang. Apabila beban yang dipikul tiang lebih besar atau sama dengan tahanan pada ujung tiang, maka terjadinya penurunan yang sangat besar. (Persamaan 2.47) :

$$S_{g(e)} = \sqrt{\frac{Bg}{D}} \times S_e \dots\dots\dots (2.43)$$

Dimana :

$S_{g(e)}$ = Penurunan fondasi tiang kelompok (m)

B_g = Lebar tiang kelompok (m)

D = Dimensi tiang (m)

S_e = Penurunan elastis tiang (m)

2.10. Faktor Keamanan

Untuk menentukan kapasitas pada tiang yang diijinkan, perlu membagi kapasitas ultimit pada tiang dengan faktor keamanan yang diijinkan. Tujuan dari faktor keamanan yaitu :

1. Guna menghindari ketidakpastiaan menggunakan perhitungan yang telah dipakai
2. Guna melindungi dari fluktuasi kompresibilitas tanah dan kekuatan geser
3. Guna mentukan penurunan tiang tunggal dan kelompok masih dalam batas toleransi yang disusun
4. Guna menentukan jenis tiang yang digunakan aman dan mampu menahan beban diatasnya
5. Guna menentukan penurunan yang tidak beraturan yang terjadi di antara tiang pancang dengan tetap berada di dalam batas toleransi telah direncanakan.

Untuk angka nilai pada kapasitas ultimit (Q_u) dibagi dengan faktor keamanan yang relevan atau SF adalah jumlah beban yang bekerja atau kapasitas penahan beban yang diizinkan dari tiang dengan mempertimbangkan keamanan keruntuhan. Jenis tiang dan tanah mempengaruhi variasi besarnya faktor keamanan yang digunakan dalam perancangan fondasi tiang. Persamaan 2.48 :

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} \dots\dots\dots (2.44)$$

Dimana :

Q_u = Kapasitas ultimit pada tiang (kN)

SF = Faktor keamanan (Tabel 2.11)

Tabel 2.11 Faktor Keamanan (*Safety Factor*) yang Disarankan

Klasifikasi Struktur	Faktor Keamanan (<i>Safety Factor</i>)			
	Kontrol Baik	Kontrol Normal	Kontrol Jelek	Kontrol Sangat Jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanen	2	2,8	2,8	3,4
Sementara	1,4	3	2,3	2,8

(Hardiyatmo, 2002)

2.11. Pemodelan Menggunakan Software

Seiring dengan perkembangan zaman ilmu teknik sipil sudah memiliki kemajuan dibidang ilmu teknologinya. Peranan penting teknologi bagi dunia teknik sipil yaitu membantu sebuah pekerjaan suatu konstruksi. Tidak hanya pekerjaan dilapangan yang terbantu dengan adanya alat berat, dalam hal analisis perhitungan maupun pendesainan pun sekarang sudah terdapat teknologi yang berbentuk *software*.

Software merupakan data yang telah diprogram, disimpan dan format secara digital dengan fungsi tertentu, dan *software* ini memiliki berbagai jenis sesuai dengan fungsi dan kegunaanya. Misalnya untuk membantu analisa sebuah perencanaan dan perhitungan dalam bisang struktur terdapat software SAP2000 dan masih banyak lagi. Pada studi ini menggunakan jenis software PLAXIS yang berfungsi sebagai perencanaan dan perhitungan dalam bidang fondasi dan tanah.

2.11.1. Software SAP2000

SAP2000 merupakan program untuk menghitung kekuatan struktur khususnya bangunan-bangunan jembatan dan gedung bertingkat tinggi. Perangkat lunak yang berguna untuk analisa, desain, dan pemodelan struktur bangunan yang akurat dan cepat. (Gambar 2.14) :



Gambar 2.12. Tampilan Software SAP2000 V14

2.11.2 Software PLAXIS V8.6

Program Plaxis ialah perangkat lunak bagi teknik sipil guna menganalisis di bidang geoteknik. Plaxis secara umum digunakan untuk mengetahui dan menganalisis deformasi dan stabilitas yang terjadi pada suatu fondasi, sehingga program ini mampu dijadikan perbandingan untuk hasil analisis dengan cara manual. Program rancangan ini berguna untuk membuat geometri yang akan dianalisis. (Gambar 2.16) :



Gambar 2.13 Tampilan Software PLAXIS V8.6

BAB III

METODOLOGI

3.1. Pengumpulan Data

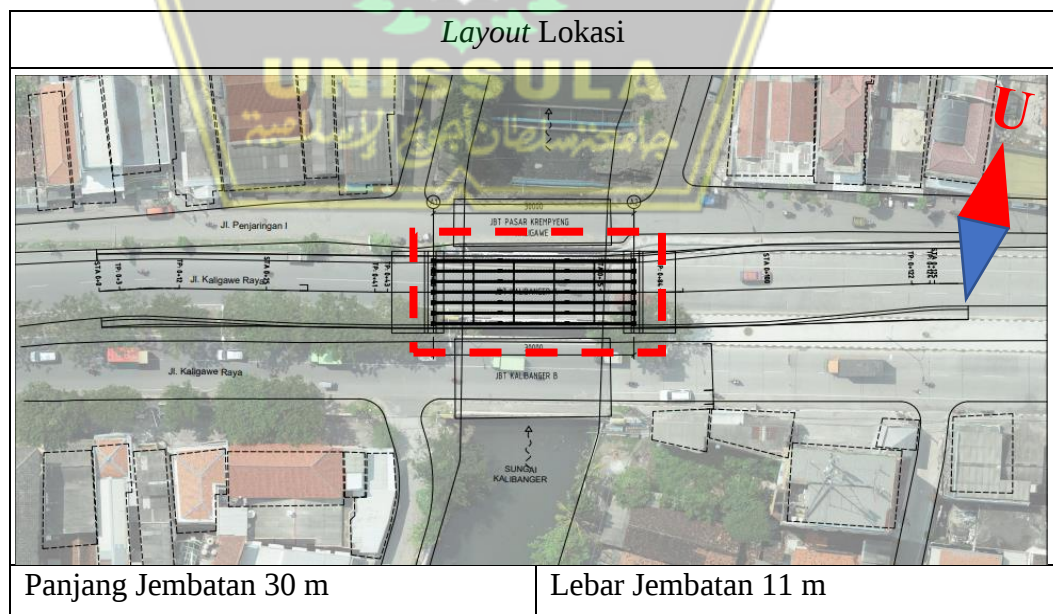
Secara umum, data yang akan digunakan dalam tugas akhir ini ialah data sekunder dari konsultan perencana seperti data hasil uji pada tanah (SPT) serta gambar kerja yang digunakan dalam perhitungan analisis fondasi.

3.2. Data Proyek

3.2.1. Data Umum Proyek

Informasi umum tentang pembangunan Penggantian Jembatan Kalibanger Semarang yaitu :

1. Nama Proyek : Proyek KPBU Kegiatan Penggantian dan/atau Duplikasi Jembatan Callender Hamilton (CH) (Pekerjaan Penggantian Jembatan Kalibanger)
2. Lokasi Proyek : Jl. Raya Raden Patah, Kel. Kemijen
Kec. Gayamsari, kota Semarang,
Jawa Tengah

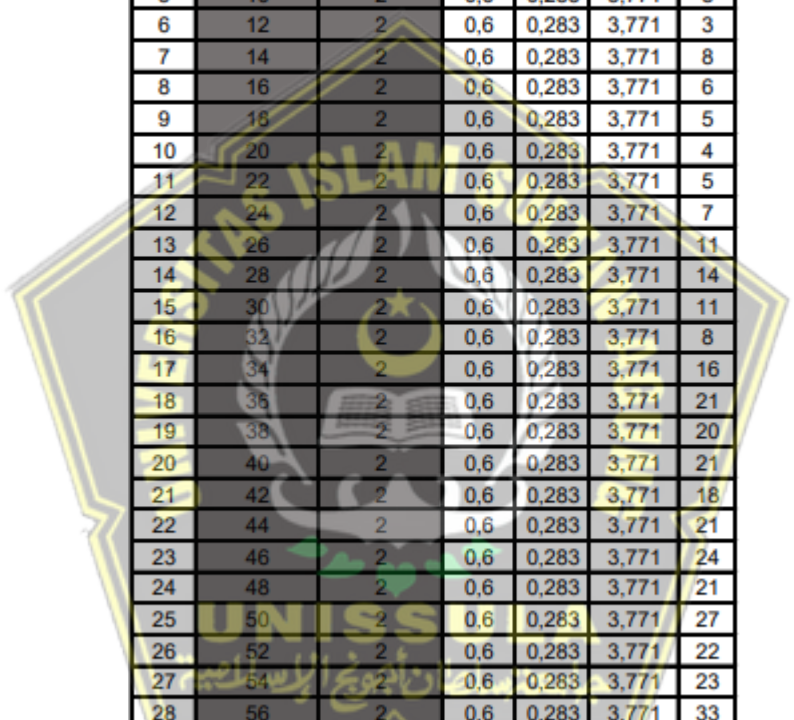


Gambar 3.1 Layout Lokasi Proyek Jembatan Kalibanger

(Sumber : PT. BUKAKA Teknik Utama)

3.2.2. Data Laboratorium

Data-data laboratorium dari hasil penyelidikan tanah dilapangan pada Proyek Penggantian Jembatan Kalibanger Semarang mendapatkan hasil uji sondir (CPT) dan hasil bor mesin (N-SPT) untuk mengetahui data penyelidikan tanahnya menghitung kapasitas daya dukung satu tiang. (Gambar 3.2) :



No	Depth (m)	Tebal (m)	D (m)	Ap	As	N _{SPT}
1	2	2	0,6	0,283	3,771	6
2	4	2	0,6	0,283	3,771	5
3	6	2	0,6	0,283	3,771	2
4	8	2	0,6	0,283	3,771	8
5	10	2	0,6	0,283	3,771	8
6	12	2	0,6	0,283	3,771	3
7	14	2	0,6	0,283	3,771	8
8	16	2	0,6	0,283	3,771	6
9	18	2	0,6	0,283	3,771	5
10	20	2	0,6	0,283	3,771	4
11	22	2	0,6	0,283	3,771	5
12	24	2	0,6	0,283	3,771	7
13	26	2	0,6	0,283	3,771	11
14	28	2	0,6	0,283	3,771	14
15	30	2	0,6	0,283	3,771	11
16	32	2	0,6	0,283	3,771	8
17	34	2	0,6	0,283	3,771	16
18	36	2	0,6	0,283	3,771	21
19	38	2	0,6	0,283	3,771	20
20	40	2	0,6	0,283	3,771	21
21	42	2	0,6	0,283	3,771	18
22	44	2	0,6	0,283	3,771	21
23	46	2	0,6	0,283	3,771	24
24	48	2	0,6	0,283	3,771	21
25	50	2	0,6	0,283	3,771	27
26	52	2	0,6	0,283	3,771	22
27	54	2	0,6	0,283	3,771	23
28	56	2	0,6	0,283	3,771	33
29	58	2	0,6	0,283	3,771	36
30	60	2	0,6	0,283	3,771	37

Gambar 3.2 Data Penyelidikan Tanah

(Sumber : PT. BUKAKA Teknik Utama)

3.2.3. Data Teknis Proyek

Informasi data teknis berasal dari pembangunan Penggantian Jembatan Kalibanger Semarang, berdasarkan perhitungan konsultan perencanaan, misalnya :

1. Jenis Fondasi = Spun Pile
2. Dimensi Fondasi = D60 cm
3. Kedalaman Fondasi = 40 m
4. Mutu Beton Fondasi = K-600

Setelah mendapatkan data teknis, penulis akan melakukan perbandingan dengan data teknis yang penulis rencanakan, berdasarkan perencanaan penulis, misalnya:

1. Jenis Fondasi = *Bored Pile*
2. Dimensi Fondasi = D50 cm
3. Kedalaman Fondasi = 40 m
4. Mutu Beton Fondasi = K-350

3.3. Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini diperlukan beberapa tahap pelaksanaan untuk bisa mencapai maksud dan tujuan penelitian, seperti berikut ini :

1. Survei lokasi wilayah untuk mengetahui kondisi tanah dan kondisi lingkungan di sekitar proyek
2. Setelah melakukan survei lokasi maka dapat mengidentifikasi masalah yang timbul pada saat pengerjaan
3. Studi kepustakaan terhadap jurnal-jurnal terkait pembahasan analisis perbandingan daya dukung fondasi dan penurunannya
4. Melakukan pengumpulan data yang dibutuhkan dari pihak konsultan perencanaan
5. Diskusi serta membahas tentang data yang telah didapatkan bersama dosen pembimbing berdasarkan teori-teori yang terkait dalam pembahasan ini, dengan melakukan perhitungan struktur atas (Jembatan) guna menentukan beban yang diterima dari fondasi
6. Pemodelan struktur menggunakan software SAP2000

Perhitungan beban menggunakan Program SAP2000 v.14. berikut Langkah-langkahnya :

- a. *Model frame 3D, new model*, ganti satuan menjadi kN, m, C lalu klik 3D model.
 - b. Mengatur koordinat, klik kanan, lalu klik Edit Grid data.
 - c. Lalu klik *define – material – modify*.
 - d. Klik *define – section properties – frame section*, lalu pilih bahannya karena memakai beton oleh karena itu pilih *concrete*.
 - e. Lalu pilih bentuk sesuai kebutuhan dan klik *concrete reinforcement*.
 - 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 propertiesnya.
 - h. Klik *define – load patterns* – lalu muncul dialog, 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 – distributed*.
 - 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 spektrum sesuai data yang diambil dari website <http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain Spektra Indonesia> dan juga SNI 1725 : 2016. Caranya klik *define - funtions – respons 39 spectrum* – pilih IBC2006
 - m. Klik *define-load cases – modify RSX dan RS*
 - n. Setelah semua data diinput, klik *Analyze-Run Analyze-ok*
7. Menghitung kapasitas daya dukung dan penurunan pada tiang dengan :
- Perhitungan Fondasi Tiang Pancang Metode *Meyerhof (1956)* berdasarkan persamaan 2.2, 2.3, dan 2.4
- Perhitungan Fondasi Bored Pile Metode *Meyerhof (1956)* berdasarkan persamaan 2.5, 2.6, dan 2.7
- Perhitungan Daya Dukung Ujung Tiang Pancang Metode *Reese & Wright (1977)* berdasarkan persamaan 2.8, 2.9, 2.10, 2.11, dan 2.12

Perhitungan Daya Dukung Friksi Tiang Metode Meyerhof (1956) berdasarkan persamaan 2.13, 2.14, 2.15, dan 2.16

Perhitungan Daya Dukung Friksi Tiang Metode Reese & Wright (1977) berdasarkan persamaan 2.17, 2.18, 2.19, 2.20, dan 2.21

Perhitungan Penurunan Tiang Kelompok Metode Vesic (1977) berdasarkan persamaan 2.47

Perhitungan Metode *software* PLAXIS V8.6

8. Pemodelan menggunakan *software* PLAXIS V8.6

Situasi yang terjadi di lapangan disimulasikan dengan *software* Plaxis 8.6. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan hasil perhitungan pada program Plaxis 8.6 sebagai cerminan dari kerja nyata di lapangan.

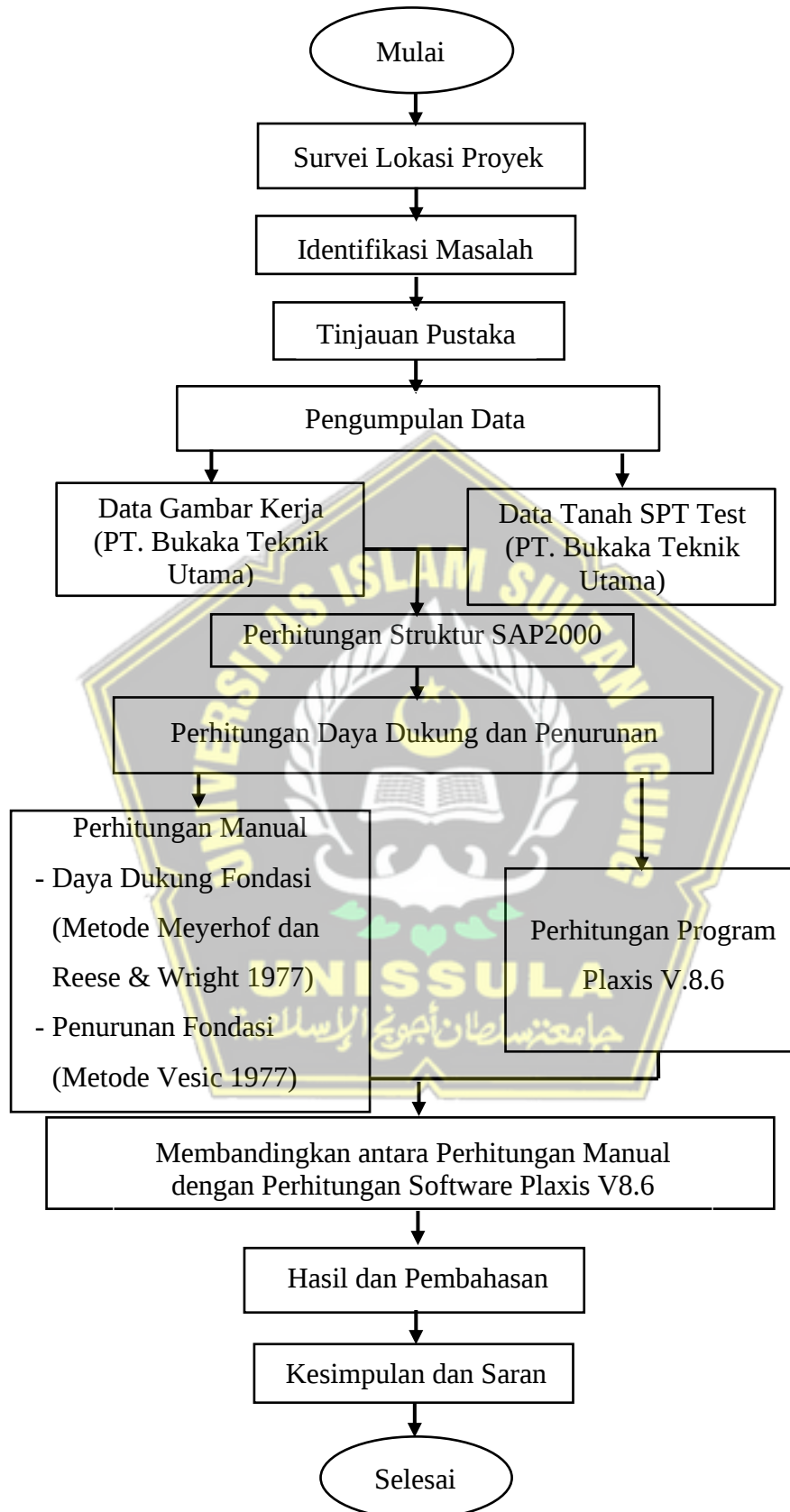
Tahapan pengerjaan pada program Plaxis 8.6 meliputi :

- a. Plaxis 8.6 – *new file* – input data
- b. Pendefinisian dan input parameter diantaranya meliputi parameter tanah, *vertical drain*, timbunan, perkerasan, dan *service load*
- c. Pembentukan *mesh* secara keseluruhan
- d. *Install Condition* : menyatakan kondisi asli tanah perlapisan dan tinggi muka air tanah
- e. Mononaktifkan timbunan tanah yang berada pada tanah asli
- f. K0 Prosedur – perbarui, kemudian hitung
- g. Aktifkan timbunan tiap 1m
- h. Aktifkan timbunan tiap 2m
- i. Melakukan tahap 6 sampai tahap 8 sampai timbunan 40m
- j. Aktifkan perkerasan
- k. Aktifkan pembebanan
- l. Konsolidasi selama 1 tahun
- m. Konsolidasi selama 3 tahun
- n. Konsolidasi selama 10 tahun
- o. Perhitungan *safety fact*

9. Melakukan perbandingan antara perhitungan manual dengan pemodelan *software* PLAXIS V8.6
10. Membuat kesimpulan setelah mendapat hasil dari perhitungan analisis.



