

TUGAS AKHIR

ANALISIS DAYA DUKUNG AKSIAL, LATERAL DAN PENURUNAN FONDASI *BORED PILE* DENGAN DATA SONDIR PADA PROYEK PEMBANGUNAN DP MALL EXPANSION

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



Disusun Oleh :

Maulana Fery Ardianto

NIM : 30202000108

Ikhfan Fajar Andhika

NIM : 30202000088

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

2024

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS DAYA DUKUNG AKSIAL, LATERAL DAN PEMBEBANAN
TUNGGU BORED PILE DENGAN DATA SONDIR PADA PROYEK
PEMBANGUNAN DP MALL EXPANSION



Maulana Fery Andhika
NIM : 30202000108



Rehtas Fajar Andhika
NIM : 30202000088

Tesis diselesaikan dan disahkan di Semarang, Mei 2024
Tim Penulis

Mei 2024
Tanda Tangan

1. Prof. W. Pratomo, MSc, Ph.D
NIDN : 0627115501
2. Lisa Fitriyani, ST, M.Eng
NIDN : 0627115501
3. Dr. Abdul Hachim, ST, M.Eng
NIDN : 0608067601

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhammad Husli Ahyar, ST., M.Eng
NIDN : 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No :

Pada hari ini tanggal Mei 2024 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

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

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut dibawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir

Maulana Fery Abdianto

Defina Fajar Andhika

NIM : 30202000108

NIM : 30202000208

Judul : Analisis perbandingan biaya *building* aktual, *lump sum* dan penurunan *fundamental pile* dengan NDA test proyek pembangunan *DP Mall Expansion Semarang*. Dengan tahapan sebagai berikut:

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	23/10/2023	ACC
2	Selesai Proposal	05/12/2023	
3	Pengumpulan data	01/11/2023	
4	Penyusunan laporan	31/10/2023	
5	Selesai laporan	15/05/2024	

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

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Pendamping

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

Lisa Fitriyana, ST., M.Eng

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Kami yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : Maulana Fery Ardianto

NIM : 30202000108

NAMA : Ikhsan Fajar Andhika

NIM : 30202000088

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul
Analisis daya dukung aksial, lateral dan penurunan fondasi bored pile
dengan data sendiri proyek pembangunan DP Mall Expansion Semarang,
benar belia dari plagiat. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka kami
beresedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini dibuat untuk dapat digunakan sebagaimana
memstinya.

Semarang, Mei 2024

Yang membuat pernyataan 1

Yang membuat pernyataan 2

Maulana Fery Ardianto

NIM : 30202000108

Ikhsan Fajar Andhika

NIM : 30202000088



PERNYATAAN KEASLIAN

Kami yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Maulana Fery Ardianto

NIM : 30202000108

NAMA : Ikhsan Fajar Andhika

NIM : 30202000088

JUDUL TUGAS AKHIR :

Analisis daya dukung aksial, lateral dan penurunan fondasi bored pile dengan data sendiri proyek pembangunan DP Mall Expansion Semarang.

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian pemikiran dan perancangan asli kami sendiri yang tidak mencantumkan tanpa pengakuan seban-ban yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain yang sebagai bahan yang pernah ataupun pernah gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

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

Demikian pernyataan ini kami buat.

Semarang, Mei 2024

Yang membuat pernyataan 1

Yang membuat pernyataan 2

Maulana Fery Ardian

Ikhsan Fajar Andhika

NIM : 30202000108

NIM : 30202000088

MOTTO

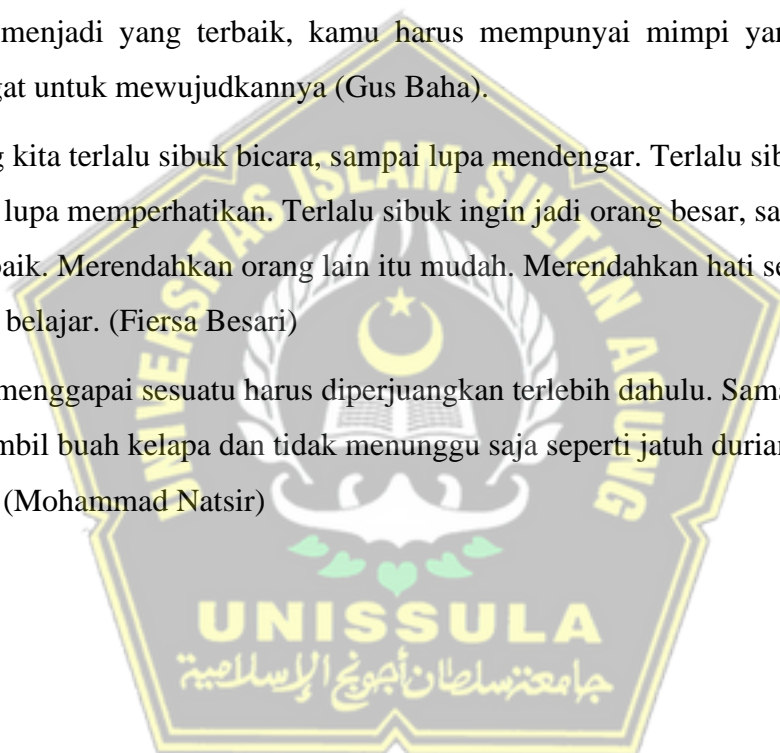
“Kamu adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma’ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka, di antara mereka ada yang beriman, dan kebanyakan mereka adalah orang-orang yang fasik”. (Q.S Ali-Imran, 110)

“Tidak ada pemberian orang tua yang paling berharga kepada anaknya daripada pendidikan akhlak mulia.” (HR. Bukhari)

Untuk menjadi yang terbaik, kamu harus mempunyai mimpi yang besar serta semangat untuk mewujudkannya (Gus Baha).

Kadang kita terlalu sibuk bicara, sampai lupa mendengar. Terlalu sibuk mengetik, sampai lupa memperhatikan. Terlalu sibuk ingin jadi orang besar, sampai lupa jadi orang baik. Merendahkan orang lain itu mudah. Merendahkan hati sendiri butuh banyak belajar. (Fiersa Besari)

Untuk menggapai sesuatu harus diperjuangkan terlebih dahulu. Sama halnya saat mengambil buah kelapa dan tidak menunggu saja seperti jatuh durian yang sudah masak. (Mohammad Natsir)



PERSEMBAHAN

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

1. Untuk orang tua saya Ibu Siti Asmanah yang tak pernah lupa untuk memberikan doa untuk kelancaran studi saya, yang senantiasa memberikan saya support dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan lancar.
2. Bapak Prof. Ir. Pratikso, MST., Ph.D serta Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng yang telah berkenan membimbing kami dari awal hingga akhir laporan ini dibuat.
3. Maulana Fery Ardianto, selaku teman dan partner Tugas Akhir saya yang telah berjuang bersama-sama untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Kepada keluarga kontrakan Teknik Area saya mengucapkan terimakasih telah mensupport setiap langkah pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Teman – Teman Program Studi Teknik Sipil Unissula yang sudah banyak membantu dan menyemangati selama proses pembuatan Tugas Akhir.
6. Terakhir, terima kasih kepada diri sendiri, karena tidak menyangka saya telah berjuang untuk menggapai menyelesaikan laporan ini bisa selesai tepat waktu sesuai target yang saya inginkan.