Skema pelaksanaan pada studi kasus ini (Gambar 3.3) :



Gambar 3.3. Diagram Alir Pelaksanaan

BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

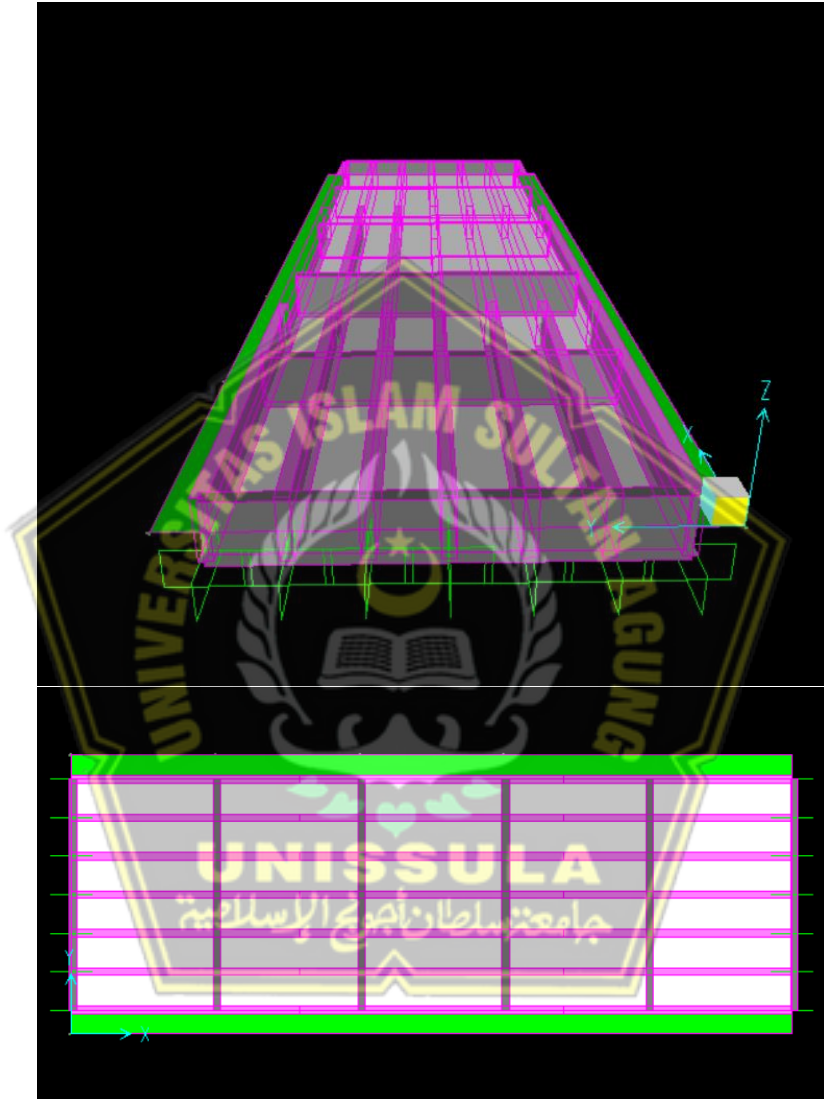
4.1. Tinjauan Umum

Dalam pembahasan analisa dan perhitungan adalah menganalisa data yang telah penulis dapatkan dari *shop drawing* serta data tanah pada proyek Jembatan Kalibanger Semarang yang berlokasi di jalan raya Raden Patah, Kelurahan Kemijen Kecamatan Gayamsari, kota Semarang, Jawa Tengah, Jawa tengah. Pada perencanaan dan pelaksanaan fondasi pada proyek sebelumnya, proyek Jembatan Semarang menggunakan jenis fondasi Tiang Pancang dengan ukuran diameter 60 cm dengan kedalaman 40m. Untuk perencanaan ulang dan sebagai perbandingan yang efisien maka penulis merencanakan fondasi yang dipakai yaitu fondasi *Bored Pile* dengan diameter 50 cm serta kedalaman 40 m dan fondasi Tiang Pancang dengan diameter 60 cm serta kedalaman 40 m. Data yang dipakai guna menghitung daya dukung dan penurunannya memakai data penyelidikan tanah (*SPT*) dan dilakukan menggunakan metode *Meyerhoff (1956)*, *Reese & Wright (1997)* dan *Vesic (1997)* serta menggunakan software Plaxis.

Dalam perencanaan struktur atas guna untuk mencari beban bangunan penulis menggunakan software SAP2000. Pada pembebanan pada pembangunan jembatan struktur menggunakan SNI 1725:2016, sebagai pedoman perencanaan pembebanan untuk jembatan.

4.2. Pemodelan Struktur Atas Menggunakan SAP2000 V14

Pada permodelan struktur Jembatan Kalibanger Semarang menggunakan program *software* SAP2000 V14. Permodelan ini memiliki fungsi untuk mengetahui besarnya beban maksimal kemudian hasilnya digunakan untuk perhitungan analisa daya dukung dan penurunan untuk fondasi. Gambar 4.1 :



Gambar 4.1 Permodelan Sruktur dengan SAP2000 V14

4.3. Kriteria Desain Permodelan Struktur dengan SAP2000 V14

Data plat lantai direncana :

- Mutu beton = K-250 = 25 kN/m^3
- Tebal plat lantai jembatan (h) = $20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$
- Tebal aspal (t_a) = $5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$
- Tebal beton selimut (p) = $5 \text{ cm} = 0,05$
- Diameter tulangan pokok (D_{pokok}) = $1,6 \text{ cm} = 0,016 \text{ m}$
- Diamter tulangan bagi (D_{bagi}) = $1,3 \text{ cm} = 0,012 \text{ m}$
- Berat jenis bertulangan (γ_c) = 71 kN/m^3
- Berat jenis aspal (γ_a) = 22 kN/m^3
- Panjang bentang (L_n) = $3000 \text{ cm} = 30 \text{ m}$
- Lebar jembatan (B_l) = $1100 \text{ cm} = 11 \text{ m}$
- Lebar jalur kendaraan (B_2) = $1000 \text{ cm} = 10 \text{ m}$

4.4. Pembebanan Struktur

4.4.1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati ialah beban semua bagian bangunan yang terpasang, seperti bahan dari bagian bangunan yang sudah terpasang struktur serta pada bagian arsitektural lainnya (SNI 1725 : 2016). Dalam pemodelan rencana penulis menggunakan *software* SAP2000 V14. Berikut ini ialah bagian beban-beban yang bekerja pada bangunan gedung. Tabel 4.1

Tabel 4.1 Beban Mati

No.	Bahan	Berat isi (kN/m^3)	Kerapatan masa (kN/m^3)
1	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22,0	2245
2	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compated sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (<i>rolled graved, macadam or nallast</i>)	18,8-22,7	1920-2315

No.	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan masa (kN/m ³)
5	Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22,0	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f_c < 35$ Mpa	22,0-25,0	2320
	$35 < f_c < 105$ MPa	$22 + 0,022 f_c$	$2240 + 2,29 f_c$
8	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11,0	1125

(Sumber : SNI 1725 : 2016)

Perhitungan pembebanan plat lantai jembatan

- Beban mati sendiri (MS)

Berat plat lantai jembatan

$$\begin{aligned}
 Q_{MS} &= \gamma_c \times h \times B_t \\
 &= 71 \times 0,2 \times 11 \\
 &= 156 \text{ kN/m}^3
 \end{aligned}$$

- Beban mati tambahan (MA)

Lapisan aspal

$$\begin{aligned}
 Q_{MA} &= \gamma_a \times t_a \times B_2 \\
 &= 22 \times 0,05 \times 10 \\
 &= 11 \text{ kN/m}^3
 \end{aligned}$$

4.4.2. Beban Lajur Lalu Lintas

Berikut adalah beban lajur lalu lintas yang digunakan untuk pembebanan jembatan kalibanger. Tabel 4.2, 4.3 dan 4.4

Tabel 4.2 Beban 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

Tipe Jembatan (1)	Lebar Bersih Jembatan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n)
Dua Arah, tanpa Median	$12.500 \leq w < 15.250$	5
	$w < 15.250$	6
Dua Arah, dengan Median	$5500 \leq w < 8000$	2
	$8000 \leq w < 10.750$	3
	$11.000 \leq w < 13.500$	4
	$13.500 \leq w < 15.250$	5
	$w < 16.250$	6
Catatan (1) : Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh instansi yang berwenang Catatan (2) : Lebar lajur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb atau rintangan atau median dan median untuk banyak arah		

(Sumber : SNI 1725 : 2016)

Berdasarkan tabel jumlah lajur lalu lintas rencana diatas Jembatan Kalibanger termasuk dalam jenis tipe jembatan dua jalu tanpa median, karena lebar bersih jembatan 1100 mm atau 11 meter dan menggunakan 4 lajur lalu lintas rencana

Tabel 4.3 Faktor Beban Untuk Beban Lajur

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan(γ^S_{TD})	Keadaan Batas Layan(γ^U_{TD})
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

(Sumber : SNI 1725 : 2016)

Berdasarkan tabel faktor beban diatas Jembatan Kalibanger termasuk jembatan boks girder baja, maka faktor beban keadaan batas layan 1,0 dan faktor bahan keadaan batas ultimit 2,00

Tabel 4.4 Klasifikasi Jalan

Tipe Beban Jembatan		Kelas Rencana		
		Tipe I : kelas	Tipe II	
			LHR	Kelas
Primer	Arteri	I	Semua lalu lintas	I
	Kolektor	II	≥ 10.000	I
			< 10.000	II
Sekunder	Arteri	II	≥ 20.000	I
			< 20.000	II
	Kolektor	NA	≥ 6.000	II
			< 6.000	III
	Lokal	NA	≥ 500	III
			< 500	IV

(Sumber : SNI 1725 : 2016)

Berdasarkan tabel klasifikasi jalan diatas Jembatan Kalibanger termasuk dalam jenis fungsional sekunder arteri.

4.4.3. Beban Gempa (Seismic)

A. Faktor Keutamaan Struktur

Faktor keutamaan suatu gempa untuk jembatan ini berdasarkan SNI 1725:2016 untuk Jembatan Kalibanger Tabel 4.4

Tabel 4.5 Faktor Akibat Gempa
Kategori Risiko

Jangka Waktu	Kategori Risiko		
	γ_{BF}^S	γ_{BF}^U	
		Biasa	Terkurang
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		

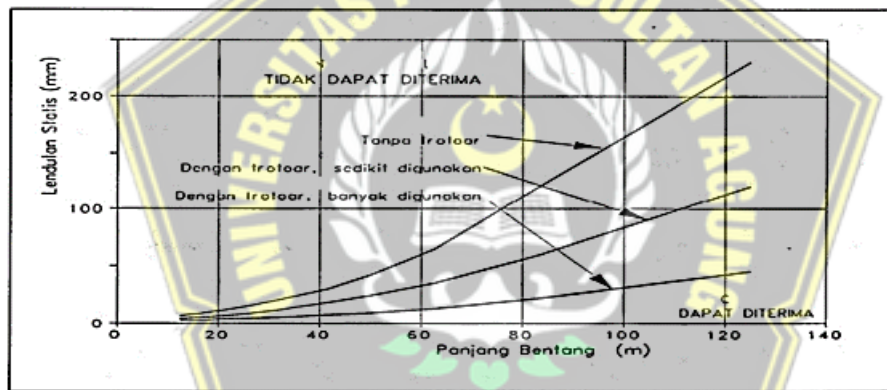
(Sumber : SNI 1725:2016)

B. Pengaruh Gempa

Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa. Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktural diperlukan untuk beberapa kasus. Kerja yang lebih tinggi seperti kinerja operasional dapat ditetapkan oleh pihak yang berwenang.

a. Pengaruh Gempa Jembatan Tanpa Trotoar

Getaran pada jembatan harus diselidiki untuk keadaan batas daya layan terhadap getaran. Dua arah tanpa median lalu lintas rencana dengan pembebanan “beban lajur D”, dengan faktor beban 1,0 harus ditempatkan sepanjang bentang agar diperoleh lendutan maksimum pada jembatan. Lendutan ini tidak boleh melampaui apa diberikan dalam gambar 30 untuk mendapatkan tingkat kegunaan pada perjalanan kaki.



Gambar 4.2 Gambar Lendutan Akibat Gempa

Tabel 4.6 Beban dan Perkiraan Tipe Fondasi Rencana

TABLE: Element Joint Forces - Frames										
Frame	Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3	FrameElem
Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text
316	~97	COMB2	Combination	0,164	0,002558	-1631,286	-0,2939	-5124,3099	-0,0045	316-9
316	~97	COMB1	Combination	0	0	1721,275	0,2628	5787,9029	0	316-10
316	230	COMB1	Combination	0	0	-1721,193	-0,2628	-6304,273	0	316-10
316	~97	COMB2	Combination	-0,2	-0,001889	1524,805	0,2328	5127,2651	-0,0158	316-10
316	230	COMB2	Combination	0,2	0,001889	-1524,73	-0,2328	-5584,6954	0,0153	316-10
317	230	COMB1	Combination	0	0	1721,193	0,2628	6304,273	0	317-1
317	~99	COMB1	Combination	0	0	-1721,165	-0,2628	-6476,391	0	317-1
317	230	COMB2	Combination	-0,2	-0,001889	1524,73	0,2328	5584,6954	-0,0153	317-1
317	~99	COMB2	Combination	0,2	0,001889	-1524,705	-0,2328	-5737,1672	0,0151	317-1
317	~99	COMB1	Combination	0	0	1601,04	0,2082	6479,5018	0	317-2
317	~101	COMB1	Combination	0	0	-1600,93	-0,2082	-7119,8957	0	317-2
317	~99	COMB2	Combination	-0,2	-0,00687	1418,295	0,1845	5739,923	-0,0067	317-2
317	~101	COMB2	Combination	0,2	0,00687	-1418,195	-0,1845	-6307,2209	0,0039	317-2
317	~101	COMB1	Combination	0	0	1480,866	0,165	7122,7814	0	317-3
317	~103	COMB1	Combination	0	0	-1480,757	-0,165	-7715,106	0	317-3
317	~101	COMB2	Combination	-0,169	-0,001015	1311,839	0,1462	6309,7772	0,0073	317-3
317	~103	COMB2	Combination	0,169	0,001015	-1311,74	-0,1462	-6834,493	-0,0077	317-3
317	~103	COMB1	Combination	0	0	1360,742	0,1308	7717,7666	0	317-4
317	~105	COMB1	Combination	0	0	-1360,633	-0,1308	-8262,0417	0	317-4
317	~103	COMB2	Combination	-0,157	-0,002444	1205,428	0,1158	6836,85	0,0027	317-4

TABLE: Element Joint Forces - Frames										
Frame	Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3	FrameElem
Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m	Text
317	~103	COMB2	Combination	-0,157	-0,002444	1205,428	0,1158	6836,85	0,0027	317-4
317	~105	COMB2	Combination	0,157	0,002444	-1205,328	-0,1158	-7319,0012	-0,0037	317-4
317	~105	COMB1	Combination	0	0	1240,658	0,1036	8264,4775	0	317-5
317	~107	COMB1	Combination	0	0	-1240,548	-0,1036	-8760,7186	0	317-5
317	~105	COMB2	Combination	-0,164	-0,002494	1099,051	0,0918	7321,159	0,0047	317-5
317	~107	COMB2	Combination	0,164	0,002494	-1098,951	-0,0918	-7760,7594	-0,0057	317-5
317	~107	COMB1	Combination	0	0	1120,604	0,0821	8762,9295	0	317-6
317	~109	COMB1	Combination	0	0	-1120,494	-0,0821	-9211,1492	0	317-6
317	~107	COMB2	Combination	-0,196	-0,002187	992,701	0,0728	7762,718	0,0055	317-6
317	~109	COMB2	Combination	0,196	0,002187	-992,602	-0,0728	-8159,7786	-0,0064	317-6
317	~109	COMB1	Combination	0	0	1000,575	0,0651	9213,1353	0	317-7
317	14	COMB1	Combination	0	0	-1000,465	-0,0651	-9613,3432	0	317-7
317	~109	COMB2	Combination	-0,233	0,002432	886,374	0,0577	8161,5381	-0,0104	317-7
317	14	COMB2	Combination	0,233	-0,002432	-886,274	-0,0577	-8516,0676	0,0114	317-7
317	14	COMB1	Combination	0	0	880,425	0,0516	9615,1044	0	317-8
317	~111	COMB1	Combination	0	0	-880,316	-0,0516	-9967,2526	0	317-8
317	14	COMB2	Combination	-0,236	-0,004149	779,924	0,0457	8517,6278	-0,0118	317-8
317	~111	COMB2	Combination	0,236	0,004149	-779,824	-0,0457	-8829,5774	0,0101	317-8
317	~111	COMB1	Combination	0	0	760,431	0,0409	9968,7889	0	317-9

Data hasil *Output Joint Reactions* software SAP2000 V.14 tabel 4.5 dihasilkan beban maksimum sebesar 9968,7889 kN.

4.5. Analisa Daya Dukung Aksial Fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*)

Diketahui :

Joint 111 = 9968,7889 kN

Dimensi = 60cm = 0,6 m

Kedalaman = 40 m

Keliling (O) = $\pi \times d$

$$= \frac{22}{7} \times 0,6$$

$$= 1,885 \text{ m}$$

Luas Selimut (As) = $\pi \times 2 \times d$ (per kedalaman 2 m)

$$= \frac{22}{7} \times 2 \times 0,6$$

$$= 3,771 \text{ m}^2$$

Luas Penampang (Ap) = $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2$

$$= \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times 0,6^2$$

$$= 0,283 \text{ m}^2$$

4.5.1. Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal Fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*) Menggunakan Metode *Meyerhoff* (1956)

Hitungan untuk daya dukung pada fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*) dengan memakai metode *Meyerhoff* (1956) dapat dilakukan perhitungan menggunakan persamaan :

A. Daya Dukung Ujung Fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*) (Q_p)

Hitungan untuk kohesi tanah (C_u) kedalaman 40 m sesuai persamaan 2.1 :

$$C_u = D \times N\text{-spt}$$

$$C_u = 0,6 \times 21$$

$$C_u = 12,60 \text{ ton/m}^2$$

$$C_u = 126 \text{ kN/m}^2$$

Untuk hasil analisa kedalaman 40 meter kohesi tanah tidak berdrainase pada tanah dibawah dasar tiang yang didapatkan perhitungan pada tiang pancang (*Spun Pile*) adalah 126 kN/m^2

Hitungan untuk daya dukung ujung tiang (Q_p) kedalaman 40 m sesuai persamaan 2.2 :

$$Q_p = 9 \times A_p \times C_u$$

$$Q_p = 9 \times 0,283 \times 12,60$$

$$Q_p = 32,08 \text{ ton}$$

$$Q_p = 320,8 \text{ kN}$$

Untuk daya dukung tiang ujung dari hasil perhitungan diatas kedalaman 40 meter pada tiang pancang (*Spun Pile*) adalah $320,8 \text{ kN}$

B. Daya Dukung Friksi Tiang (*Skin Friction*)

Hitungan untuk daya dukung selimut tiang (*Skin Friction*) kedalaman 40 sesuai persamaan 2.13 :

$$Q_s = 0,55 \times K \times C_u \times L$$

$$Q_s = 0,55 \times 1,131 \times 12,60 \times 40$$

$$Q_s = 313,51 \text{ ton}$$

$$Q_s = 3135,1 \text{ kN}$$

Untuk daya dukung tiang selimut dari hasil perhitungan diatas kedalaman 40 meter pada tiang pancang (*Spun Pile*) adalah 3135,1 kN

C. Daya Dukung Ultimit (*Qult*)

Hitungan untuk daya dukung ultimit (*Qult*) kedalaman 40 m sesuai Persamaan 2.22:

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

$$Q_{ult} = 32,08 + 313,51$$

$$Q_{ult} = 345,59 \text{ ton}$$

$$Q_{ult} = 3455,9 \text{ kN}$$

Untuk daya dukung Ultimit dari hasil perhitungan diatas kedalaman 40 meter pada tiang pancang (*Spun Pile*) adalah 3455,9 kN

D. Daya Dukung yang Di iijinkan (*Qall*)

Hitungan untuk daya dukung yang diijinkan (*Qall*) kedalaman 40 sesuai persamaan 2.23 :

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

$$Q_{all} = \frac{345,59}{3}$$

$$Q_{all} = 115,20 \text{ ton}$$

$$Q_{all} = 1130,08 \text{ kN}$$

Untuk daya dukung yang diijinkan dari hasil perhitungan diatas kedalaman 40 meter pada tiang pancang (*Spun Pile*) adalah 1130,08 kN

4.5.2. Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal Fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*) Menggunakan Metode Reese & Wright (1997)

Hitungan untuk daya dukung tiang pada fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*) memakai metode Reese & Wright (1997) dapat dilakukan perhitungan menggunakan persamaan berikut :

A. Daya Dukung Ujung Fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*)

Hitungan untuk kohesi tak terdrainase (c_u) kedalaman 40 m sesuai persamaan 2.10:

$$C_u = D \times N\text{-spt}$$

$$C_u = 0,6 \times 21$$

$$C_u = 12,60 \text{ ton/m}^2$$

$$C_u = 126 \text{ kN/m}^2$$

Untuk hasil analisa kedalaman 40 meter kohesi tanah tidak berdrainase pada tanah dibawah dasar tiang yang didapatkan perhitungan pada tiang pancang (*Spun Pile*) 126 kN/m²

Hitungan untuk tahanan ujung tiang (q_p) kedalaman 40 m sesuai persamaan 2.9 :

$$q_p = 9 \times C_u$$

$$q_p = 9 \times 12,60$$

$$q_p = 113,4 \text{ ton}$$

$$q_p = 1134 \text{ kN}$$

Untuk tahanan ujung tiang persatuan luas dari hasil perhitungan diatas kedalaman 40 meter pada tiang pancang (*Spun Pile*) adalah 1134 kN

Hitungan untuk daya dukung ujung tiang (Q_p) kedalaman 40 m sesuai persamaan 2.11 :

$$Q_p = q_p \times A_p$$

$$Q_p = 113,4 \times 0,283$$

$$Q_p = 32,08 \text{ ton}$$

$$Q_p = 320,8 \text{ kN}$$

Untuk daya dukung tiang ujung dari hasil perhitungan diatas kedalaman 40 meter pada tiang pancang (*Spun Pile*) adalah 320,8 kN

B. Daya Dukung Friksi Tiang (*Skin Friction*)

Hitungan untuk tahanan gesek tiang (f_s) kedalaman 2 m sesuai persamaan 2.18 :

$$f_s = \alpha \times C_u$$

$$f_s = 0,55 \times 12$$

$$f_s = 1,98 \text{ ton}$$

$$f_s = 19,8 \text{ kN}$$

Untuk tahanan geser tiang dari hasil perhitungan diatas kedalaman 2 meter pada tiang pancang (*Spun Pile*) adalah 19,8 kN

Hitungan untuk tahanan gesek tiang (f_s) kedalaman 40 m sesuai persamaan 2.18 :

$$f_s = \alpha \times C_u$$

$$f_s = 0,55 \times 12,60$$

$$f_s = 6,93 \text{ ton}$$

$$f_s = 69,3 \text{ kN}$$

Untuk tahanan geser tiang dari hasil perhitungan diatas kedalaman 40 meter pada tiang pancang (*Spun Pile*) adalah 69,3 kN

Hitungan untuk daya dukung selimut tiang (Q_s) kedalaman 2 m sesuai persamaan 2.17 :

$$Q_s = f_s \times A_s$$

$$Q_s = 1,98 \times 3,771$$

$$Q_s = 7,47 \text{ ton}$$

$$Q_s = 74,7 \text{ kN}$$

Untuk daya dukung selimut tiang dari hasil perhitungan diatas kedalaman 2 meter pada tiang pancang (*Spun Pile*) adalah 74,7 kN

Hitungan untuk daya dukung selimut tiang (Q_s) kedalaman 40 m sesuai persamaan 2.17 :

$$Q_s = f_s \times A_s$$

$$Q_s = 6,3 \times 3,771$$

$$Q_s = 26,14 \text{ ton}$$

$$Q_s = 261,4 \text{ kN}$$

Untuk daya dukung selimut tiang dari hasil perhitungan diatas kedalaman 40 meter pada tiang pancang (*Spun Pile*) adalah 26,14 ton

$$Q_{S \text{ Kumulatif}} = 7,47 + 6,22 + 2,49 + 9,96 + 9,96 + 3,73 + 9,96 + 7,47 + 6,22 + 4,98 + 6,22 + 8,71 + 13,69 + 17,42 + 13,69 + 9,96 + 19,91 + 26,14 + 22,40 + 26,14$$

$$Q_{S \text{ Kumulatif}} = 232,73 \text{ ton}$$

$$Q_{S \text{ Kumulatif}} = 2327,3 \text{ kN}$$

Untuk daya dukung selimut tiang komulatif hasil perhitungan kedalaman 2 meter sampai 40 meter pada tiang pancang (*Spun Pile*) adalah 2327,3 kN

C. Daya Dukung Ultimit (Qult)

Hitungan untuk daya dukung ultimit pada tiang (Qult) kedalaman 40 m sesuai persamaan 2.22 :

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

$$Q_{ult} = 32,08 + 232,73$$

$$Q_{ult} = 264,81 \text{ ton}$$

$$Q_{ult} = 2648,1 \text{ ton}$$

Untuk daya dukung ultimit pada tiang dari hasil perhitungan diatas kedalaman 40 meter pada tiang pancang (*Spun Pile*) adalah 2648,1 kN

D. Daya Dukung yang Di ijin (Qall)

Hitungan untuk daya dukung yang diijinkan (Qall) kedalaman 40 m sesuai persamaan 2.23 :

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

$$Q_{all} = \frac{264,81}{3}$$

$$Q_{all} = 88,27 \text{ ton}$$

$$Q_{all} = 865,93 \text{ kN}$$

Untuk daya dukung yang diijinkan dari hasil perhitungan diatas kedalaman 40 meter pada tiang pancang (*Spun Pile*) adalah 865,93 kN

4.6. Analisa Daya Dukung Aksial Fondasi *Bored Pile*

Diketahui :

$$\text{Joint 256} = 44786,4935 \text{ kN}$$

$$\text{Dimensi} = 50\text{cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman} = 40 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{Keliling (O)} &= \pi \times d \\ &= \frac{22}{7} \times 0,5 \\ &= 1,57 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas Selimut (As)} &= \pi \times 2 \times d \\ &= \frac{22}{7} \times 2 \times 0,5 \\ &= 3,143 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas Penampang (Ap)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times 0,5^2 \\ &= 0,196 \text{ m}^2\end{aligned}$$

4.6.1. Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal Fondasi *Bored Pile* Menggunakan Metode *Meyerhoff* (1956)

Hitungan untuk daya dukung pada fondasi *Bored Pile* memakai metode *Meyerhoff* (1956) dapat dilakukan perhitungan menggunakan persamaan berikut :

A. Daya Dukung Ujung Fondasi *Bored Pile* (Q_p)

Hitungan untuk rata rata nilai N-SPT kedalaman 40 m sesuai persamaan 2.6 :

Hitungan untuk kohesi tanah (C_u) kedalaman 40 m sesuai persamaan 2.1 :

$$C_u = D \times N\text{-spt}$$

$$C_u = 0,5 \times 21$$

$$C_u = 10,50 \text{ ton/m}^2$$

$$C_u = 105 \text{ kN/m}^2$$

Untuk hasil analisa kedalaman 40 meter kohesi tanah tidak berdrainase pada tanah dibawah dasar tiang yang didapatkan perhitungan pada *Bored Pile* adalah 105 kN/m^2

Hitungan untuk daya dukung ujung tiang (Q_p) kedalaman 40 m sesuai persamaan 2.5 :

$$Q_p = 9 \times A_p \times C_u$$

$$Q_p = 9 \times 3,143 \times 10,50$$

$$Q_p = \mathbf{18,56 \text{ ton}}$$

$$\mathbf{Q_p = 185,6 \text{ kN}}$$

Untuk daya dukung tiang ujung dari hasil perhitungan diatas kedalaman 40 meter pada *Bored Pile* adalah 185,6 kN

B. Daya Dukung Friksi Tiang (*Skin Friction*)

Hitungan untuk daya dukung selimut tiang (*Skin Friction*) kedalaman 40 sesuai persamaan 2.13 :

$$Q_s = 0,55 \times K \times C_u \times L$$

$$Q_s = 0,55 \times 0,785 \times 10,50 \times 40$$

$$\mathbf{Q_s = 181,34 \text{ ton}}$$

$$\mathbf{Q_s = 1813,4 \text{ kN}}$$

Untuk daya dukung tiang selimut dari hasil perhitungan diatas kedalaman 40 meter pada *Bored Pile* adalah 1813,4 kN

C. Daya Dukung Ultimit (*Qult*)

Hitungan untuk daya dukung ultimit (*Qult*) kedalaman 40 m sesuai Persamaan 2.22:

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

$$Q_{ult} = 18,56 + 181,34$$

$$\mathbf{Q_{ult} = 199,9 \text{ ton}}$$

$$\mathbf{Q_{ult} = 1999 \text{ kN}}$$

Untuk daya dukung Ultimit dari hasil perhitungan diatas kedalaman 40 meter pada *Bored Pile* adalah 1999 kN

D. Daya Dukung yang Di iijinkan (Qall)

Hitungan untuk daya dukung yang diijinkan (Qall) kedalam 40 sesuai persamaan 2.23 :

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

$$Q_{all} = \frac{199,9}{3}$$

$$Q_{all} = 66,63 \text{ ton}$$

$$Q_{all} = 653,66 \text{ kN}$$

Untuk daya dukung yang diijinkan dari hasil perhitungan diatas kedalam 40 meter pada *Bored Pile* adalah 653,66 kN

4.6.2. Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal Fondasi *Bored Pile* Menggunakan Metode Reese & Wright (1977)

Hitungan untuk daya dukung pada tiang fondasi *Bored Pile* memakai metode Reese & Wright (1997) dapat dilakukan perhitungan menggunakan persamaan berikut :

A. Daya Dukung Ujung Fondasi Tiang Pancang (*Bored Pile*)

Hitungan untuk kohesi tak terdrainase (c_u) kedalam 40 m sesuai persamaan 2.10:

$$c_u = D \times N\text{-spt}$$

$$c_u = 0,5 \times 21$$

$$c_u = 10,50 \text{ ton}$$

$$c_u = 105 \text{ kN/m}^2$$

Untuk hasil analisa kedalam 40 meter kohesi tanah tidak berdrainase pada tanah dibawah dasar tiang yang didapatkan perhitungan pada *Bored Pile* adalah 105 kN/m^2

Hitungan untuk tahanan ujung tiang (q_p) kedalam 40 m sesuai persamaan 2.9 :

$$q_p = 9 \times c_u$$

$$q_p = 9 \times 10,50$$

$$q_p = 94,50 \text{ ton}$$

$$q_p = 945 \text{ kN}$$

Untuk tahanan ujung tiang persatuan luas dari hasil perhitungan diatas kedalam 40 meter pada *Bored Pile* adalah 945 kN

Hitungan untuk daya dukung ujung tiang (Q_p) kedalaman 40 m sesuai persamaan 2.11 :

$$Q_p = q_p \times A_p$$

$$Q_p = 94,50 \times 0,196$$

$$Q_p = 18,56 \text{ ton}$$

$$Q_p = 185,6 \text{ kN}$$

Untuk daya dukung tiang ujung dari hasil perhitungan diatas kedalaman 40 meter pada *Bored Pile* adalah 185,6 kN

B. Daya Dukung Friksi Tiang (*Skin Friction*)

Hitungan untuk tahanan gesek tiang (f_s) kedalaman 2 m sesuai persamaan 2.18 :

$$f_s = \alpha \times C_u$$

$$f_s = 0,55 \times 3$$

$$f_s = 1,65 \text{ ton}$$

$$f_s = 16,5 \text{ kN}$$

Untuk tahanan geser tiang dari hasil perhitungan diatas kedalaman 2 meter pada *Bored Pile* adalah 16,5 kN

Hitungan untuk tahanan gesek tiang (f_s) kedalaman 40 m sesuai persamaan 2.18 :

$$f_s = \alpha \times C_u$$

$$f_s = 0,55 \times 10,50$$

$$f_s = 5,78 \text{ ton}$$

$$f_s = 57,8 \text{ kN}$$

Untuk tahanan geser tiang dari hasil perhitungan diatas kedalaman 40 meter pada *Bored Pile* adalah 57,8 kN

Hitungan untuk daya dukung selimut tiang (Q_s) kedalaman 2 m sesuai persamaan 2.17 :

$$Q_s = f_s \times A_s$$

$$Q_s = 1,65 \times 3,143$$

$$Q_s = 5,19 \text{ ton}$$

$$Q_s = 51,9 \text{ kN}$$

Untuk daya dukung selimut tiang dari hasil perhitungan diatas kedalaman 40 meter pada *Bored Pile* adalah 51,9 kN