Maulana Fery Ardianto

NIM : 30202000108

PERSEMBAHAN

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

1. Kepada kedua orang tua saya yang hebat dan selalu menjadi penyemangat saya. Yang tidak henti-hentinya memberikan doanya dengan penuh cinta.
2. Kepada kedua kakak saya yang selalu memberikan support baik dari tenaga maupun materi.
3. Bapak Prof. Ir. Pratikso, MST., Ph.D serta Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng yang telah berkenan membimbing kami dari awal hingga akhir laporan ini dibuat.
4. Sahabat-Sahabat saya di Teknik Area, KMFT dan kumpulan Plat-K yang telah memberi dukungan moril sehingga laporan ini bisa terselesaikan.
5. Kepada Maulana Fery Ardianto selaku teman, sahabat dan partner Tugas Akhir saya yang telah berjuang bersama-sama untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Teman – Teman Program Studi Teknik Sipil Unissula yang sudah banyak membantu dan menyemangati selama proses pembuatan Tugas Akhir.
7. Terakhir, terima kasih untuk diri sendiri, karena sudah mau diajak berjuang dan berusaha sejauh ini. Tugas Akhir ini merupakan pencapaian yang patut dibanggakan untuk diri sendiri.

Ikhfan Fajar Andhika

NIM : 30202000088

KATA PENGANTAR

Segala puji dan Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Daya Dukung Aksial, Lateral dan Penurunan Fondasi *Bored Pile* Dengan Data Sondir Pada Proyek Pembangunan DP Mall *Expansion* 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 Tugas Akhir ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Unissula yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan akademik.
2. Bapak Prof. Ir. Pratikso, MST., Ph.D selaku dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan telah memberikan arahan serta dorongan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng selaku dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan telah memberikan arahan serta dorongan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung 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, Mei 2024

Penulis

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
ABSTRAK.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan Laporan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian Tanah	5
2.1.1 Parameter Tanah	5
2.2 Klasifikasi Tanah.....	7
2.3 Penyelidikan Tanah	9
2.3.1 Pekerjaan Sondir	9
2.3.2 Pekerjaan Laboratorium.....	10
2.4 Fondasi	10
2.4.1 Syarat Fondasi	10
2.5 Klasifikasi Fondasi.....	10

2.5.1	Fondasi Dalam.....	11
2.6	Kapasitas Daya Dukung Fondasi.....	10
2.6.1	Daya Dukung Ultimit Fondasi.....	12
2.6.2	Kapasitas Daya Dukung Ultimit Fondasi	13
2.6.3	Kapasitas Daya Dukung <i>Bored Pile</i> Tunggal.....	16
2.6.4	Kapasitas Daya Dukung <i>Bored Pile</i> Kelompok.....	18
2.6.5	Distribusi Beban Tiang.....	18
2.7	Perhitungan Daya Dukung Lateral	18
2.8	Penurunan Fondasi	22
2.9	Waktu Penurunan	24
2.10	Pemodelan Menggunakan <i>Software</i>	24
BAB III METODOLOGI.....		26
3.1	Pendahuluan	26
3.2	Lokasi Proyek.....	26
3.3	Data Umum	26
3.4	Data Teknis	27
3.5	Pengumpulan Data	27
3.6	Bagan Alur	28
3.7	Analisis Data	29
3.8	Pemodelan Menggunakan <i>Software</i> SAP2000 v.14.....	30
3.9	Pemodelan Menggunakan <i>Software</i> Plaxis v.20	30
3.10	Metode Perhitungan	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		32
4.1	Tinjauan Umum.....	32
4.2	Desain Struktur Atas dengan SAP200 v.14	33
4.2.1	Desain dan Pembebanan Struktur	35
4.3	Analisis Daya Dukung Fondasi <i>Bored Pile</i>	39
4.3.1	Perhitungan Daya Dukung Fondasi <i>Bored Pile</i> Metode Aoki De Alencar (1975)	39
4.3.2	Perhitungan Daya Dukung Fondasi <i>Bored Pile</i> Metode Mayerhoff (1976)	42
4.3.3	Perhitungan Jarak Antar Fondasi <i>Bored Pile</i> dan Jarak As ke Tepi	42
4.3.4	Kebutuhan Jumlah Fondasi <i>Bored Pile</i>	43

4.3.5 Efisiensi Daya Dukung Tiang	43
4.3.6 Perhitungan Daya Dukung Lateral Fondasi <i>Bored Pile</i>	43
4.3.7 Penurunan Tiang Tunggal.....	45
4.3.8 Penurunan Kelompok Tiang	47
4.3.9 Waktu Penurunan Tanah Fondasi <i>Bored Pile</i>	
4.4 Penurunan Fondasi Menggunakan <i>Software PLAXIS V.20</i>	47
4.5 Pembahasan.....	58
BAB V PENUTUP.....	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA.....	xvi
LAMPIRAN.....	xvii



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Perkiraan modulus Young.....	6
Tabel 2.2 Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson Ratio	6
Tabel 2.3 Hubungan Antara Sudut Geser dan Jenis Tanah.....	7
Tabel 2.4 Simbol Tanah	9
Tabel 2.5 Faktor Keamanan	13
Tabel 2.6 Faktor Empiric F_b dan F_s	15
Tabel 2.7 Nilai Faktor Empiric Tanah	15
Tabel 2.8 Nilai-nilai n_h untuk Tanah Granular ($c = 0$).....	22
Tabel 2.9 Nilai-nilai n_h untuk tanah Kohesif (Hardiyatmo,2011).....	22
Tabel 2.10 Koefesian Empiris.....	23
Tabel 2.11 Derajat Konsolidasi.....	24
Tabel 3.1 Data-data Umum Proyek.....	26
Tabel 3.2 Data Teknis Proyek.....	27
Tabel 4.1 Beban Hidup Pusat Perbelanjaan	34
Tabel 4.2 Kategori Resiko.....	35
Tabel 4.3 Faktor Keutamaan Gempa	35
Tabel 4.4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai S_{Ds}	35
Tabel 4.5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai S_{D1}	36
Tabel 4.6 Faktor Reduksi Gempa.....	36
Tabel 4.7 Hasil <i>Output Joint Reaction</i>	37
Tabel 4.8 Nilai q_c Dasar Tiang.....	40
Tabel 4.9 Nilai q_c	41
Tabel 4.12 Parameter Tanah	48
Tabel 4.13 Perbandingan Daya Dukung Fondasi Tunggal	58
Tabel 4.14 Perhitungan Daya Dukung Fondasi Kelompok	58
Tabel 4.15 Perbandingan Perhitungan Penurunan Fondasi.....	59