Hitungan untuk daya dukung selimut tiang (Q_s) kedalaman 40 m sesuai persamaan 2.17 :

$$Q_s = f_s \times A_s$$

$$Q_s = 5,78 \times 3,143$$

$$Q_s = 18,56 \text{ ton}$$

$$Q_s = 185,6 \text{ kN}$$

Untuk daya dukung selimut tiang dari hasil perhitungan diatas kedalaman 40 meter pada *Bored Pile* adalah 185,6 kN

$$Q_{s \text{ Kumulatif}} = 5,19 + 4,32 + 1,73 + 6,91 + 6,91 + 2,59 + 6,91 + 5,19 + 4,32 + 3,46 + 4,32 + 6,05 + 9,51 + 12,10 + 9,51 + 6,91 + 13,83 + 18,15 + 15,56 + 18,56$$

$$Q_{s \text{ Kumulatif}} = 161,62 \text{ ton}$$

$$Q_{s \text{ Kumulatif}} = 1616,2 \text{ kN}$$

Untuk daya dukung selimut tiang komulatif hasil perhitungan kedalaman 2 meter sampai 40 meter pada *Bored Pile* adalah 161,62 kN

C. Daya Dukung Ultimit (Qult)

Hitungan untuk daya dukung ultimit pada tiang (Qult) kedalaman 40 m sesuai persamaan 2.22 :

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

$$Q_{ult} = 18,56 + 161,62$$

$$Q_{ult} = 180,18 \text{ ton}$$

$$Q_{ult} = 1801,8 \text{ kN}$$

Untuk daya dukung Ultimit dari hasil perhitungan diatas kedalaman 40 meter pada *Bored Pile* adalah 1801,8 kN

D. Daya Dukung yang Di iijinkan (Qall)

Hitungan untuk daya dukung yang diijinkan (Qall) kedalaman 40 m sesuai persamaan 2.23 :

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

$$Q_{all} = \frac{180,18}{3}$$

$$Q_{all} = 60,06 \text{ ton}$$

$$Q_{all} = 589,20 \text{ kN}$$

Untuk daya dukung yang diijinkan dari hasil perhitungan diatas kedalaman 40 meter pada *Bored Pile* adalah 589,20 kN/m²

Berdasarkan hasil analisa perhitungan daya dukung pada fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*) menggunakan metode *Meyerhoff (1956)* dan metode *Reese & Wright*, Tabel 4.7 dan 4.8 :

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi *Spun Pile* metode *Meyerhoff (1956)*

No	Depth (m)	Tebal (m)	D (m)	Ap	As	N _{SPT}	K	Cu	Qs	Qp (ton)	Qult (ton)	Qalt (ton)	Qalt (kN)
1	2	2	0,6	0,283	3,771	6	1,131	3,60	4,48	2,88	7,36	2,45	24,06
2	4	2	0,6	0,283	3,771	5	1,131	3,00	7,64	7,64	15,10	5,03	49,38
3	6	2	0,6	0,283	3,771	2	1,131	1,20	4,48	3,05	7,53	2,51	24,63
4	8	2	0,6	0,283	3,771	8	1,131	4,80	23,89	12,22	36,11	12,04	118,07
5	10	2	0,6	0,283	3,771	8	1,131	4,80	29,86	12,22	42,08	14,03	137,59
6	12	2	0,6	0,283	3,771	3	1,131	1,80	13,44	4,58	18,02	6,01	58,92
7	14	2	0,6	0,283	3,771	8	1,131	4,80	41,80	12,22	54,02	18,01	176,65
8	16	2	0,6	0,283	3,771	6	1,131	3,60	35,83	9,16	44,99	15,00	147,13
9	18	2	0,6	0,283	3,771	5	1,131	3,00	33,59	7,64	41,23	13,74	134,82
10	20	2	0,6	0,283	3,771	4	1,131	2,40	29,86	6,11	35,97	11,99	117,62
11	22	2	0,6	0,283	3,771	5	1,131	3,00	41,06	7,64	48,69	16,23	159,22
12	24	2	0,6	0,283	3,771	7	1,131	4,20	62,70	10,69	73,39	24,46	240,00
13	26	2	0,6	0,283	3,771	11	1,131	6,60	106,74	16,80	123,55	41,18	403,99
14	28	2	0,6	0,283	3,771	14	1,131	8,40	146,31	21,38	167,69	55,90	548,35
15	30	2	0,6	0,283	3,771	11	1,131	6,60	123,17	16,80	139,97	46,66	457,69
16	32	2	0,6	0,283	3,771	8	1,131	4,80	95,55	12,22	107,77	35,92	352,40
17	34	2	0,6	0,283	3,771	16	1,131	9,60	203,04	24,44	227,48	75,83	743,85
18	36	2	0,6	0,283	3,771	21	1,131	12,60	282,16	32,08	314,24	104,75	1027,56
19	38	2	0,6	0,283	3,771	18	1,131	10,80	255,29	27,49	282,78	94,26	924,70
20	40	2	0,6	0,283	3,771	21	1,131	12,60	313,51	32,08	345,59	115,20	1130,08

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi *Spun Pile* metode *Reese & Wright (1977)*

No	Depth (m)	Tebal (m)	D (m)	Ap	As	N _{SPT}	α	Cu	Qp (ton)	Qs (ton)	Qs kumulatif (ton)	Qult (ton)	Qall (ton)	Qall (kN)
1	2	2	0,6	0,283	3,771	6	0,55	3,60	9,16	7,47	7,47	16,63	5,54	54,39
2	4	2	0,6	0,283	3,771	5	0,55	3,00	7,64	6,22	13,69	21,33	7,11	69,74
3	6	2	0,6	0,283	3,771	2	0,55	1,20	3,05	2,49	16,18	19,23	6,41	62,90
4	8	2	0,6	0,283	3,771	8	0,55	4,80	12,22	9,96	26,14	38,36	12,79	125,42
5	10	2	0,6	0,283	3,771	8	0,55	4,80	12,22	9,96	36,09	48,31	16,10	157,98
6	12	2	0,6	0,283	3,771	3	0,55	1,80	4,58	3,73	39,83	44,41	14,80	145,22
7	14	2	0,6	0,283	3,771	8	0,55	4,80	12,22	9,96	49,78	62,00	20,67	202,75
8	16	2	0,6	0,283	3,771	6	0,55	3,60	9,16	7,47	57,25	66,41	22,14	217,18
9	18	2	0,6	0,283	3,771	5	0,55	3,00	7,64	6,22	63,47	71,11	23,70	232,53
10	20	2	0,6	0,283	3,771	4	0,55	2,40	6,11	4,98	68,45	74,56	24,85	243,81
11	22	2	0,6	0,283	3,771	5	0,55	3,00	7,64	6,22	74,67	82,31	27,44	269,16
12	24	2	0,6	0,283	3,771	7	0,55	4,20	10,69	8,71	83,39	94,08	31,36	307,64
13	26	2	0,6	0,283	3,771	11	0,55	6,60	16,80	13,69	97,08	113,88	37,96	372,38
14	28	2	0,6	0,283	3,771	14	0,55	8,40	21,38	17,42	114,50	135,88	45,29	444,34
15	30	2	0,6	0,283	3,771	11	0,55	6,60	16,80	13,69	128,19	144,99	48,33	474,13
16	32	2	0,6	0,283	3,771	8	0,55	4,80	12,22	9,96	138,15	150,37	50,12	491,70
17	34	2	0,6	0,283	3,771	16	0,55	9,60	24,44	19,91	158,06	182,50	60,83	596,77
18	36	2	0,6	0,283	3,771	21	0,55	12,60	32,08	26,14	184,20	216,27	72,09	707,21
19	38	2	0,6	0,283	3,771	18	0,55	10,80	27,49	22,40	206,60	234,09	78,03	765,48
20	40	2	0,6	0,283	3,771	21	0,55	12,60	32,08	26,14	232,73	264,81	88,27	865,93

Berdasarkan hasil analisa perhitungan daya dukung pada fondasi *Bored Pile* menggunakan metode *Meyerhoff (1956)* dan metode *Reese & Wright*, Tabel 4.9 dan 4.10 :

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi *Bored Pile* metode *Meyerhoff (1956)*

No	Depth (m)	Tebal (m)	D (m)	Ap	As	N _{SPT}	K	Cu	Qs	Qp (ton)	Qult (ton)	Qalt (ton)	Qalt (kN)
1	2	2	0,5	0,196	3,143	6	0,785	3,00	2,59	1,39	3,98	1,33	13,01
2	4	2	0,5	0,196	3,143	5	0,785	2,50	4,32	4,42	8,74	2,91	28,57
3	6	2	0,5	0,196	3,143	2	0,785	1,00	2,59	1,77	4,36	1,45	14,25
4	8	2	0,5	0,196	3,143	8	0,785	4,00	13,82	7,07	20,89	6,96	68,30
5	10	2	0,5	0,196	3,143	8	0,785	4,00	17,27	7,07	24,34	8,11	79,60
6	12	2	0,5	0,196	3,143	3	0,785	1,50	7,77	2,65	10,42	3,47	34,08
7	14	2	0,5	0,196	3,143	8	0,785	4,00	24,18	7,07	31,25	10,42	102,19
8	16	2	0,5	0,196	3,143	6	0,785	3,00	20,72	5,30	26,03	8,68	85,11
9	18	2	0,5	0,196	3,143	5	0,785	2,50	19,43	4,42	23,85	7,95	77,98
10	20	2	0,5	0,196	3,143	4	0,785	2,00	17,27	3,54	20,81	6,94	68,03
11	22	2	0,5	0,196	3,143	5	0,785	2,50	23,75	4,42	28,17	9,39	92,10
12	24	2	0,5	0,196	3,143	7	0,785	3,50	36,27	6,19	42,45	14,15	138,83
13	26	2	0,5	0,196	3,143	11	0,785	5,50	61,74	9,72	71,46	23,82	233,69
14	28	2	0,5	0,196	3,143	14	0,785	7,00	84,62	12,38	97,00	32,33	317,18
15	30	2	0,5	0,196	3,143	11	0,785	5,50	71,24	9,72	80,96	26,99	264,75
16	32	2	0,5	0,196	3,143	8	0,785	4,00	55,26	7,07	62,34	20,78	203,84
17	34	2	0,5	0,196	3,143	16	0,785	8,00	117,44	14,14	131,58	43,86	430,26
18	36	2	0,5	0,196	3,143	21	0,785	10,50	163,20	18,56	181,76	60,59	594,37
19	38	2	0,5	0,196	3,143	18	0,785	9,00	147,66	15,91	163,57	54,52	534,87
20	40	2	0,5	0,196	3,143	21	0,785	10,50	181,34	18,56	199,90	66,63	653,66

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi *Bored Pile* metode *Reese & Wright (1977)*

No	Depth (m)	Tebal (m)	D (m)	Ap	As	N _{SPT}	a	cu	Qp (ton)	Qs (ton)	Qs kumulatif (ton)	Qult (ton)	Qall (ton)	Qall (kN)
1	2	2	0,5	0,196	3,143	6	0,55	3,00	5,30	5,19	5,19	10,49	3,50	34,30
2	4	2	0,5	0,196	3,143	5	0,55	2,50	4,42	4,32	9,51	13,93	4,64	45,54
3	6	2	0,5	0,196	3,143	2	0,55	1,00	1,77	1,73	11,24	13,00	4,33	42,52
4	8	2	0,5	0,196	3,143	8	0,55	4,00	7,07	6,91	18,15	25,22	8,41	82,47
5	10	2	0,5	0,196	3,143	8	0,55	4,00	7,07	6,91	25,06	32,14	10,71	105,08
6	12	2	0,5	0,196	3,143	3	0,55	1,50	2,65	2,59	27,66	30,31	10,10	99,11
7	14	2	0,5	0,196	3,143	8	0,55	4,00	7,07	6,91	34,57	41,64	13,88	136,17
8	16	2	0,5	0,196	3,143	6	0,55	3,00	5,30	5,19	39,76	45,06	15,02	147,35
9	18	2	0,5	0,196	3,143	5	0,55	2,50	4,42	4,32	44,08	48,50	16,17	158,59
10	20	2	0,5	0,196	3,143	4	0,55	2,00	3,54	3,46	47,54	51,07	17,02	167,00
11	22	2	0,5	0,196	3,143	5	0,55	2,50	4,42	4,32	51,86	56,28	18,76	184,03
12	24	2	0,5	0,196	3,143	7	0,55	3,50	6,19	6,05	57,91	64,09	21,36	209,59
13	26	2	0,5	0,196	3,143	11	0,55	5,50	9,72	9,51	67,41	77,14	25,71	252,24
14	28	2	0,5	0,196	3,143	14	0,55	7,00	12,38	12,10	79,51	91,89	30,63	300,48
15	30	2	0,5	0,196	3,143	11	0,55	5,50	9,72	9,51	89,02	98,74	32,91	322,89
16	32	2	0,5	0,196	3,143	8	0,55	4,00	7,07	6,91	95,94	103,01	34,34	336,83
17	34	2	0,5	0,196	3,143	16	0,55	8,00	14,14	13,83	109,76	123,91	41,30	405,18
18	36	2	0,5	0,196	3,143	21	0,55	10,50	18,56	18,15	127,91	146,48	48,83	478,98
19	38	2	0,5	0,196	3,143	18	0,55	9,00	15,91	15,56	143,47	153,38	53,13	521,18
20	40	2	0,5	0,196	3,143	21	0,55	10,50	18,56	18,15	161,62	180,18	60,06	589,20

4.7. Analisa Daya Dukung Kelompok Tiang (*Pile Group*) Fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*)

4.7.1. Analisa Jarak Antar Fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*) dan Jarak As ke Tepi

a. Penentuan efisiensi jarak antar fondasi dapat dilakukan analisa sesuai persamaan 2.27 dan 2.28 :

$$2,50 \times D < S < 3,00 \times D$$

$$2,50 \times D < S < 3,00 \times D$$

$$2,50 \times 0,6 < S < 3,0 \times 0,6$$

$$1,5 < S < 1,8$$

Berdasarkan hasil analisa yang didapatkan maka, jarak antar fondasi dapat diketahui untuk nilainya $1,5 < s < 1,8$, dan disini yang akan penulis gunakan adalah nilai 1,8 meter. Karena ukuran panjang *Pile Cap* 11 meter dan lebar 3 meter jadi menggunakan jarak antar fondasi 1,8 meter

b. Penentuan jarak as fondasi ke tepi *pile cap* dapat dilakukan analisa sesuai (Persamaan 2.24)

$$S < 1,25 \times D$$

$$S < 1,25 \times 0,6$$

$$S < 0,75$$

Berdasarkan hasil analisa yang didapatkan maka, jarak dari as fondasi ke tepi *pile cap* dapat diketahui nilainya yaitu $S < 0,312$ m. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diambil nilainya yaitu 0,3 m.

4.7.2. Kebutuhan Jumlah Tiang Kelompok Fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*)

Untuk menentukan kebutuhan jumlah fondasi tiang kelompok memakai rumus :

$$n = \frac{p}{Q_{all(single)}}$$

$$n = \frac{9986}{865,93}$$

$$n = 11,51 \approx 12$$

jadi untuk jumlah tiang (n) pada *Pile Cap* pondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*) berjumlah 12 tiang.

4.7.3. Perhitungan *Pile Cap* Tiang Pancang (*Spun Pile*)

Panjang persegi (P) = 11 m

Lebar persegi (L) = 3 m

Tinggi persegi (T) = 1,2 m

Berat jenis beton bertulang (ρ) = 48,9 KN/m³

Perhitungan volume *pilecap*

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 11 \times 3 \times 1$$

$$V = 33 \text{ m}^3$$

$$W = \rho \times V$$

$$W = 48,9 \times 33$$

$$W = 1613,7 \text{ kN}$$

Perhitungan beban total

$$\text{Joint 111} = 9968,78 \text{ kN}$$

$$W (\text{Pile Cap}) = 111 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Total} &= \text{Joint} + W \\ &= 9968,78 + 1613,7 \end{aligned}$$

$$P_{\text{total}} = 11582,48 \text{ kN}$$

4.7.4. Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang Fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*)

Analisa kapasitas tiang fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*) kelompok tiang berdasarkan *Coverse – Labare Formula* sesuai dengan persamaan 2.24 dan dalam menentukan kapasitas dukung ultimit tiang kelompok harus diperhatikan kinerja tiang. Lihatlah Persamaan 2.25, yaitu :

$$\phi = \text{Arc tan } \frac{\text{sisi persegi}}{s} = \text{Arc tan } \frac{0,6}{1,8} = 0,33 = 18,26^\circ$$

a. Efisiensi kelompok tiang

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

$$Eg = 1 - \left(\frac{(2-1) \times 6 + (6-1) \times 2}{90 \times 2 \times 6} \right) \times 18,26^\circ$$

$$Eg = 0,729 = 72,90 \%$$

$$P_{total} = 11582,48 \text{ kN}$$

$$Q_{all(single)} = 865,93 \text{ kN}$$

$$Q_{all(Group)} = n \times Eg \times Q_{all(Single)}$$

$$Q_{all(Group)} = 758017 \text{ kN}$$

$$Q_{all(Group)} > P_{total}$$

$$758017 \text{ kN} > 11582,48 \text{ (AMAN)}$$

*Karena daya dukung fondasi lebih besar dari beban diatasnya.

Daya dukung fondasi kelompok > beban struktur atasnya, sehingga fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*) di anggap mampu menahan beban struktur bangunan atas, jadi Tiang Pancang (*Spun Pile*) yang yang dibutuhkan adalah sebanyak 12 buah.

4.8. Analisa Daya Dukung Kelompok Tiang (*Pile Group*) Fondasi *Bored Pile*

4.8.1. Analisa Jarak Antar Fondasi *Bored Pile* dan Jarak As ke Tepi

a. Penentuan efesiensi jarak antar fondasi dapat dilakukan analisa sesuai persamaan 2.27 dan 2.28 :

$$2,50 \times D < S < 3,0 \times D$$

$$2,50 \times D < S < 3,0 \times D$$

$$2,50 \times 0,5 < S < 3,0 \times 0,5$$

$$1,25 < S < 1,5$$

Berdasarkan hasil analisa yang didapatkan maka, jarak antar fondasi dapat diketahui untuk nilainya $0,25 < S < 1,5$, dan disini yang akan penulis gunakan adalah nilai 1,5 meter. Karena ukuran panjang *Pile Cap* 11 meter dan lebar 3 meter jadi menggunakan jarak antar fondasi 1,5 meter.

b. Penentuan jarak as fondasi ke tepi *pile cap* dapat dilakukan analisa sesuai (Persamaan 2.24)

$$S < 1,25 \times D$$

$$S < 1,25 \times 0,5$$

$$S < 0,625$$

Berdasarkan hasil analisa yang didapatkan maka, jarak dari as fondasi ke tepi *pile cap* dapat diketahui nilainya yaitu $S < 0,625$ m. Dari hasil perhitungan tersebut dapat diambil nilainya yaitu 0,6 m.

4.8.2. Kebutuhan Jumlah Tiang Kelompok Fondasi *Bored Pile*

Guna menentukan kebutuhan jumlah fondasi tiang kelompok menggunakan rumus sebagai berikut :

$$n = \frac{p}{Q_{all}(single)}$$

$$n = \frac{9968,78}{589,20}$$

$$n = 16,9 \approx 18$$

jadi untuk jumlah tiang (n) pada *Pile Cap* pondasi *Bored Pile* berjumlah 18 tiang.

4.8.3. Perhitungan *Pile Cap Bored Pile*

Panjang persegi (P) = 11 m

Lebar persegi (L) = 3 m

Tinggi persegi (T) = 1,2 m

Berat jenis beton bertulang (ρ) = 28,9 KN/m³

Perhitungan volume *pilecap*

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 11 \times 3 \times 1$$

$$V = 33 \text{ m}^3$$

$$W = \rho \times V$$

$$W = 28,9 \times 33$$

$$W = 953,7 \text{ kN}$$

Perhitungan beban total

$$\text{Joint 111} = 9968,78 \text{ kN}$$

$$W (\text{Pile Cap}) = 111 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban Total} &= \text{Joint} + W \\ &= 9968,78 + 953,7\end{aligned}$$

$$P_{\text{total}} = 10922,48 \text{ kN}$$

4.8.4. Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang Fondasi *Bored Pile*

Analisa kapasitas kelompok tiang fondasi *Bored Pile* berdasarkan *Coverse – Labare Formula* sesuai dengan persamaan 2.24 dan dalam menentukan kapasitas dukung ultimit tiang kelompok harus diperhatikan kinerja tiang. Lihatlah Persamaan 2.25, yaitu :

$$\phi = \text{Arc tan } \frac{d}{s} = \text{Arc tan } \frac{0,5}{1,5} = 0,38 = 18,26^\circ$$

a. Efisiensi kelompok tiang

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

$$E_g = 1 - \left(\frac{(2-1) \times 9 + (9-1) \times 2}{90 \times 2 \times 9} \right) \times 18,26^\circ$$

$$E_g = 0,718 = 71,80 \%$$

$$P_{\text{total}} = 10922,48 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{all(single)}} = 589,20 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{all(Group)}} = n \times E_g \times Q_{\text{all (Single)}}$$

$$Q_{\text{all(Group)}} = 761707 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{all(Group)}} > P_{\text{total}}$$

$$761707 \text{ kN} > 10922,78 \text{ (AMAN)}$$

*Karena daya dukung fondasi lebih besar dari beban diatasnya.

Daya dukung fondasi kelompok > beban struktur atasnya, sehingga fondasi *Bored Pile* di anggap mampu menahan beban struktur bangunan atas, jadi *Bored Pile* yang yang dibutuhkan adalah sebanyak 18 buah.

4.9. Perhitungan Daya Dukung Lateral Tiang Metode *Brooms*

4.9.1. Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*) Terhadap Gaya Lateral

Data tanah :

$$\gamma = 16,31 \text{ kN/m}^3$$

$$\theta = 34^\circ$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\theta}{2} \right)$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{18,22}{2} \right) = 1,38$$

Spesifikasi tiang

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$L = 40 \text{ m}$$

$$f_c' = 48,9 \text{ Mpa}$$

a. Cek kekakuan pada tiang fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*) menggunakan persamaan 2.29 :

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

$$E = 4700 \sqrt{48,9}$$

$$E = 32866,411 \text{ kN/m}^3$$

- Kekakuan tiang fondasi menggunakan Persamaan 2.30 :

$$I = \frac{1}{64} \times \pi \times d^4$$

$$I = \frac{1}{64} \times 3,14 \times 0,6^4$$

$$= 0,06 \text{ m}^4$$

Untuk menentukan nilai kekakuan fondasi tiang yang dibutuhkan, maka nilai ηh dapat diambil sesuai dengan Tabel 2.8 – nilai ηh untuk jenis tanah kohesif. Nilai ηh adalah 150 kN/m^3

Untuk nilai faktor kekakuan tanah berdasarkan Persamaan 2.31 dan 2.32 :

$$T = \sqrt[5]{\frac{Ep \times I}{\eta h}}$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{32866,411 \times 0,6}{150}}$$

$$T = 2,653 \text{ m}$$

$$4T = 4 \times T$$

$$4T = 4 \times 2,653$$

$$4T = 10,612 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan diatas, $L (40 \text{ m}) > 4T (10,612)$, Dalam hal ini, tiang pondasi terdiri dari tiang pondasi elastis yang panjang.

b. Cek keruntuhan tanah

Hitungan untuk tiang fondasi pada ujung jepit sesuai dengan persamaan 2.33 :

$$M_{\max} = \gamma \times \text{Sisi} \times L^3 \times Kp$$

$$M_{\max} = 17,73 \times 0,6 \times 40^3 \times 1,38$$

$$M_{\max} = 939548,16 \text{ kN.m}$$

Karena nilai dari tiang fondasi merupakan ujung jepit maka, $M_{\max} > M_y$. Dapat diperkirakan bahwa $M_y = 1500 \text{ kNm}$.

Untuk besaran nilai H_u sesuai dengan persamaan 2.34 dan 3.5 :

$$f = 0,82 \sqrt{\frac{Hu}{D \times Kp \times \gamma}}$$

$$f = 0,82 \sqrt{\frac{Hu}{0,6 \times 1,38 \times 17,73}}$$

$$f = 0,51 \sqrt{Hu}$$

$$Hu = \left(\frac{2 M_y}{e + \frac{2f}{3}} \right)$$

$$Hu = \left(\frac{2 \times 1500}{0 + \frac{2 \times 0,51 \sqrt{Hu}}{3}} \right)$$

$$Hu^{\frac{2}{3}} = (8823,53)$$

$$Hu = 8823,53^{\frac{3}{2}} \text{ kN} = 427 \text{ kN}$$

Dengan ketentuan nilai $F_s = 2,5$, memakai persamaan 2.36 maka gaya lateral yang diijinkan ialah :

$$H_{Izin} = \frac{Hu}{F_s}$$

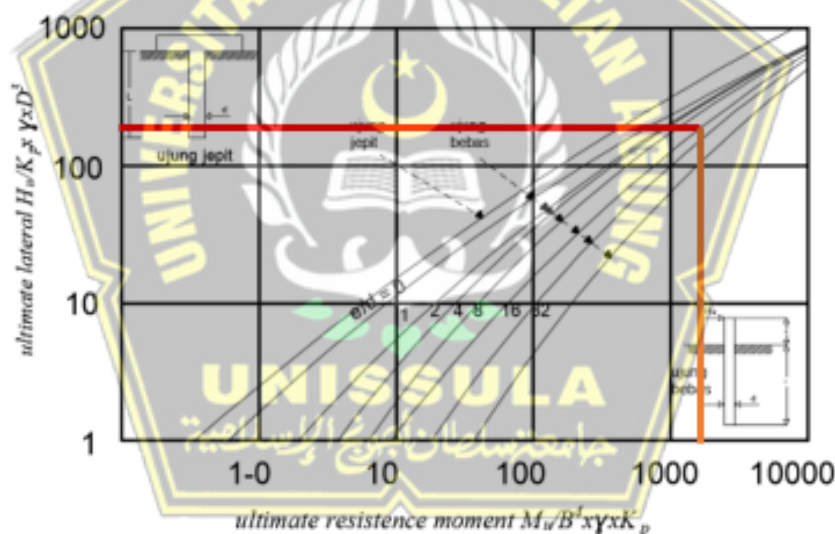
$$H_{Izin} = \frac{427}{2,5}$$

$$H_{Izin} = 170,8 \text{ kN}$$

Daya Dukung pada Fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*) Terhadap Gaya Lateral dengan Grafik Berdasarkan Persamaan 2.37 :

$$\begin{aligned} \text{Tahanan momen ultimit} &= \frac{My}{D^4 \times \gamma \times K_p} \\ &= \frac{1500}{0,6^4 \times 17,73 \times 1,38} = 473,04 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Besaran nilai tahanan ultimit 473,04 kN.m di input kedalam grafik guna mendapatkan nilai dari tahanan lateral ultimit. Gambar 4.3 didapatkan besaran nilainya.



Gambar 4.3 Grafik Nilai Tahanan Ultimit Tiang Pancang (*Spun Pile*)

$$250 = \frac{Hu}{K_p \times \gamma \times D^3}$$

$$Hu = 250 \times 1,38 \times 17,73 \times 0,6^3$$

$$Hu = 1321,24 \text{ kN}$$

Besaran nilai daya dukung lateral pada tiang 1321,24 kN/m² di input kedalam grafik guna mendapatkan nilai dari daya dukung lateral pada tiang tiang pancang (*Spun Pile*). Gambar 4.3 didapatkan besaran nilainya.

4.9.2. Daya Dukung Fondasi *Bored Pile* Terhadap Gaya Lateral

Data tanah :

$$\gamma = 16,34 \text{ kN/m}^3$$

$$\theta = 34^\circ$$

$$Kp = \tan^2 \left(45 + \frac{\theta}{2} \right)$$

$$Kp = \tan^2 \left(45 + \frac{18,22}{2} \right) = 1,38$$

Spesifikasi tiang

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

$$L = 40 \text{ m}$$

$$f_c' = 28,9 \text{ Mpa}$$

a. Cek kekakuan tiang pada fondasi *Bored Pile* menggunakan persamaan 2.29 :

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

$$E = 4700 \sqrt{28,9}$$

$$E = 25266,59 \text{ kN/m}^2$$

- Kekakuan tiang fondasi menggunakan persamaan 2.30 :

$$I = \frac{1}{6} \times \pi \times D^3$$

$$I = \frac{1}{6} \times 3,14 \times 0,5^3$$

$$I = 0,13 \text{ m}^4$$

Untuk menentukan nilai kekakuan fondasi tiang yang dibutuhkan, maka nilai ηh dapat diambil sesuai dengan Tabel 2.8 – nilai ηh untuk jenis tanah kohesif. Nilai ηh adalah 150 kN/m^2

- Untuk nilai faktor dari kekakuan tanah berdasarkan persamaan 2.31 dan persamaan 2.32 :

$$T = \sqrt[5]{\frac{Ep \times I}{\eta h}}$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{25266,59 \times 0,13}{150}}$$

$$T = 2,427 \text{ m}$$

$$4T = 4 \times T$$

$$4T = 4 \times 2,427$$

$$4T = 9,708 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan diatas, $L (40 \text{ m}) > 4T (9,708)$, Dalam hal ini, tiang pondasi terdiri dari tiang pondasi elastis yang panjang.

b. Cek keruntuhan tanah

Hitungan untuk tiang fondasi pada ujung jepit sesuai dengan persamaan 2.33 :

$$M_{\max} = \gamma \times D \times L^3 \times Kp$$

$$M_{\max} = 16,14 \times 0,50 \times 40^3 \times 1,38$$

$$M_{\max} = 782956,8 \text{ kN.m}$$

Karena nilai dari tiang fondasi merupakan ujung jepit maka, $M_{\max} > M_y$. Dapat diperkirakan bahwa $M_y = 1500 \text{ kNm}$.

Untuk nilai H_u sesuai dengan (Persamaan 2.34) dan (Persamaan 2.35)

$$f = 0,82 \sqrt{\frac{H_u}{D \times Kp \times \gamma}}$$

$$f = 0,82 \sqrt{\frac{H_u}{0,50 \times 1,38 \times 17,73}}$$

$$f = 0,24 \sqrt{H_u}$$

$$H_u = \left(\frac{2 M_y}{e + \frac{2f}{3}} \right)$$

$$H_u = \left(\frac{2 \times 1500}{0 + \frac{2 \times 0,24 \sqrt{H_u}}{3}} \right)$$

$$H_u \frac{2}{3} = (18750)$$

$$H_u = 18750^{2/3} \text{ kN} = 705,7 \text{ kN}$$

Dengan ketentuan nilai $FS = 2,5$, menggunakan persamaan 2.36 maka gaya lateral yang diijinkan yaitu :

$$H_{Izin} = \frac{H_u}{F}$$

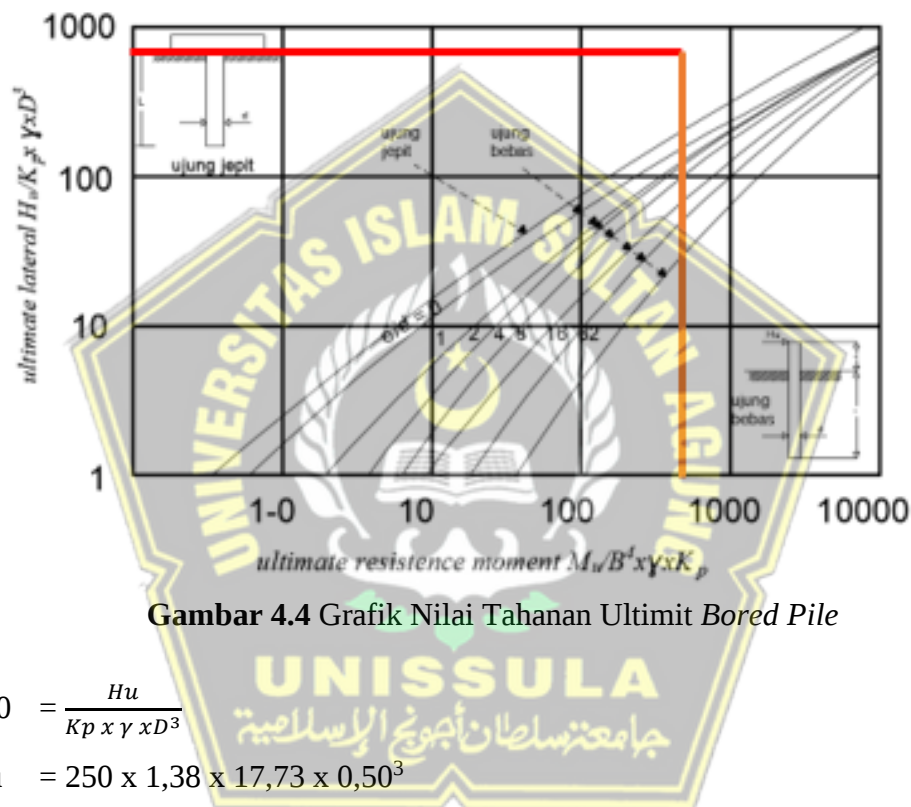
$$H_{Izin} = \frac{705,7}{2,5}$$

$$H_{Izin} = 282,31 \text{ kN}$$

Daya Dukung Fondasi *Bored Pile* Terhadap Gaya Lateral dengan Grafik Berdasarkan Persamaan 2.37 :

$$\begin{aligned} \text{Tahanan momen ultimit} &= \frac{My}{D^4 \times \gamma \times K_p} \\ &= \frac{1500}{0,50^4 \times 17,73 \times 1,38} = \mathbf{980,89 \text{ kN.m}} \end{aligned}$$

Besaran nilai tahanan ultimit **980,89** kNm di *input* kedalam grafik guna mendapatkan nilai dari tahanan lateral ultimit. Lihatlah Gambar 4.4 maka didapatkan nilainya.



Gambar 4.4 Grafik Nilai Tahanan Ultimit *Bored Pile*

$$250 = \frac{Hu}{K_p \times \gamma \times D^3}$$

$$Hu = 250 \times 1,38 \times 17,73 \times 0,50^3$$

$$\mathbf{Hu = 764,60 \text{ kN}}$$

Besaran nilai daya dukung lateral pada tiang 764,60 kN/m² di input kedalam grafik guna mendapatkan nilai dari daya dukung lateral pada tiang *Bored Pile*. Gambar 4.4 didapatkan besaran nilainya.

4.10. Penurunan Fondasi

4.10.1. Analisa Penurunan Pada Fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*)

Berdasarkan metode Vesic (1977), untuk penurunan elastis pada fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*) tunggal dapat dihitung memakai persamaan 2.39 :

$$L = 40 \text{ m}$$

$$S = 0,6 \text{ m}$$

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

$$A_p = 0,283 \text{ m}^2$$

1. Analisa nilai penurunan $S_{e(1)}$ berdasarkan persamaan 2.40 :

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

$$E = 4700 \sqrt{48,9}$$

$$E = 32866,411 \text{ kN/m}^2$$

Untuk mencari nilai *factor empiric* pada tahanan selimut tiang berdasarkan persamaan 2.42. Dikarenakan jenis tanah lempung maka menggunakan $\varepsilon = 0,5$.