DAFTAR GAMBAR

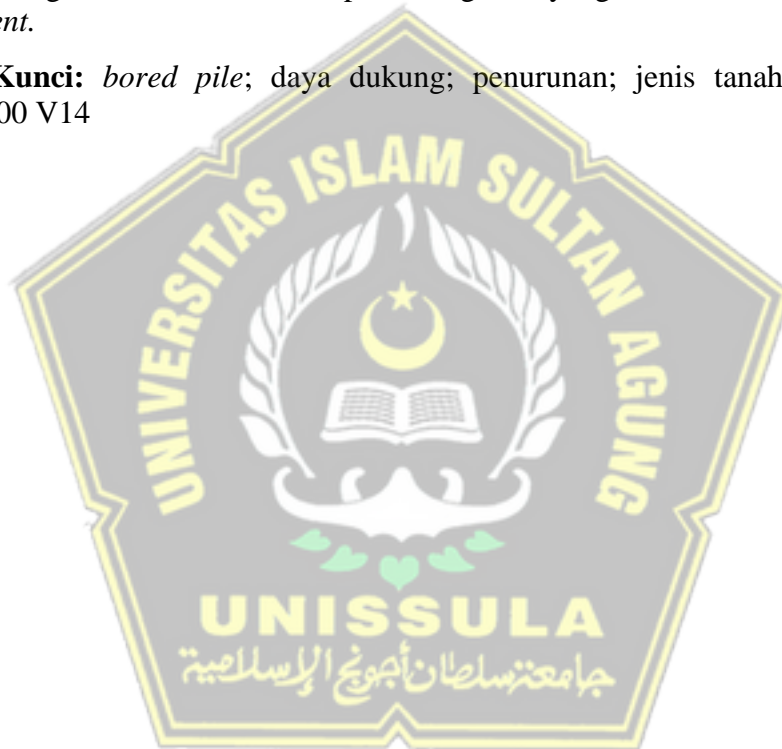
Gambar 2.1 Fondasi Tiang Pancang	11
Gambar 2.2 Fondasi <i>Bored pile</i>	12
Gambar 2.3 Grafik Daya Dukung Lateral Ultimit	20
Gambar 2.4 Grafik Tahanan Lateral Ultimit Tiang pada Tanah Kohesif(a) Tiang Pendek,(b) Tiang Panjang (<i>Broms, 1964</i>)	21
Gambar 3.1 Denah Lokasi Proyek DP Mall EXPANSION (<i>google maps 203</i> ...	26
Gambar 4.1 Desain Struktur Atas Gedung SAP v.14	33
Gambar 4.2 Peta Periode Gempa (SNI 1726 : 2019)	36
Gambar 4.3 Nilai Respon Spectrum.....	37
Gambar 4.4 Titik Beban Maksimum pada Denah Fondasi.....	38
Gambar 4.5 Pengaturan Global Project.....	48
Gambar 4.6 Pengaturan Global Project.....	49
Gambar 4.7 Pemodelan Kontur Tanah	49
Gambar 4.8 Data Umum Material Sets	50
Gambar 4.9 <i>Mohr Coulimb</i>	50
Gambar 4.10 Data Material Fondasi	51
Gambar 4.11 Pemodelan Fondasi Tunggal	51
Gambar 4.12 Input Pembebanan	52
Gambar 4.13 Deformasi Total Yang Terjadi 0,017	52
Gambar 4.14 Pengaturan Global Project.....	53
Gambar 4.14 Pengaturan Global Project.....	53
Gambar 4.15 Pemodelan Kontur Tanah	54
Gambar 4.16 Data Umum Material Set.....	54
Gambar 4.17 Material Fondasi.....	55
Gambar 4.18 Data Material Fondasi	55
Gambar 4.19 Data Material Plate	56
Gambar 4.20 Pemodelanl Fondasi Kelompok.....	56
Gambar 4.21 <i>Point Load</i>	56
Gambar 4.20 Deformasi Total Yang terjadi 0,045 m.....	57

ABSTRAK

Tingginya angka hidup beserta perekonomian pada Kota Semarang mengharuskan masyarakat mencari tambahan pemasyukan guna memperbaiki perekonomian keluarga. Pembangunan Proyek *DP Mall Expansion* menjadi salah satu alternatif untuk mengurangi kesenjangan ekonomi di Kota Semarang. Keadaan tanah pada lokasi proyek terindikasi tidak bagus dikarenakan terlalu banyak sedimen-sedimen yang muncul ketika pengeboran, didapat bahwa jenis tanah pada lokasi adalah kohesif berpasir. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung dan penurunan pada Proyek Pembangunan *DP Mall Expansion* Kota Semarang.

Penelitian Tugas Akhir ini menggunakan *software* plaxis V20 untuk menganalisa penuruna dengan permodelan menggunakan *software* SAP2000 V14 untuk menganalisa beban struktur pada bangunan yang terdiri dari 14 lantai dan 2 *basement*.

Kata Kunci: *bored pile*; daya dukung; penurunan; jenis tanah; plaxis V20; SAP2000 V14



ABSTRACT

The high standard of living and economy in the city of Semarang requires people to seek additional income to improve the family economy. The construction of the DP Mall EXPANSION project is an alternative to reduce economic inequality in the city of Semarang. The condition of the soil at the project location was indicated to be not good, because too much sediment appeared during drilling. It was found that the soil type at location was cohesive sandy. This research aims to determine the carrying capacity and decline in the Semarang DP Mall EXPANSION Development Project.

This final project research uses Plaxis V20 software to analyze settlement by modeling using SAP2000 V14 software to analyze structural loads in a building consisting of 14 floors and 2 basements.

Keywords: slab on pile; distance; height stack; soil type; plaxis V20.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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

Dalam suatu bangunan secara umum struktur itu dibagi menjadi dua yaitu struktur atas dan struktur bawah. Pondasi merupakan kontruksi struktur bawah yang menjadi elemen penting pada struktur bangunan. Ketahanan bangunan juga tergantung pada pondasinya karena fungsinya untuk meneruskan beban dari struktur atas menuju ke bagian bawah (tanah). Sebelum memutuskan membuat suatu pondasi, biasanya harus dilakukan penyelidikan tanah terlebih dahulu untuk mengetahui daya dukung tanah. Dari hasil penyelidikan tanah dapat ditentukan jenis pondasi yang efisien untuk bangunan yang akan dibangun.

Sebagai bagian dari perencanaan pembangunan DP Mall yang berlokasi di Semarang, sangat penting untuk mengetahui profil dan karakteristik tanah pada lokasi dimana bangunan tersebut akan didirikan. Dari hasil penyelidikan tanah di lapangan dan laboratirium menunjukkan bahwa tanah tersebut jenis tanah kohesif berpasir. Untuk bangunan mall dengan 14 lantai dan 2 lantai *basement* menggunakan fondasi dalam sebagai substruktur. Secara umum, jenis fondasi dalam ada 2 yaitu fondasi tiang pancang dan *bored pile*. Tanah dengan kepadatan rendah hingga sedang dapat menyebabkan masalah pada struktur fondasi. Kondisi tanah seperti itu memiliki daya dukung yang buruk dan dapat menyebabkan penurunan yang besar pada fondasi bangunan. Untuk mencegah keruntuhan struktur yang didirikan di tengah perkotaan, penyelidikan menyeluruh terhadap daya dukung tanah dan penurunan fondasi sangat penting.

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

Dalam penelitian ini juga mempertimbangkan jenis beban dan kondisi tanah yang terdapat di Proyek Pembangunan DP Mall Expansion yang dihitung menggunakan SAP2000 v.14 dan penurunan fondasi menggunakan PLAXIS v.20. Maka berdasarkan penjelasan diatas dapat disusun tugas akhir ini dengan judul **“ANALISIS DAYA DUKUNG AKSIAL, LATERAL DAN PENURUNAN PADA FONDASI *BORE PILE* DENGAN DATA SONDIR PADA PROYEK DP MALL EXPANSION KOTA SEMARANG “.**

1.2 Rumusan Masalah

Menurut latar belakang diatas, berikut rumusan masalahnya :

- a. Berapa beban ijin yang diterima oleh fondasi *bored pile* pada proyek pembangunan DP Mall Expansion menggunakan *software* SAP 2000 V.14?
- b. Berapa daya dukung tiang tunggal dan kelompok fondasi *bored pile* dengan perhitungan manual dari data Sondir pada Proyek Pembangunan DP Mall Expansion Kota Semarang?
- c. Berapa nilai penurunan tiang tunggal dan kelompok tiang secara manual dan *Software Plaxis V.20. ?*

1.3 Batasan Masalah

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

- a. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data tanah pada Proyek Pembangunan DP Mall Expansion Kota Semarang berupa data sondir.
- b. Perhitungan daya dukung tiang secara manual menggunakan metode *mayerhoft* (1976), *Broms* (1964), *Aoki de alencar* (1975) dan *Converse-Labarre*. Sedangkan untuk perhitungan penurunan secara manual menggunakan metode *Vesic* (1977).
- c. Pembebanan struktur atas menggunakan *Software* SAP 2000 V.14.
- d. Perhitungan nilai penurunan fondasi *bored pile* menggunakan *Software* PLAXIS v.20.

e. Aspek peninjauan hanya mengenai fondasi *Bored Pile* saja.