Untuk nilai penurunan $S_{e(1)}$ menggunakan persamaan 2.41 :

$$S_{e(1)} = \frac{(Qp + \xi \times Qs) \times L}{A_p \times E_p}$$

$$S_{e(1)} = \frac{(32,08 + (0,6 \times 232,73)) \times 40}{0,283 \times 32866,411,4}$$

$$S_{e(1)} = 0,019 \text{ m}$$

Berdasarkan hasil nilai perhitungan penurunan elastis pada tiang pancang (*Spun Pile*) adalah 0,019 m, guna untuk mendapatkan nilai penurunan tiang total

2. Analisa nilai penurunan $S_{e(2)}$

$$E_s = 50000 \text{ kN/m}^2 \text{ (Tabel 2.9)}$$

$$\mu_s = 0,30 \text{ (Tabel 2.10)}$$

Hitungan untuk nilai $S_{e(2)}$ memakai persamaan 2.43 :

$$S_{e(2)} = \frac{qp \times D}{E_s} \times (1 - \mu_s^2)$$

$$S_{e(2)} = \frac{113,4 \times 0,6}{50000} \times (1 - 0,3^2)$$

$$S_{e(2)} = 0,0012 \text{ m}$$

Berdasarkan hasil nilai perhitungan penurunan tiang akibat beban ujung tiang pada tiang pancang (*Spun Pile*) adalah 0,0012 m, guna untuk mendapatkan nilai penurunan tiang total

3. Analisa nilai penurunan $S_{e(3)}$ memakai persamaan 2.44 :

$$E_s = 50000 \text{ kN/m}^2$$

$$S_{e(3)} = \frac{Qp}{P \times L} \times \frac{D}{E_s} \times (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

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

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{40}{0,6}}$$

$$I_{ws} = 4,85 \text{ m}$$

Maka nilai $S_{e(3)}$ memakai persamaan 2.45 :

$$S_{e(3)} = \frac{Qp}{PL} \times \frac{D}{E_s} \times (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$S_{e(3)} = \frac{32,08}{4 \times 40} \times \frac{0,6}{50000} \times (1 - 0,3^2) \times 4,85$$

$$S_{e(3)} = 0,00001 \text{ m}$$

Berdasarkan hasil nilai perhitungan penurunan tiang akibat beban disepanjang batang pada tiang pancang (*Spun Pile*) adalah 0,00001 m, guna untuk mendapatkan nilai penurunan tiang total

4. Total penurunan elastis yang terjadi pada fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*) sesuai dengan persamaan 2.39 :

$$S_{e(\text{total})} = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)}$$

$$S_{e(\text{total})} = 0,019 + 0,0012 + 0,00001$$

$$S_{e(\text{total})} = 0,02021 \text{ m}$$

Untuk hasil penurunan tiang total pada tiang pancang (*Spun Pile*) adalah 0,02021

5. Penurunan yang diijinkan sesuai dengan persamaan 2.46 :

$$S_{e(izin)} = 10\% \times D$$

$$S_{e(izin)} = 0,1 \times 0,6$$

$$S_{e(izin)} = 0,06 \text{ m}$$

Jadi, untuk penurunan total tiang tunggal yang terjadi nilainya lebih kurang dari syarat yang diijinkan ialah $0,02021 \text{ m} < 0,06 \text{ m}$, sehingga syarat tersebut terpenuhi.

4.10.2. Penurunan Elastis Pada Fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*) Kelompok (*Pile Group*)

Diketahui :

$$S_{e(total)} = 0,02021 \text{ m}$$

$$T = 2,653 \text{ m}$$

$$A = 0,6 \text{ m}$$

Untuk analisa penurunan fondasi kelompok menggunakan persamaan 2.47 :

$$S_g = \sqrt{\frac{Bg}{D}} \times S_{e(total)}$$

$$S_g = \sqrt{\frac{1,6}{0,6}} \times 0,02021$$

$$S_g = 0,033 \text{ m}$$

Jadi, untuk nilai total penurunan elastis untuk tiang kelompok fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*) pada *pilecap* adalah 0,033 m

4.10.3. Analisa Penurunan Pada Fondasi *Bored Pile*

Berdasarkan metode Vesic (1977), untuk penurunan elastis pada fondasi *Bored Pile* tunggal dapat dihitung memakai persamaan 2.39 :

$$L = 40 \text{ m}$$

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

$$F_c' = 28,9 \text{ Mpa}$$

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

1. Untuk analisa nilai penurunan $S_{e(1)}$ memakai persamaan 2.40 :

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

$$E = 4700 \sqrt{28,9}$$

$$E = 25266,598 \text{ kN/m}^2 = 2526659,8 \text{ t}$$

Untuk mencari nilai *factor empiric* pada tahanan selimut tiang berdasarkan persamaan 2.42. Dikarenakan jenis tanah lempung maka menggunakan $\varepsilon = 0,5$.

Untuk nilai penurunan $S_{e(1)}$ memakai persamaan 2.41 :

$$S_{e(1)} = \frac{(Qp + (\varepsilon \times Qs) \times L}{Ap \times Ep}$$

$$S_{e(1)} = \frac{(22,28 + (0,5 \times 193,95)) \times 40}{0,196 \times 2526659,8}$$

$$S_{e(1)} = \mathbf{0,008 \text{ m}}$$

2. Analisa nilai penurunan $S_{e(2)}$

Untuk menentukan nilai dari modulus elastisitas tanah dapat dilihat berdasarkan Tabel 2.9. Nilai E_s untuk tanah lempung keras = 50000 kN/m² dan untuk menentukan nilai dari *Poisson's Ratio* (μ) tanah lempung dapat dilihat berdasarkan tabel 2.10. Nilai *Poisson's Ratio* (μ) = 0,3.

Untuk nilai $S_{e(2)}$ memakai persamaan 2.43 :

$$S_{e(2)} = \frac{qp \times D}{E_s} \times (1 - \mu s^2)$$

$$S_{e(2)} = \frac{94,50 \times 0,50}{50000} \times (1 - 0,3^2)$$

$$S_{e(2)} = \mathbf{0,0009 \text{ m}}$$

Berdasarkan hasil nilai perhitungan penurunan tiang akibat beban ujung tiang pada *Bored Pile* adalah 0,0012 m, guna untuk mendapatkan nilai penurunan tiang total

3. Analisa nilai penurunan $S_{e(3)}$ memakai persamaan 2.44 :

$$E_s = 50000 \text{ kN/m}^2$$

$$S_{e(3)} = \frac{Qp}{P \times L} \times \frac{D}{E_s} \times (1 - \mu s^2) Iws$$

$$Iws = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}}$$

$$Iws = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{40}{0,5}}$$

$$Iws = \mathbf{5,13 \text{ m}}$$

Maka nilai $S_{e(3)}$ memakai persamaan 2.45 :

$$S_{e(3)} = \frac{Qp}{P \times L} \times \frac{D}{E_s} \times (1 - \mu s^2) Iws$$

$$S_{e(3)} = \frac{18,56}{0,942 \times 40} \times \frac{0,5}{50000} \times (1 - 0,3^2) \times 5,13$$

$$S_{e(3)} = \mathbf{0,0008m}$$

Berdasarkan hasil nilai perhitungan penurunan tiang akibat beban disepanjang batang pada *Bored Pile* adalah 0,0008 m, guna untuk mendapatkan nilai penurunan tiang total

4. Total penurunan elastis yang terjadi pada *Bored Pile* sesuai dengan persamaan 2.39 :

$$S_{e(total)} = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)}$$

$$S_{e(total)} = 0,008 + 0,001 + 0,0003$$

$$S_{e(total)} = \mathbf{0.01m}$$

Untuk hasil penurunan tiang total pada tiang pancang (*Spun Pile*) adalah 0,02021

5. Penurunan yang diijinkan menurut *Terzaghi* (1969) sesuai dengan persamaan 2.46 :

$$S_{e(izin)} = 10\% \times D$$

$$S_{e(izin)} = 0,1 \times 0,5$$

$$S_{e(izin)} = \mathbf{0,05 m}$$

Jadi, untuk nilai penurunan total tiang tunggal yang terjadi lebih kurang dari syarat yang diijinkan ialah $0,028 m < 0,05 m$, sehingga syarat tersebut terpenuhi.

4.10.4. Penurunan Elastis Pada Fondasi *Bored Pile* Kelompok (Pile Group)

$$S_{e(\text{total})} = 0,028 \text{ m}$$

$$B_g = 1,6 \text{ m}$$

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

Untuk analisa penurunan fondasi kelompok memakai persamaan 2.47 :

$$S_g = \sqrt{\frac{B_g}{D}} \times S_{e(\text{total})}$$

$$S_g = \sqrt{\frac{1,6}{0,5}} \times 0,001$$

$$S_g = 0,019 \text{ m}$$

Jadi, untuk nilai total penurunan elastis untuk kelompok tiang fondasi *Bored Pile* pada *pilecap* adalah 0,019 m.

4.11. Menganalisa Permodelan Pada Program Plaxis V8.6

Program PLAXIS yaitu program untuk teknik sipil terpusat untuk menganalisis di bidang geoteknik. PLAXIS secara umum digunakan untuk mengetahui dan menganalisis deformasi dan stabilitas yang terjadi pada suatu fondasi, sehingga program ini mampu dijadikan perbandingan untuk hasil analisis dengan cara manual. Berikut adalah suatu langkah-langkah dan data data yang digunakan dalam memodelkan fondasi dengan program Plaxis V8.6 :

Tabel 4.11 Parameter Tanah Plaxis

Parameter	Name	Pasir	Pasir	Lempung	Lempung	Lempung	Lempung	Unit
		Depth -5m	Depth -10 m	Depth -15 m	Depth -20 m	Depth -25 m	Depth -30 m	
<i>Material Model</i>	<i>Model</i>	<i>Mohr-Coul</i>	<i>Mohr-Coul</i>	<i>Mohr-Coul</i>	<i>Mohr-Coul</i>	<i>Mohr-Coul</i>	<i>Mohr-Coul</i>	-
<i>Material Type</i>	<i>Type</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>UnDrained</i>	<i>UnDrained</i>	<i>UnDrained</i>	<i>UnDrained</i>	-
<i>Dry Soil Weight</i>	γ_{dry}	11,23	11,02	11,09	11,44	11,47	11,88	kN/m ²
<i>Wet Soil Weight</i>	γ_{wet}	15,81	15,83	15,8	15,9	15,93	16,06	kN/m ²
<i>Horizontal Permeability</i>	k_x	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	m/day
<i>Vertical Permeability</i>	k_y	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	m/day
<i>Young's Modulus</i>	E_{ref}	3000	3000	3800	3800	3800	3800	kN/m ²
<i>Poisson's Ratio</i>	ν	0,3	0,3	0,35	0,35	0,35	0,35	-
<i>Cohesion</i>	C_{ref}	32	6,4	1,5	2,1	74,5	22,1	kN/m ²
<i>Friction Angel</i>	α	17	9	6	12	13	11	°
<i>Dilatancy Angel</i>	ψ	0	0	0	0	0	0	°
<i>Interface Reduction Factor</i>	R_{inter}	<i>Rigid</i>	<i>Rigid</i>	<i>Rigid</i>	<i>Rigid</i>	<i>Rigid</i>	<i>Rigid</i>	-

Parameter	Nama	Lempung Depth-35 m	Lempung Depth -40 m	Lempung Depth -45 m	Pasir Depth-50 m	Lempung Depth -55 m	Lempung Depth -60 m	Timbunan Tanah	Unit
Material Model	Model	Mohr-Coul	Mohr-Coul	Mohr-Coul	Mohr-Coul	Mohr-Coul	Mohr-Coul	Mohr-Coul	-
Material Type	Type	UnDrained	UnDrained	UnDrained	Drained	UnDrained	UnDrained	UnDrained	-
Dry Soil Weight	γ_{dry}	12,04	12,34	12,4	12,72	13,28	13,28	13,46	kN/m ²
Wet Soil Weight	γ_{wet}	16,17	16,31	16,42	16,78	17,24	17,13	17,23	kN/m ²
Horizontal Permeability	k_x	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	1	m/day
Vertical Permeability	k_y	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	1	m/day
Young's Modulus	E_{ref}	3800	3800	3800	3000	3800	3800	40000	kN/m ²
Poisson's Ratio	ν	0.35	0.35	0.35	0.3	0.35	0.35	0.35	-
Cohesion	C_{ref}	88,8	90,5	2,4	2,5	1,2	7,7	1,9	kN/m ²
Friction Angel	α	12	34	12	24	31	33	6	°
Dilatancy Angel	ψ	0	0	0	0	0	0	0	°
Interface Reduction Factor	R_{inter}	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	-

Keterangan : Data-data parameter tanah diatas merupakan data yang diambil dari hasil uji tanah Jembatan Kalibanger Semarang.

Dimana :

Fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*)

$$E = 4700 \sqrt{f'c'} = 4700\sqrt{48,9} = 32866,411 \text{ Mpa}$$

$$I = \frac{1}{2} \times \gamma \times r^2 = \frac{1}{2} \times 2400 \times 0,6^2 = 432 \text{ m}^2$$

$$A = 0,283 \text{ m}^2$$

$$EA = 32866,411 \times 0,283 = 9301,194 \text{ kN/m}^2$$

$$EI = 32866,411 \times 432 = 14198289,5 \text{ kN/m}^2$$

Fondasi Bored Pile

$$E = 4700 \sqrt{f'c'} = 4700\sqrt{28,9} = 25266,598 \text{ Mpa}$$

$$I = \frac{1}{2} \times \gamma \times r^2 = \frac{1}{2} \times 2400 \times 0,5^2 = 300 \text{ m}^2$$

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

$$EA = 25266,598 \times 0,196 = 4952,25 \text{ kN/m}^2$$

$$EI = 25266,598 \times 300 = 7579979,4 \text{ kN/m}^2$$

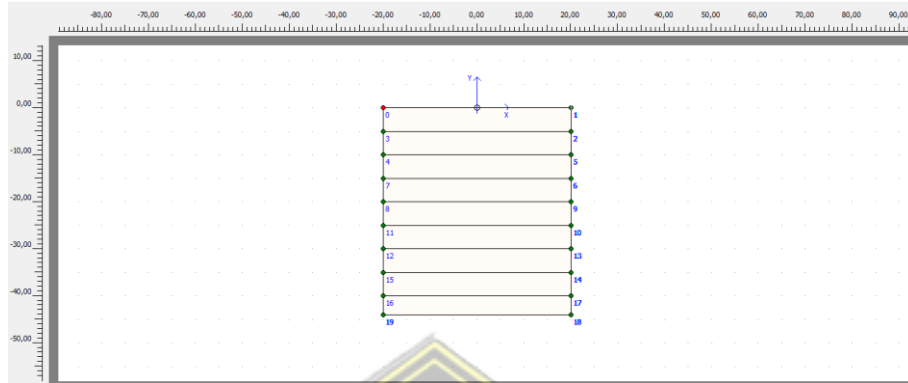
1. Tahapan pertama pada pengisian data ke dalam program plaxis yaitu isi terlebih dahulu judul perhitungan dan penentuan satuan-satuan yang dipakai dalam permodelan fondasi. Gambar 4.5 :

Gambar 4.5 Menu Awal Pengaturan *Global - Proyek*

2. Selanjutnya isikan data dimensi sesuai yang direncanakan. Gambar 4.6 :

Gambar 4.6 Menu Awal Pengaturan *Global - Dimensi*

3. Kemudian setelah data dimensi di inputkan, tahap selanjutnya pilihlah  untuk mengatur bentuk dari pemodelan kontur tanah yang disusun. Lihatlah Gambar 4.7 :



Gambar 4.7 Pemodelan Kontur Tanah

4. Setelah pembuatan kontur tanah, lalu pilih  untuk membuat dan menentukan karakteristik material tanah yang digunakan. Gambar 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 dan 4.12 :

Mohr-Coulomb - 2. PASIR -10M

Umum | Parameter | Antarmuka

Kumpulan material

Identifikasi: 2. PASIR -10M

Model material: Mohr-Coulomb

Jenis material: Terdrainase

Sifat umum

γ_{unsat} : 11,020 kN/m³

γ_{sat} : 15,830 kN/m³

Permeabilitas

k_x : 1,000E-03 m/hari

k_y : 1,000E-03 m/hari

Tingkat lanjut...

SoilTest Berikutnya OK Batal

Gambar 4.8 Pemodelan Material Tanah – Umum

Mohr-Coulomb - 2. PASIR - 10M

Umum | Parameter | Antarmuka

Kekakuan E_{ref} : 3800,000 kN/m ² ν (nu) : 0,300		Kekuatan c_{ref} : 6,400 kN/m ² ϕ (phi) : 9,000 ° ψ (psi) : 0,000 °	
Alternatif G_{ref} : 1461,538 kN/m ² E_{oed} : 5115,000 kN/m ²		Kecepatan V_s : 36,050 m/dtk V_p : 67,450 m/dtk	

Tingkat lanjut...