1.4 Maksud dan Tujuan

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

- a. Mengetahui beban ijin yang diterima oleh fondasi *bored pile* pada proyek pembangunan DP Mall Expansion.
- b. Mengetahui kapasitas daya dukung tiang tunggal maupun kelompok fondasi *bored pile* dengan perhitungan manual dari data sondir pada Proyek Pembangunan DP Mall Expansion Kota Semarang.
- c. Untuk mengetahui penurunan tiang tunggal dan penurunan kelompok tiang dengan *Softwere* PLAXIS V.20.

1.5 Sistematika Penulisan

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

BAB I : PENDAHULUAN

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

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III : METODOLOGI

Bab ini berisi mengenai pendahuluan, lokasi proyek, data umum, data teknis, bagan alur, metode pengumpulan data, dan metode pengolahan data dalam penyusunan tugas akhir.

BAB IV : HASIL PENELITIAN

Pada bab ini membahas tentang berbagai hasil uraian perhitungan perencanaan yang telah dilakukan penulis.

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran terhadap penelitian sebagai bagian akhir laporan tugas akhir.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2. 1 Pengertian Tanah

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

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

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

2.1.1 Parameter Tanah

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

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

a. Modulus Young (E)

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

Tabel 2.1 Nilai Perkiraan Modulus Young

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

(Sumber : Bowles, 1997)

b. Poisson Ratio (μ)

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

Tabel 2. 2 Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson Ratio

Jenis Tanah	Poisson Raatio (μ)
Lempung jenuh	0,4-0,5
Lempung tak jenuh	0,1-0,3
Lempung berpasir	0,2-0,3
Lanau	0,3-0,35
Pasir	0,1-1,0
Batuan	0,1-0,4
Umum dipakai untuk tanah	0,3-0,4

(Sumber : Das, 2011)

c. Sudut Geser Dalam (ϕ)

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

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

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam (θ)
Kerikil kepasiran	$35^{\circ} - 40^{\circ}$
Kerikil kerakal	$35^{\circ} - 40^{\circ}$
Pasir padat	$35^{\circ} - 40^{\circ}$
Pasir lepas	30°
Lempung kelanauan	$25^{\circ} - 30^{\circ}$
Lempung	$20^{\circ} - 25^{\circ}$

(Sumber : Das, 2011)

d. Kohesi (c)

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

2. 2 Klasifikasi Tanah

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

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

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

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

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

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

1. Tanah berbutir kasar adalah tanah yang mempertahankan lebih dari 50% unsur penyusunnya dalam saringan no. 200 (0,075mm). Pasir (S) dan kerikil (G) membentuk tanah butiran kasar.
2. Tanah berbutir halus adalah tanah yang lebih dari 50% penyusunnya lolos saringan no. 200. Tergantung letak tanah grafik plastisitas (korelasi batas cair, indeks plastisitas), tanah berbutir halus ini diklasifikasikan sebagai lanau (M), lempung (C), dan lanau dan lempung organik (O).
3. Apabila batas cair contoh tanah yang telah dibakar dengan yang belum dibakar berbeda lebih dari 25%, maka tanah tersebut dianggap sebagai tanah organik (Gambut/Humus).

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

Tabel 2. 4 Simbol Tanah

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

(Sumber : Craig, 1991)

2. 3 Penyelidikan Tanah

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

2.3.1 Pekerjaan Sondir

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

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

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

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

2.3.2 Pekerjaan Laboratorium

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

2. 4 Fondasi

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

2.4.1 Syarat Fondasi

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

- a. Material yang digunakan sebagai fondasi harus tahan lama dan tidak mudah hancur.
- b. Fondasi harus kuat menahan muatan geser akibat muatan tegak ke bawah..
- c. Fondasi harus menyesuaikan pergerakan tanah yang tidak stabil.
- d. Fondasi harus diletakan pada lapisan tanah yang keras dan padat.
- e. Fondasi harus diletakan menerus dibawah seluruh dinding bangunan dan dibawah kolom yang berdiri bebas.
- f. Fondasi harus diletakan pada lapisan tanah yang keras dan padat. Fondasi yang tidak diletakan pada lapisan tanah yang keras dapat mengakibatkan penurunan fondasi.
- g. Fondasi tidak boleh diletakkan sebagian pada tanah yang keras dan sebagian lagi pada tanah yang lembek karena bisa mengakibatkan fondasi retak atau patah.

2. 5 Klasifikasi Fondasi

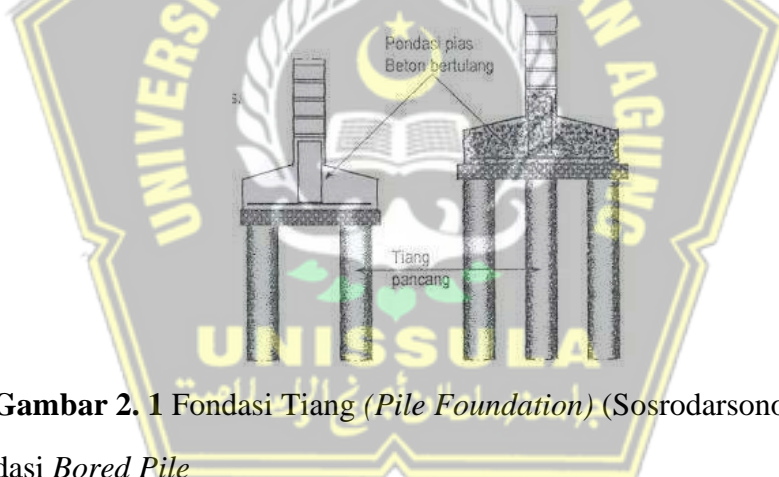
Klasifikasi fondasi berdasarkan kedalamannya terdapat beberapa jenis dan salah satunya adalah fondasi dalam. Berikut adalah pengertian fondasi dalam tersebut (Bowles, 1987):

2.5.1 Fondasi Dalam

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

a. Fondasi Tiang (*pile foundation*)

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

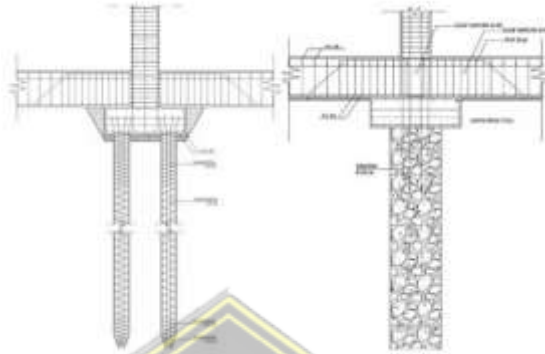


Gambar 2. 1 Fondasi Tiang (*Pile Foundation*) (Sosrodarsono, 1990)

b. Fondasi *Bored Pile*

Fondasi *bored pile* ialah jenis fondasi dalam yang umum dipergunakan di bangunan vertikal dengan lapisan lantai yang jumlahnya cukup banyak. *Bored pile* ialah sebuah fondasi yang berbentuk layaknya tabung panjang dan ditancapkan ke dalam tanah. Untuk pemasangan fondasi tiang pancang ini melibatkan pengeboran tanah hingga kedalaman tertentu. Pelaksanaan fondasi *bored pile* yang dipilih disesuaikan dengan jenis tanah, kondisi medan serta metode konstruksi yang dipilih. Tujuan dari penggunaan fondasi *bored pile* tentunya supaya bangunan bisa berdiri dengan kokoh setelah proses pembangunan selesai. Fondasi *bored pile* memiliki kualitas ketahanan yang

baik, terutama untuk pemakaian dalam jangka waktu lama. Fungsi fondasi *bored pile* ialah untuk dasar tapak suatu bangunan. Berbaning jenis lainnya, fondasi *bored pile* bisa untuk menopang beban yang lebih berat dengan karakteristik yang dimiliki.



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

2. 6 Kapasitas Daya Dukung Fondasi

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

2.6.1 Daya Dukung Ultimit Fondasi

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

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

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

Dimana :

- Q_u = Daya Dukung Ultimit (ton)
- Q_p = Daya Dukung Ujung Tiang (ton)
- Q_s = Daya Dukung Tahanan Kulit (ton)
- Q_{all} = Daya Dukung Tanah Yang Diizinkan

SF = Angka keamanan 3 dan 5 (Wesley untuk indonesia)

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

Tabel 2.5 Faktor Keamanan

(Sumber : Hardiyatmo, 1996)

2.6.2 Kapasitas Daya Dukung Bored Pile Hasil Sondir

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

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

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

Dimana :

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

Q_b = Kapasitas tahanan di ujung fondasi (ton).

Q_s = Kapasitas tahanan kulit (ton).

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

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

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

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

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

a. Metode *Aoki dan De Alencar (1975)*

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

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

Dimana :

- Q_u = Kapasitas daya dukung fondasi (kN)
- q_b = Tahanan ujung sondir (kN/m^2).
- A_b = Luas penampang tiang (m^2).

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

$$q_b = \frac{qca (base)}{Fb} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

- $qca (base)$ = Perlawanan konus rata-rata 1,5D diatas ujung tiang, 1,5D dibawah ujung tiang dan Fb adalah factor empiric tahanan tiang tergantung pada tipe tiang (kg/cm^2).
- Fb = Faktor empiric tahanan ujung tiang yang tergantung pada tipe tiang.

Tahanan kulit persatuan luas (F) diprediksi sebagai berikut :

$$F = q_c (side) \frac{as}{Fs} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

- $q_c (side)$ = Perlawanan konus rata-rata pada masing lapisan sepanjang tiang (kg/cm^2).
- Fs = Faktor empiric tahanan kulit yang tergantung pada tipe tiang (kg/cm^2).
- as = Nilai factor empiric tanah.

Tabel 2.6 Faktor Empiric Fb dan Fs

Tiang Pancang	Fb	Fs
Tiang Bor	3,5	7
Baja	1,75	3,5
Beton Pratekan	1,75	3,5

(Sumber : Titi dan Farsakh, 1999)

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

Tabel 2.7 Nilai Faktor Empiric Tanah

(Sumber : Titi dan Farsakh, 1999)

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

b. Metode Langsung

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

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

Dimana :

- Qa = Daya dukung ujung tiang (kg/tiang).
- q_c = Tahanan ujung sondir (kg/cm²).
- A_p = Luas selimut tiang (cm²).
- JHP = Tahanan friksi dari selimut tiang rata-rata (kg/cm²).

K_t = Keliling tiang (cm).

Daya dukung ijin fondasi tiang dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

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

Dimana :

$Q_u Ijin$ = Kapasitas daya dukung ijin tiang (kg/tiang).

q_c = Tahanan ujung sondir (kg/cm^2).

A_p = Luas penampang tiang (cm^2).

JHL = Jumlah hambatan lekat (kg/cm^2).

K_t = Keliling tiang (cm).

3 = Faktor keamanan untuk daya dukung tiang.

5 = Faktor keamanan untuk gesekan pada selimut tiang

2.6.3 Kapasitas Daya Dukung Bored Pile Tunggal

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

$$Pult = qcr. Ap + \sum fs. As \dots\dots\dots (2.9)$$

$$Pall = \frac{Pult}{FK} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

$Pult$ = Beban maksimum yang bekerja pada tiang.

$Pall$ = Kapasitas beban yang diijinkan.

Ap = Luas penampang tiang (cm^2).

As = Kapasitas beban yang diijinkan.

qcr = q_c rata-rata, sepanjang 4D Sebagian atas rencana ujung tiang, dan 1D dibawah ujung (ton).

$\sum fs$ = Jumlah hambatan ujung (ton).

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

2.6.4 Daya Dukung Bored Pile Kelompok

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

a. Jumlah Tiang

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

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

Dimana :

n = Jumlah tiang.

p = Beban yang bekerja (ton).

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

2. Jarak Antar Tiang

Berikut adalah rumus untuk menghitung jarak antar tiang pada fondasi:

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

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

Dimana :

S = Pusat jarak antar tiang (m)

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

3. Efisiensi Kelompok Tiang

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

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

Dimana :

s = Jarak as tiang (m)

d = Diameter tiang (m)

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

Dimana :

η = Efisiensi kelompok (%)

m = Jumlah arah vertical.

n = Jumlah arah horizontal.

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

Dimana :

Q_g = Daya dukung aksial (ton).

n = Jumlah kolom arah horizontal.

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

η = Efisiensi kelompok (%)

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

Dimana :

P_g = Kapasitas ijin tiang kelompok.

η = Efisiensi kelompok tiang (%).

n = Jumlah tiang dalam kelompok

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

2.6.5 Distribusi Beban Pada Tiang

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

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

Dimana :

P_{max} = Beban maksimum yang diterima tiap tiang

$\sum V_u$ = Total beban aksial

n_y = Jumlah tiang dalam satu sumbu Y

n_x = Jumlah tiang dalam satu sumbu X

n = Jumlah tiang

M_x = Momen yang bekerja tegak lurus sumbu X

M_y = Momen yang bekerja tegak lurus sumbu Y

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

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

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

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

2.7 Perhitungan Daya Dukung Lateral

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

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

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

Cara menentukan R dan I, sebagai berikut :

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

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

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

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

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

Dimana :

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

I = Momen Inersia (m^4)

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

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

D = Diameter (m)

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

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

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

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

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

$$H_{ijin} = \frac{Hu}{sf} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana :

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

b. Defleksi Tiang

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

Dimana :

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

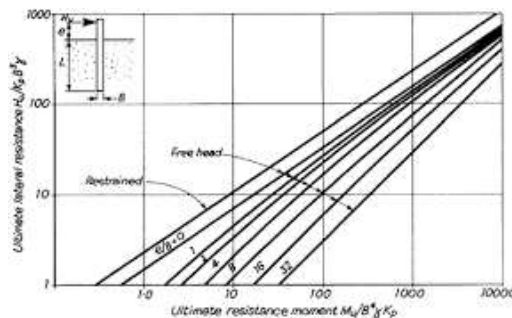
- Tiang pendek jika $\alpha L < 2$, $y_o = \frac{2H}{L^2 \times \eta h} \dots\dots\dots (2.31)$