SoilTest Berikutnya OK Batal

Gambar 4.9 Pemodelan Material Tanah – Parameter

Mohr-Coulomb - 2. PASIR - 10M

Umum | Parameter | Antarmuka

☒ Kekuatan
☐ Manual

R_{inter} : 1,000

Tebal antarmuka sebenarnya

δ_{inter} : 0,000

SoilTest Berikutnya OK Batal

Gambar 4.10 Pemodelan Material Tanah – Antarmuka

Kumpulan data material

Global >>>

Basis data proyek

Jenis kumpulan data: Tanah & Antarmuka

Urutan kelompok: Tidak ada

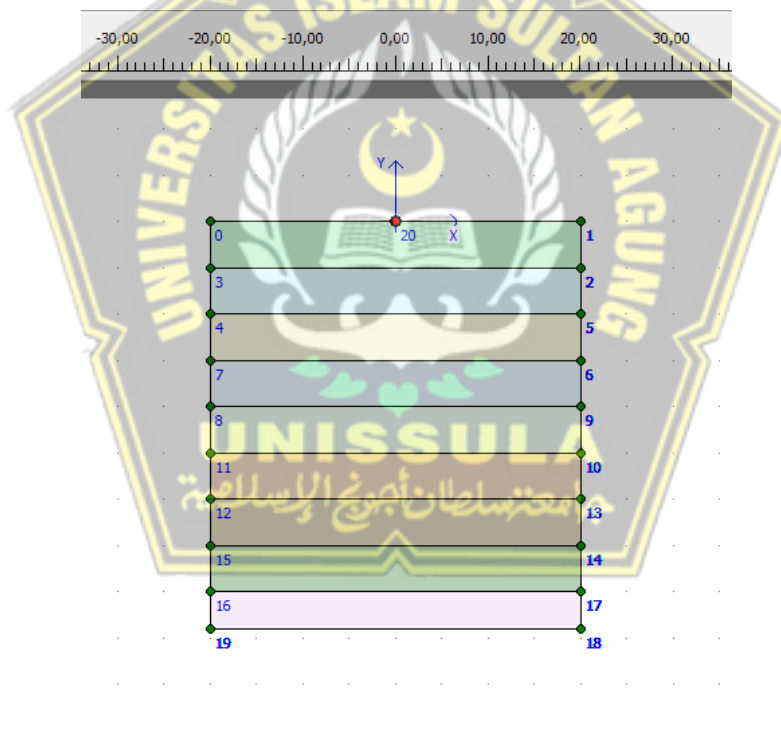
- ☐ 1. PASIR -5M
- ☒ 2. PASIR -10M
- ☐ 3. LEMPUNG -15M
- ☐ 4. LEMPUNG -20M
- ☐ 5. LEMPUNG -25M
- ☒ 6. LEMPUNG -30M
- ☐ 7. LEMPUNG -35M
- ☐ 8. LEMPUNG -40M
- ☐ 9. LEMPUNG -44M

Baru... Edit... SoilTest

Salin Hapus

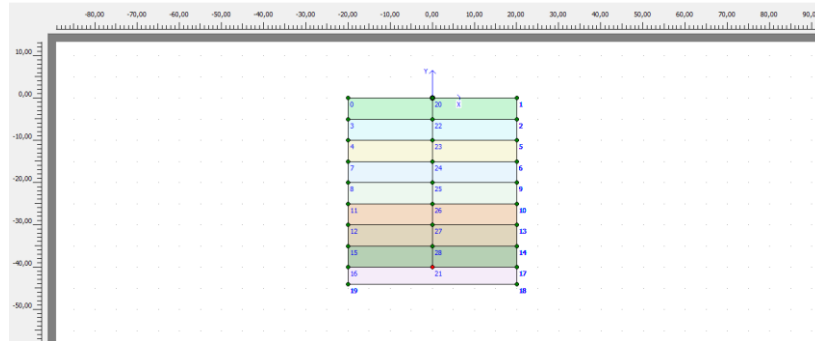
OK Terapkan

Gambar 4.11 Hasil Kumpulan Data Material



Gambar 4.12 Hasil Input Material Tanah

5. Setelah mengisi data material tanah, langkah input plat dan pile cap ke dalam Plaxis, dengan cara pilih  untuk memodelkan tiang. Gambar 4.13 :



Gambar 4.13 Hasil Input Tiang

6. Kemudian pilih pelat  untuk memasukkan data tiang dan pile cap sesuai data yang digunakan. Setelah itu, pilih  untuk mengaktifkan tkenan positif dan negatif pada daerah sekeliling fondasi yang digunakan. Gambar 4.14, 4.15, dan 4.16 :

Sifat pelat	
Kumpulan material	
Identifikasi:	SPUN PILE
Jenis material:	Elastis
Komentar	
Sifat-sifat	
EA :	3,287E+04 kN/m
EI :	1,420E+07 kNm ² /m
d :	72,000 m
w :	0,000 kN/m/m
v :	0,000
M _p :	1,000E+15 kNm/m
N _p :	1,000E+15 kN/m
α Rayleigh :	0,000
β Rayleigh :	0,000
OK Batal	

Gambar 4.14 Input Hasil Sifat Plat

Kumpulan data material

Global >>>

Basis data proyek

Jenis kumpulan data: Pelat

Urutan kelompok: Tidak ada

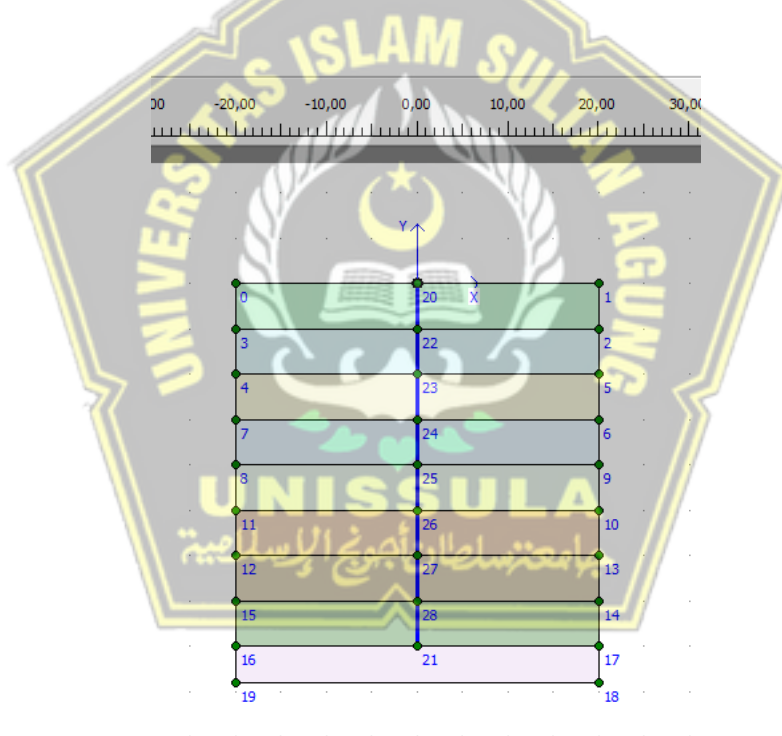
SPUN PILE

Baru... Edit...

Salin Hapus

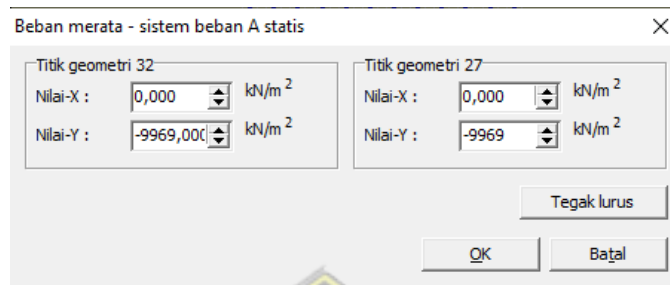
OK Terapkan

Gambar 4.15 Hasil Kumpulan Data Material – Pelat

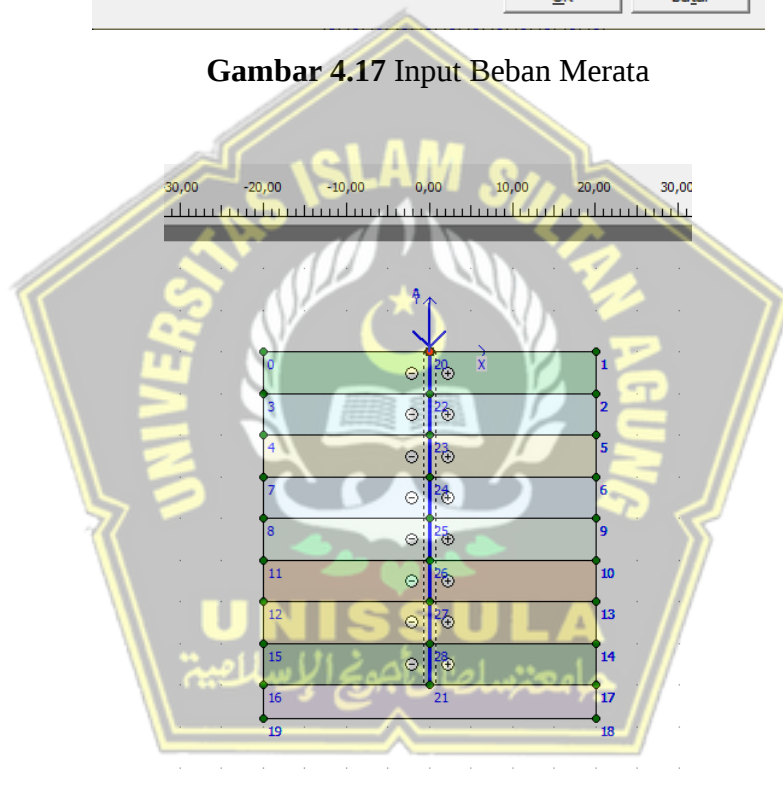


Gambar 4.16 Hasil Input Pelat Fondasi

7. Setelah input pelat fondasi sudah selesai, tahap selanjutnya menginput beban merata dengan cara pilih  lalu masukkan beban yang terjadi. Untuk kali ini beban yang digunakan sebesar 9968,7889 kN/m² sesuai hasil SAP2000 Lihatlah Gambar 4.17 dan 4.18 :

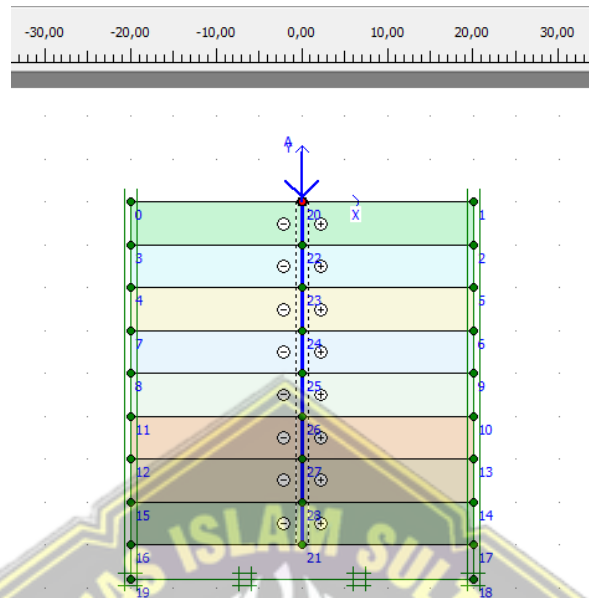


Gambar 4.17 Input Beban Merata



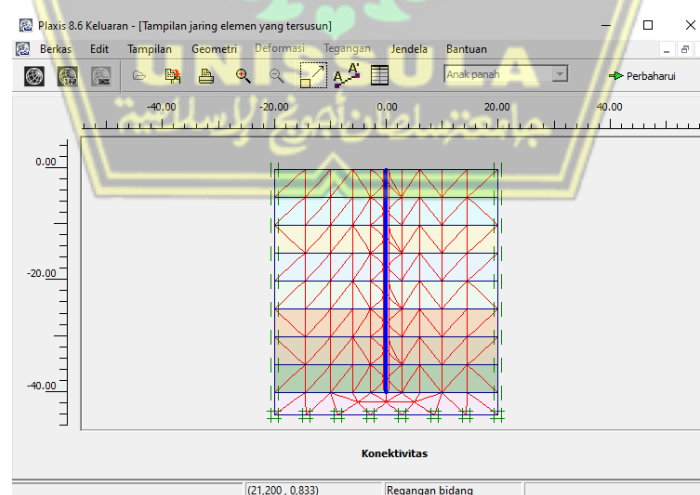
Gambar 4.18 Hasil Input Beban Merata

8. Setelah selesai input beban merata, tahap selanjutnya pilih  untuk mendefinisikan suatu kondisi batas (jepit standar). Gambar 4.19 :



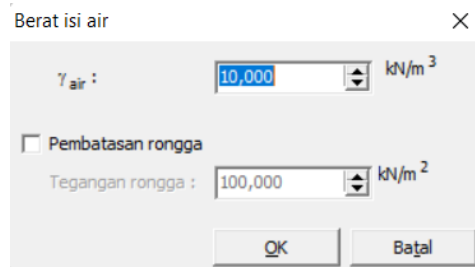
Gambar 4.19 Hasil Input Jepit Standar

9. Setelah inputan selesai, pilihlah  untuk mengetahui susunan jaringan antar elemen yang sudah di input sebelumnya. Gambar 4.20 :

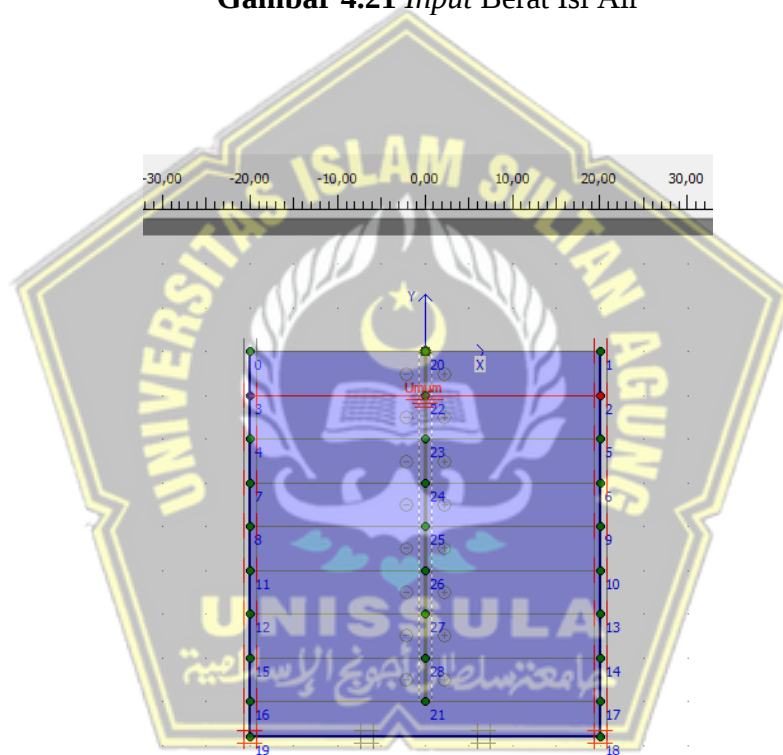


Gambar 4.20 Tampilan Jaringan Elemen Yang Tersusun

10. Kemudian pilih  Kondisi awal untuk mengetahui hasil inputan sebelumnya, lalu pilih  untuk menginput berat jenis air dan kedalaman pada muka air tanah. Muka air pada tanah terdapat jauh dari dasar lapisan tanah. Gambar 4.21 dan 4.22 :

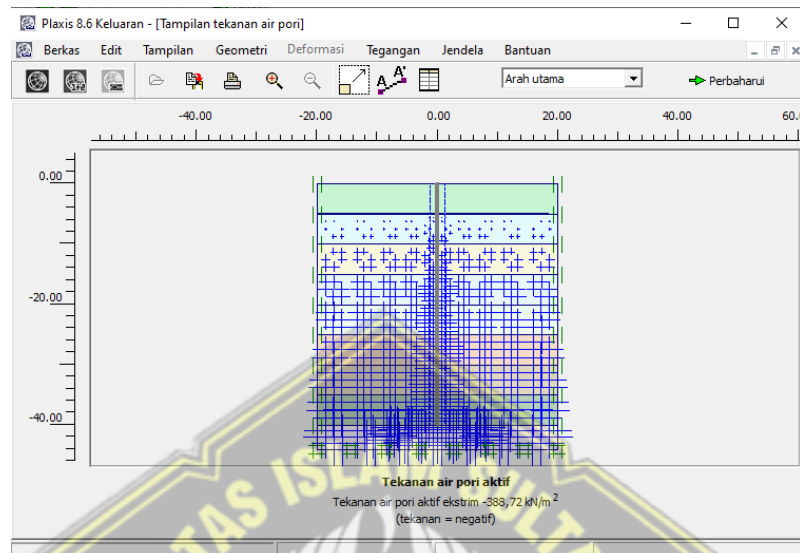


Gambar 4.21 Input Berat Isi Air



Gambar 4.22 Hasil Input Muka Air

11. Setelah input muka air dan berat jenis air, tahap selanjutnya pilih  untuk menghitung tekanan air pori yang terjadi. Lalu setelah selesai pilih  Perbaharui .
Gambar 4.23 :



Gambar 4.23 Tampilan Tekanan Air Pori

12. Selanjutnya pilihlah  untuk mengetahui tegangan awal dan konfigurasi geometri. Kemudian pilih  untuk hitung tegangan awal. Lalu setelah selesai pilih  Perbaharui . Gambar 4.24 dan 4.25 :

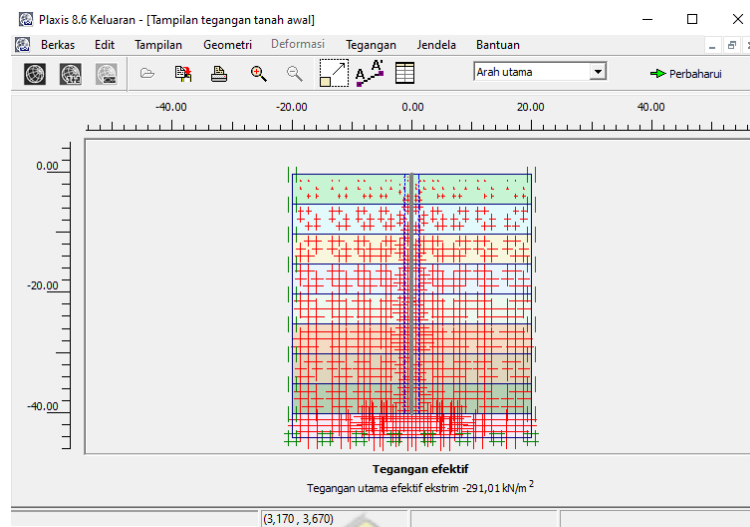
Prosedur-K0

ΣM-weight : 1,000

Klaster	Material	OCR	POP	K0
1	MC	N/A	N/A	0,792
2	MC	N/A	N/A	0,441
3	MC	N/A	N/A	0,441
4	MC	N/A	N/A	0,809
5	MC	N/A	N/A	0,775

OK Batal

Gambar 4.24 Tampilan Prosedur – K0

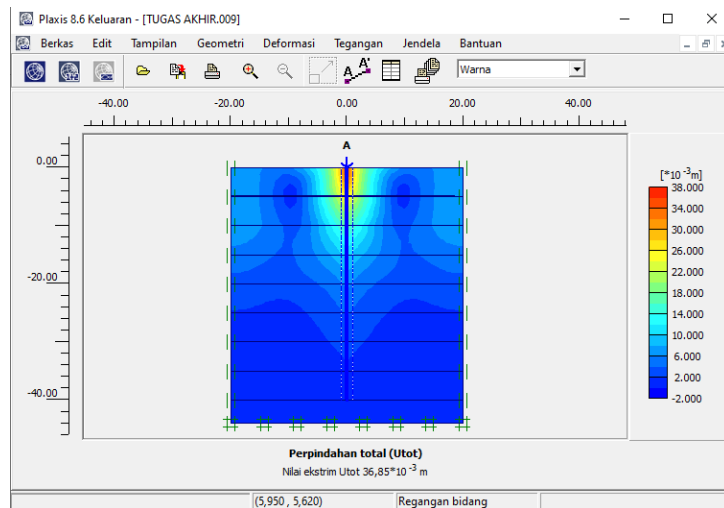


Gambar 4.25 Tampilan Tegangan Tanah Awal

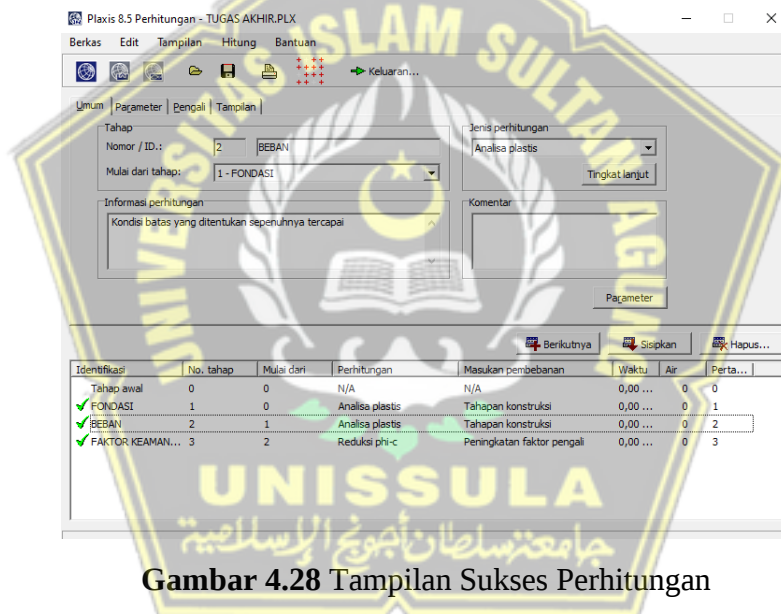
13. Setelah semua tahapan pengisian data pemodelan selesai, langkah selanjutnya menginput perhitungan fondasi. Pada analisa perhitungan ini harus didapatkan centang semua atau terdapat OK pada hasil akhir. Gambar 4.26 dan 4.27 :

Identifikasi	No. tahap	Mulai dari	Perhitungan	Masukan pembebanan	Waktu	Air	Perta...
Tahap awal	0	0	N/A	N/A	0,00 ...	0	0
→ FONDASI	1	0	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	0,00 ...	0	
→ BEBAN	2	1	Analisa plastis	Tahapan konstruksi	0,00 ...	0	
→ FAKTOR KEAMAN...	3	2	Reduksi phi-c	Peningkatan faktor pengali	0,00 ...	0	

Gambar 4.26 Tampilan *Input* Perhitungan Analisa



Gambar 4.27 Tampilan Hasil *Deformasi*



Gambar 4.28 Tampilan Sukses Perhitungan

4.12. Pembahasan

1. Beban Maksimal Pada Struktur Atas

Beban maksimal didapat dengan pemodelan struktur menggunakan *software* SAP2000 V14. Pemodelan ini bertujuan untuk mengetahui besarnya beban maksimal yang kemudian hasilnya digunakan untuk perhitungan analisa dan penurunan fondasi. Hasil pembebanan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.12 Hasil Pembebanan Struktur

Beban Mati Q_{MS}	Beban Tambahan Q_{MA}	Beban Maksimal Yang Didapat
156 kN/m ³	11 kN/m ³	9968,7889 kN/m ³

(Sumber : Hasil analisis, 2023)

Hasil output dari *software* SAP2000 yang dihasilkan akibat kombinasi beban adalah 9968,7889 kN/m². Pembebanan struktur meliputi beban mati, dan beban tambahan lainnya berdasarkan SNI 1725 : 2016.

2. Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal

Perhitungan daya dukung berfungsi untuk mengetahui seberapa kuat fondasi menahan beban di atasnya. Untuk menghitung daya dukung tiang tunggal pada penelitian ini menggunakan dua metode berbeda yaitu *Meyerhoff* dan *Reese & Wright*. Hasil analisa dapat dilihat pada tabel 4.13 di bawah.

Tabel 4.13 Hasil Daya Dukung Tiang Tunggal

Jenis Fondasi	Metode	Qall (ton)	Qall (kN)
<i>Spun Pile</i>	<i>Reese & Wright</i>	88,27	865,93
	<i>Meyerhoff</i>	115,20	1130,08
<i>Bored Pile</i>	<i>Reese & Wright</i>	60,06	589,2
	<i>Meyerhoff</i>	66,63	653,66

(Sumber : Hasil analisis, 2023)

Dari tabel 4.13 diperoleh hasil daya dukung fondasi *Spun Pile* lebih besar dikarenakan beberapa faktor diantaranya diameter *Spun Pile* lebih besar daripada *Bored Pile*.

3. Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok

Kapasitas daya dukung dihitung berdasarkan faktor efisiensi yaitu menggunakan metode *Converse-Labarre Formula*. Hasil dari perhitungan kapasitas daya dukung tiang kelompok seperti yang ada pada tabel 4.14

Tabel 4.14 Hasil Daya Dukung Tiang Kelompok

Jenis Fondasi	Metode	Beban Total (kN)	$Q_{all\ group}$ (kN)	Keterangan $Q_{all\ (Group)} > P_{total}$
<i>Spun Pile</i>	<i>Converse Labarre formula</i>	11582,48	758017	AMAN
<i>Bored Pile</i>	<i>Converse Labarre formula</i>	10922,48	761707	AMAN

1. (Sumber : Hasil analisis, 2023)

Perhitungan efisiensi kelompok fondasi *Spun Pile* dan *Bored Pile* dengan metode *Converse Labarre-Formula* di atas mendapatkan hasil AMAN karena daya dukung yang dihasilkan lebih besar dari beban yang diterima.

4. Perhitungan Daya Dukung Lateral

Perhitungan daya dukung lateral bertujuan untuk mengetahui kemampuan fondasi dalam menahan gaya dan beban secara horizontal. Hasil analisa daya dukung lateral dengan metode *Brooms*, seperti pada tabel di bawah.

Tabel 4.15 Hasil Daya Dukung Lateral

Jenis Fondasi	Metode	Daya Dukung Lateral Tunggal	Daya Dukung Lateral Kelompok ($H_{u\ group}$)
<i>Spun Pile</i>	<i>Brooms</i>	7815,973	1321,24
<i>Bored Pile</i>	<i>Brooms</i>	3769,277	764,6

(Sumber : Hasil analisis, 2023)

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, daya dukung lateral pada fondasi *Spun Pile* lebih besar daripada *Bored Pile* baik tiang tunggal maupun tiang kelompok.

5. Penurunan Fondasi

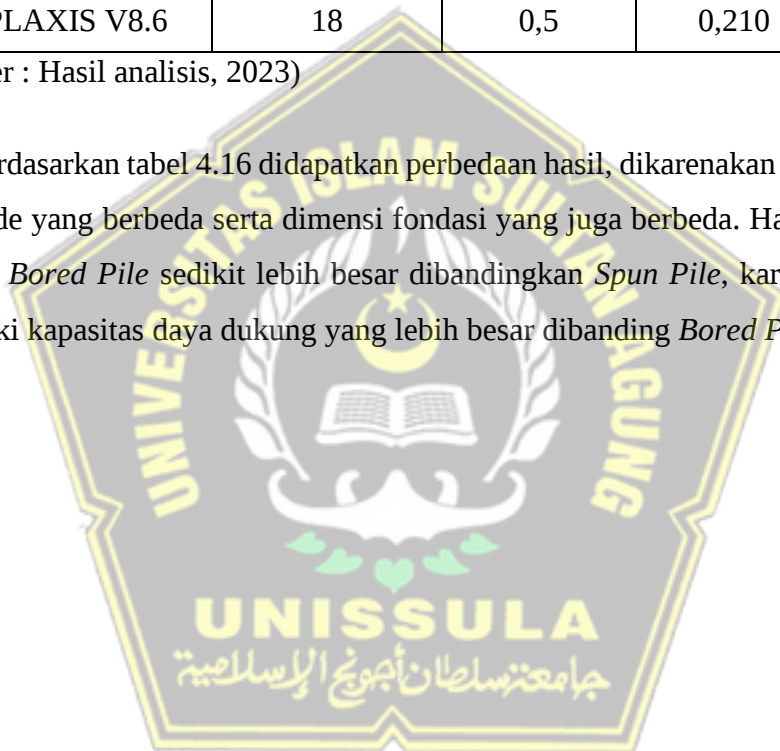
Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui berapa banyak fondasi mengalami penurunan akibat beban yang diterima. Penurunan fondasi menggunakan 2 metode yaitu metode manual menurut *Vesic* dan pemodelan dari *software* PLAXIS V.8.6.

Tabel 4.16 Hasil Penurunan Tiang Fondasi

Jenis Fondasi	Metode	Jumlah Tiang (n)	Dimensi (m)	Kelompok (m)	Tunggal (m)
<i>Spun Pile</i>	<i>Vesic 1977</i>	12	0,6	0,033	0,02
	PLAXIS V8.6	12	0,6	0,121	0,036
<i>Bored Pile</i>	<i>Vesic 1977</i>	18	0,5	0,019	0,01
	PLAXIS V8.6	18	0,5	0,210	0,063

(Sumber : Hasil analisis, 2023)

Berdasarkan tabel 4.16 didapatkan perbedaan hasil, dikarenakan menggunakan 2 metode yang berbeda serta dimensi fondasi yang juga berbeda. Hasil penurunan fondasi *Bored Pile* sedikit lebih besar dibandingkan *Spun Pile*, karena *Spun Pile* memiliki kapasitas daya dukung yang lebih besar dibanding *Bored Pile*.



BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Hasil hitungan dari analisa pembangunan Jembatan Kalibanger Semarang dapat disimpulkan hasilnya sebagai berikut :

1. Hasil analisa hitungan beban maksimum Jembatan Kalibanger Semarang dan penambahan beban *Pilecap* hasilnya sebesar 9968,7889 kN pada joint 111.
2. Hasil analisa hitungan kapasitas daya dukung tiang tunggal fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*) dengan metode *Meyerhoff* sebesar 1130,08 kN dan *Reese & Wright* sebesar 865,93 kN, sedangkan fondasi *bored pile* dengan metode *Meyerhoff* sebesar 653,66 kN dan *Reese & Wright* sebesar 589,2 kN.
3. Hasil analisa hitungan efisiensi tiang kelompok fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*) dengan metode *Converse Labarre-Formula* sebesar 758017 kN dan fondasi *bored pile* sebesar 761707 kN.
4. Hasil analisa hitungan penurunan tiang kelompok fondasi Tiang Pancang (*Spun Pile*) dengan metode *Vesic* sebesar 0,33 m dan *software Plaxis v8.6* sebesar 0,121 m sedangkan fondasi *bored pile* dengan metode *Vesic* sebesar 0,019 m dan *software Plaxis v8.6* sebesar 0,210 m.
5. Hasil analisa perbandingan daya dukung dan penurunan fondasi memakai metode manual dan program didapatkan hasil yang hampir sama dan memiliki selisih yang tidak terlalu jauh antara fondasi *Spun Pile* dengan *Bored pile*, namun pada fondasi *Spun Pile* memiliki penurunan yang lebih sedikit karena memiliki kapasitas daya dukung yang lebih besar daripada *Bored Pile*. Perbedaan daya dukung fondasi bisa disebabkan dikarenakan penggunaan jenis metode berbeda.

5.2. Saran

Dari hasil analisis dalam mengerjakan Tugas Akhir memakai judul Analisis Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang dengan *Bored Pile* Pada Proyek Jembatan Kalibanger Semarang perlu analisis lebih lanjut dengan saran sebagai berikut :

1. Pada saat menghitung daya dukung dan penurunan fondasi baik dengan manual ataupun *software* perlu diperhatikan data-data yang harus digunakan, seperti data penyelidikan tanah.
2. Dalam analisis hitungan daya dukung fondasi dengan metode *Reese & Wright* dan *meyerhoff*, perlu diperhatikan untuk jenis tanah yang digunakan dan penggunaan rumus perhitungannya, dikarenakan beberapa referensi terdapat perbedaan rumus dengan metode yang sama dan juga jenis tanah yang sama.
3. Analisis perhitungan manual bertujuan untuk mengetahui proses penurunan yang terjadi terhadap fondasi. Sedangkan, perhitungan dengan *software* Plaxis V8.6 bertujuan untuk memudahkan dalam menganalisis penurunan fondasi. Perlu diteliti pada saat memasukkan data-data parameter tanah supaya hasil penurunan secara *software* tidak jauh berbeda dengan perhitungan manual.
4. Dalam perhitungan penurunan menggunakan *software* lebih baik menggunakan Plaxis 3D daripada Plaxis 2D.
5. Dalam melakukan analisis fondasi ini diperlukan ketelitian dan pemahaman materi

DAFTAR PUSTAKA

- Asror, Haris Al dan Adji, Muhammad Wisnu (2022). *Analisa Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Mini Pile Dengan Bored Pile Pada Gedung Fakultas Farmasi Universitas Wahid Hasyim Semarang*. Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang
- Begeman, M. L. (1965). *Teknologi Mekanika*. Erlangga.
- Bowles, J. E. (1991). *ANALISIS DAN DESAIN PONDASI*. Penerbit Erlangga.
- Bowles, J. E. (1993). *ANALISIS DAN DESAIN PONDASI, Edisi Keempat Jilid 2*. Erlangga.
- Bowles, J. E. (1997). *ANALISIS DAN DESAIN PONDASI JILID 2*. Erlangga.
- Das, B. M. (1991). *Principles of Foundation Engineering Fourt Edition*. Sacramento.
- Das, B. M. (1998). *Mekanika Tanah Jilid 1*. Erlangga.
- Das, B. M. (2011). *Principle of Foundation Engineering (7 ed.)*. Cengage.
- Dokumen Kerja PT. MCM KSO PT. CDI, 2022
- Fadil, Muhammad dan Khayayuman, Ilham (2022). *Kajian Efisiensi Grub Tiang Terhadap Penurunan Daya Dukung dan Konfigurasi Fondasi Tang Pancang*. Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang
- Gunawan, R. (1991). *Pengantar Ilmu Bangunan*. Kanisius.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I (3 ed.)*. Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2011). *Analisis dan Perancangan Fondasi. Edisi II (2 ed.)*. Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2013). *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan (1 ed.)*. Gajah Mada University Press.
- Maciej Serda, Becker F. G., & Cleary M. (2017). *Analisa Penurunan Bangunan Pondasi Tiang Pancang Dan Rakit Pada Proyek Pembangunan Apartement Surabaya Central Business District*. 6(2), 166–179.
- Manu, A. I. (1995). *Dasar-Dasar Perencanaan Jembatan Beton Bertulang*. PT. Mediatama Saptakarya, DPU.

- Meyerhoff. (1956). *Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soil* (Vol. 82). JSMFD, ASCE.
- P.N.W. Verhoef. (1994). *Geologi Untuk Teknik Sipil*. PT. ERLANGGA.
- Poulos, H. G., & Davis, E. H. (1980). *Pile Foundation Analysis and Design*. Wiley. <https://books.google.co.id/books?id=bqVIPgAACAAJ>
- PT. BUKAKA Teknik Utama
- Reese, L. C., & Wright, S. J. (1977). *Drilled Shaft Design and Construction Guidelines Manual* (Vol. 1). U.S Department of Transportation.
- Rohman, Alvin Fa'qu (2022). *Analisis Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Bored Pile Pada Proyek Pembangunan Rumah Susun Pekerja Industri Batang I*. Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Sardjono H. S. (1988). *PONDASI TIANG PANCANG*. Sinar Wijaya.
- Setyanto. (1999). *Rekayasa Pondasi I*. Universitas Lampung.
- SNI 1725:2016
- Tomlinson, M., & Woodward, J. (2014). *Pile Design and Construction Practice* (6 ed.). CRC Press.
- Vesic, A. S. (1977). *Design of Pile Foundation*. National Research Council.