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

Dimana :

- H = Beban Lateral (kN)
- L = Panjang Tiang (m)

- Nilai Hu didapat berdasarkan grafik



Gambar 2.3 Grafik Daya Dukung Lateral Ultimit (Broms, 1964)

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

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

Dimana:

H_u = Beban lateral (kN)

D = Diameter tiang (m)

c_u = Kohesi tanah (kN/m^2)

L = Panjang tiang (m)

g = Jarak momen maksimum dasar tiang (m)

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

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

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

Dimana :

m_y = Momen leleh (kN-m)

f = Jarak momen maksimum dari permukaan tanah (m)



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

- Perhitungan lateral izin, sebagai berikut :

Tahanan momen ultimit (grafik) :

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

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

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

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

Tanah	η_h (kN/m^3)	Referensi
Lempung terkonsolidasi normal lunak	166-3518	Reese dan Matlock (1956)
	277-554	Davisson – Prakash
Lempung terkonsolidasi normal organik	111-277	Peck dan Davidson
	111-831	Davidson (1970)
Gambut	55	Davidson (1970)
	27,7-111	Wilson dan Hilts (1967)
Loss	8033-11080	Bowles (1968)

2. 8 Penurunan Fondasi

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

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

Dimana :

- S_t = Total penurunan (mm)
- S_1 = Akibat batang (mm)
- S_2 = Akibat beban di ujung (mm)

S3 = Akibat beban yang tersalurkan sepanjang selimut (mm)

Persamaan semi empiris untuk menentukan S1, S2 dan S3 adalah sebagai berikut :

$$S1 = \frac{(Qwp + \xi \times Qws) \times L}{Eb \times Ep} \dots\dots\dots (2.37)$$

$$S2 = \frac{Qwp \times Cp}{D \times qp} \dots\dots\dots (2.38)$$

$$S3 = \frac{Qwp}{P \cdot L} \times \frac{D}{Es} \times (1 - \mu S^2) \times lws \dots\dots\dots (2.39)$$

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

Dimana :

- Qwp = Beban yang diterima ujung tiang (kN)
- Qws = Beban yang diterima ujung tiang (kN)
- L = Panjang tiang (m)
- Ab = Luas penampang tiang (m²)
- Ep = Modulus elastisitas tiang (MPa)
- ξ = 0,5 (distribusi tahanan sepanjang tiang)
- qp = Tahanan ujung batas tiang (kN)
- Cp = Koefisien empiris, dapat dilihat pada tabel 2.10

Tabel 2.10 Koefisien Empiris

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

(Sumber : Vesic, 1977)

Berikut Persamaan penurunan tiang kelompok :

$$Sg = St \sqrt{\frac{b'}{B}} \dots\dots\dots (2.41)$$

Dimana :

- Sg = Penurunan kelompok tiang (mm)
- St = Total penurunan (mm)
- b' = Lebar kelompok tiang (mm)

B = Diameter Fondasi (mm)

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

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

Dimana D adalah diameter fondasi, dan hasil penurunan tidak boleh melebihi dari Sijin tersebut.

2. 9 Waktu Penurunan

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

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

Dimana :

- T = Waktu penurunan
- Tv = Factor waktu (derajat konsolidasi rata-rata), pada tabel 2.10
- H² = Seluruh panjang lintasan fondasi (m)
- Cv = Derajat konsolidasi (0.0045m² / dtk)

Tabel 2.11 Derajat Konsolidasi

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

(Sumber : Gulhati, Shaskhi K., 2005)

2. 10 Pemodelan Menggunakan *Software*

Pada penyelesaian tugas akhir ini penulis akan menggunakan *software* PLAXIS V.20 dan SAP2000 V.14. . Berikut adalah penjelasannya.

2.10.1 SAP2000 V.14

Analisa pembebanan pada proyek pembangunan DP Mall Expansion diperhitungkan dengan menggunakan aplikasi SAP2000 V.14. *Software* SAP2000 V.14 merupakan program aplikasi yang akan digunakan untuk menghitung pembebanan pada struktur atas bangunan dalam perencanaan fondasi yang akan direncanakan.

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

2.10.2 PLAXIS V.20

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

Perhitungan penurunan yang terjadi pada anilisa fondasi akan dihitung secara manual dan dihitung menggunakan *software* PLAXIS V 20. Dimana *software* ini merupakan program aplikasi analisa geoteknik yang dapat menganalis kestabilan tanah. Program ini dapat menganalisa penurunan tanah, galian, tanggul, dan timbunan tanah. Pada perencanaan kali ini PLAXIS V20. digunakan untuk menghitung penurunan yang terjadi pada perencanaan fondasi, dan dijadikan pembanding dengan perhitungan manual.



BAB III METODOLOGI

3.1 Pendahuluan

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah untuk mengetahui daya dukung dan penurunan fondasi dengan menggunakan fondasi *bored pile* pada proyek Pembangunan DP Mall Expansion Kota Semarang. Penyusunan tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas daya dukung, nilai penurunan, dan waktu penurunan fondasi menggunakan perhitungan manual dan *software* PLAXIS V 20.

3.2 Lokasi Proyek

Proyek DP Mall Expansion berlokasi di Jalan Pemuda No. 150 tepatnya di Desa Sekayu, Kecamatan Semarang Tengah, Kota Semarang yang dapat dilihat pada



Gambar 3.1.

Gambar 3.1 Denah Lokasi Proyek DP Mall Expansion (google maps 2023)

3.3 Data Umum

Data-data umum pada DP Mall Expansion dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Data-Data Umum Proyek

NO	JENIS DATA	KETERANGAN
1	Nama Proyek	Proyek Pembangunan DP Mall Expansion
2	Lokasi Proyek	Jl. Pemuda NO. 150, Sekayu, Semarang, Jawa Tengah , Indonesia.
3	Pemilik Proyek	PT. WIJAYA PRATAMA RAYA
4	Sumber Dana	PT. WIJAYA PRATAMA RAYA
5	Waktu Pelaksanaan	15 MEI 2023 – 13 APRIL 2025
6	Kontraktor Pelaksana	PT. BAUER PRATAMA INDONESIA
7	Konsultan Perencana	PT. WIRATMAN STRUCTURE
8	Konsultan Pengawas	PT. CIPTA PRIMA SEJAHTERA

(Sumber : Interview Lapangan)

3. 4 Data Teknis

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

Tabel 3.2 Data Teknis Proyek

O	Uraian	Keterangan
1	Fondasi	Fondasi <i>Bored Pile</i> K400
2	Tinggi Gedung	52,1 M
3	Luas Bangunan	69.388 m ²
4	Panjang Fondasi	22 M
5	Diameter Fondasi	80 CM

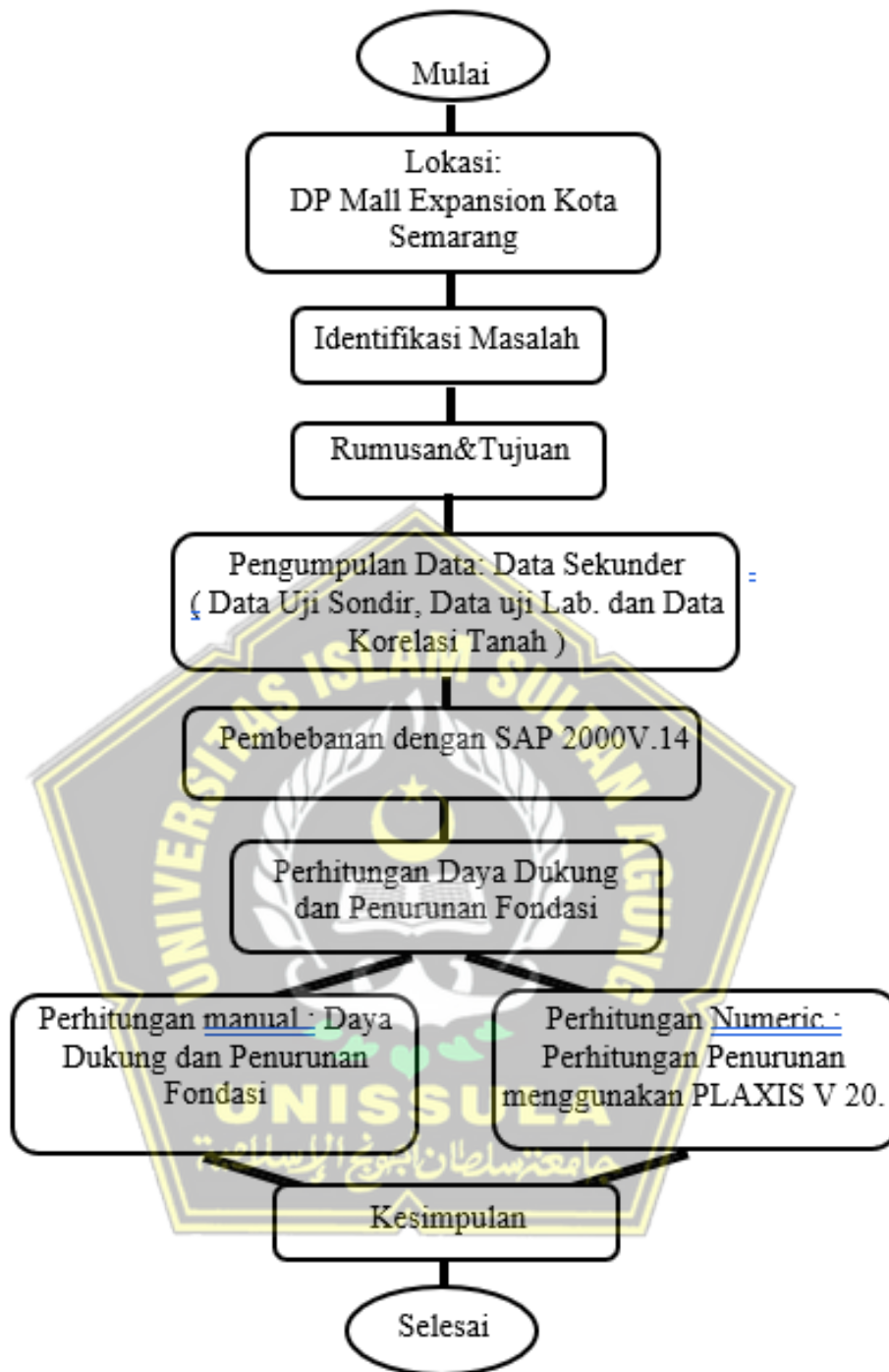
(Sumber : *Shop Drawing*, Pembangunan DP Mall Expansion Kota Semarang)

3. 5 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini untuk menghitung kapasitas daya dukung fondasi merupakan hasil uji penyelidikan tanah berupa data lapangan *cone penetration test (CPT)* dan data laboratorium terdiri dari *Direct shear*, *Index properties* dan data lainnya yang diberikan oleh pihak penyedia jasa pada proyek pembanguna DP Mall Expansion. Selain data dari hasil penyelidikan tanah, pada penelitian ini menggunakan referensi jurnal dan buku untuk menganalisis korelasi data tanah pada input parameter pada *software PLAXIS v.20* seperti *poisson ratio*, *modulus elastisitas* tanah dan permeabilitas tanah.

3. 6 Bagan Alur





Gambar 3.2 Bagan Alur

3.7 Analisis Data

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

1. Mengidentifikasi dari data tanah CPT yang bertujuan untuk mengetahui faktor keamanan (SF).
2. Perhitungan beban pada stuktur gedung menggunakan *software* SAP 2000v.14.
3. Perhitungan secara manual daya dukung ultimit fondasi *bored pile* dengan rumus pada persamaan 2.1 dan 2.2.
4. Menghitung dan menganalisis daya dukung fondasi *bored pile* dengan menggunakan metode *Aoki de Alencar(1975)* dengan rumus pada persamaan 2.4.
5. Menghitung dan menganalisis daya dukung fondasi *bored pile* dengan menggunakan metode *Mayerhoff(1976)* dengan rumus pada persamaan 2.7.
6. Menghitung banyak tiang fondasi yang dibutuhkan dengan rumus pada persamaan 2.11.
7. Menghitung dan menganalisis efisiensi daya dukung fondasi *bored pile* dengan metode *Converse-Labarre(1960)* dengan rumus pada persamaan 2.15.
8. Menghitung dan menganalisis daya dukung lateral fondasi *bored pile* dengan metode *Brooms(1964)* dengan rumus pada persamaan 2.27.
9. Menghitung dan menganalisis penurunan fondasi *bored pile* dengan metode *Vesic* dengan rumus pada persamaan 2.36.
10. Menghitung dan menganalisis waktu penurunan fondasi *bored pile* dengan rumus pada persamaan 2.43.
11. Menganalisis menggunakan *software* *PLAXIS V20*. dengan tujuan untuk membandingkan dengan perhitungan manual.

3. 8 Pemodelan menggunakan Program *Software* SAP 2000 V.14.

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

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

3. 9 Pemodelan menggunakan Program *Software* Plaxis v.20

Program Plaxis v.8.6 mensimulasikan keadaan sebenarnya yang terjadi di lapangan. Tujuan dari ini adalah untuk mewakili kerja lapangan yang sebenarnya dengan menggunakan hasil perhitungan dari perangkat lunak Plaxis v.20.

Perhitungan penurunan fondasi menggunakan aplikasi Plaxis v.20. dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Plaxis 20 → *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. *Instal condition*: menyatakan kondisi asli tanah perlapisan dan tinggi muka air tanah.
- e. Aktifkan pembebanan.
- f. Konsolidasi selama 10 tahun..
- g. Perhitungan *safety fact*.

3.10 Metode Perhitungan

3.10.1 Perhitungan Daya Dukung Ultimit Fondasi

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

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

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

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

3.10.3 Perhitungan Daya Dukung Fondasi Metode Meyerhoff (1976)

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

3.10.4 Menentukan Banyak Tiang Fondasi yang Dibutuhkan

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

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

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

3.10.6 Perhitungan Daya Dukung Lateral Metode Broms (1964)

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

3.10.7 Perhitungan Waktu Penurunan

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



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

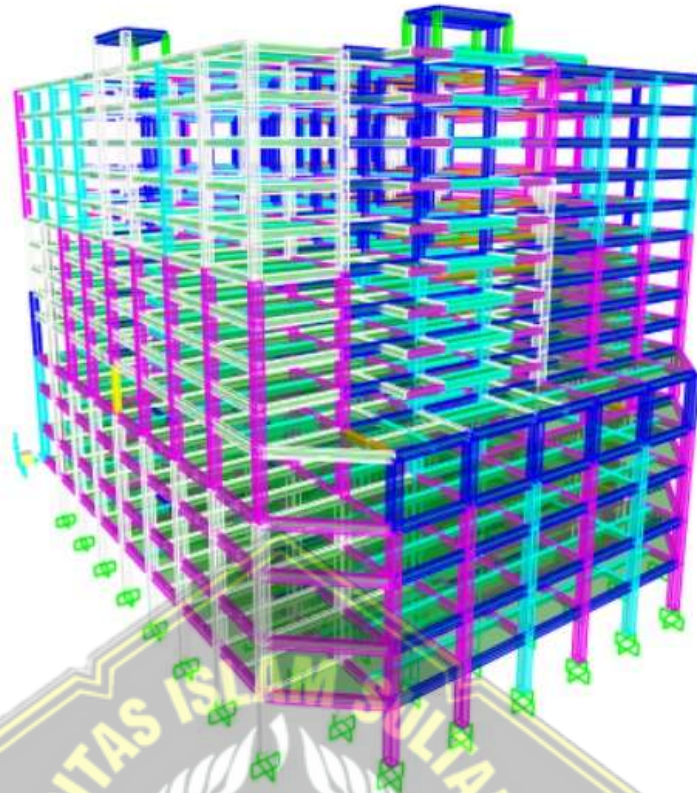
4.1 Tinjauan Umum

Bab ini berisi tentang analisis data yang didapatkan sebagai hasil pengolahan data *real estat* untuk pekerjaan Pembangunan DP Mall Expansion. Sebelumnya fondasi pada perencanaan proyek tersebut menggunakan fondasi *bored pile* dengan panjang 31 m. Sedangkan pada tugas akhir ini kami akan merencanakan ulang fondasi *bored pile* dengan panjang 22 m. Data tersebut dibuat untuk dengan menganalisa daya dukung dan penurunan fondasi dengan menggunakan data *survey* tanah berupa hasil uji sondir. Pada perhitungan daya dukung fondasi menggunakan metode *Aoki dan De Alencar*, metode *Meyerhof* dan metode *Converse-Labarre* untuk perhitungan daya dukung kelompok, perhitungan daya dukung *lateral*, perhitungan penurunan fondasi secara manual dengan metode *Vesic* dan juga menggunakan *software* PLAXIS v.20

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

4.2 Design Struktur Atas dengan Software SAP 2000 v.14

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



Gambar 4.1 Desain Struktur Atas Gedung SAP v.14

4.2.1 *Desain dan Pembebanan Struktur*

Berikut adalah data yang digunakan :

- Berat jenis beton bertulang = 24 kN/m³
- Tebal plat lantai dan atap = 12 cm
- Mutu beton = K-425
- Mutu baja tulangan = f_y 400 MPa

Berikut adalah beban mati yang digunakan mengacu PPIUG 1983

a. Beban mati plat lantai

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

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

b. Beban mati plat atap

+

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

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

Tabel 4.1 Beban Hidup Pusat Perbelanjaan

Merata (T/m ²)	Terpusat (T)
47,9	89,0
24,0	89,0
38,3	89,0

(sumber : SNI 1727-2020)

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

Tabel 4.2 Kategori Resiko

Kegunaan	Kategori Resiko
<p>Sema gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I, II, III, dan IV termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Perumahan ➤ Rumah toko dan rumah kantor ➤ Pasar ➤ Gedung Perkantoran ➤ Gedung apartemen dan Rumah susun ➤ Pusat perbelanjaan mall ➤ Bangunan Industri ➤ Fasilitas manufaktur ➤ Pabrik 	II

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 4.3 Faktor Keutamaan Gempa

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

(Sumber : SNI 1726:2019)

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

Nilai SDS	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$SDS < 0.167$	A	A
$0.167 \leq SDS \leq 0.33$	B	C
$0.33 \leq SDS \leq 0.50$	C	D
$0.50 \leq SDS$	D	D

(Sumber : SNI 1726 : 2019)

Tabel 4.5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai $SD1$

Nilai $SD1$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$SD1 < 0.067$	A	A
$0,067 \leq SD1 \leq 0.133$	B	C
$0,133 \leq SD1 \leq 0.20$	C	D
$0,20 \leq SD1$	D	D

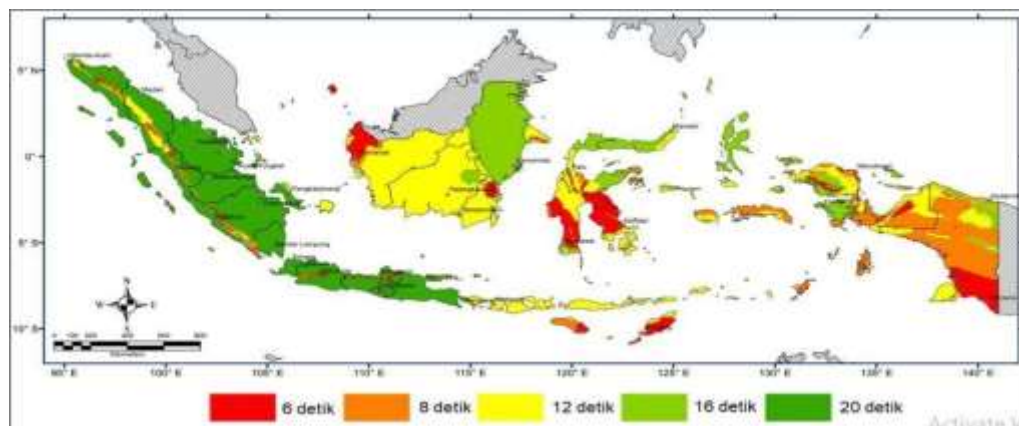
(Sumber : SNI 1726 : 2019)

Tabel 4.6 Faktor Reduksi Gempa

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

(Sumber : SNI 1726 : 2019)

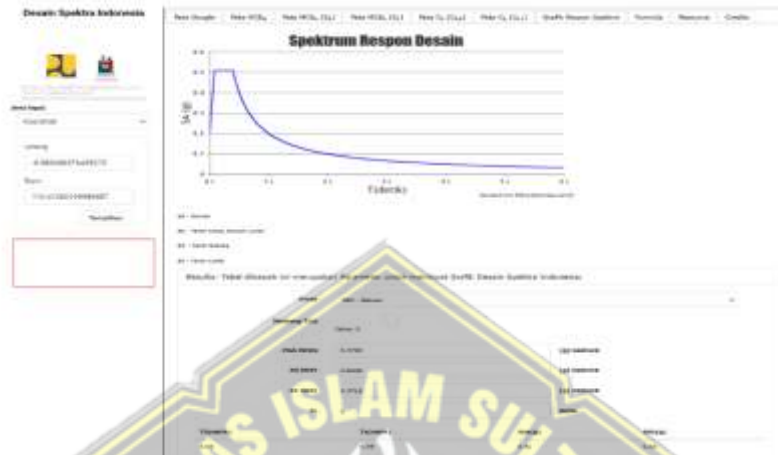
Untuk menentukan periode gempa dapat dilihat pada Gambar 4.2 dengan menggunakan peta periode pada SNI 1726:2019, karena perencanaan ada di Kudus jadi menggunakan periode sebesar 6 detik.



Gambar 4.2 Peta Periode Gempa (SNI 1726 : 2019)

Untuk zona wilayah gempa didapatkan dari website :

http://puskimm.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_i.indonesia, dan diperoleh pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Nilai Respon Spektrum

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

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

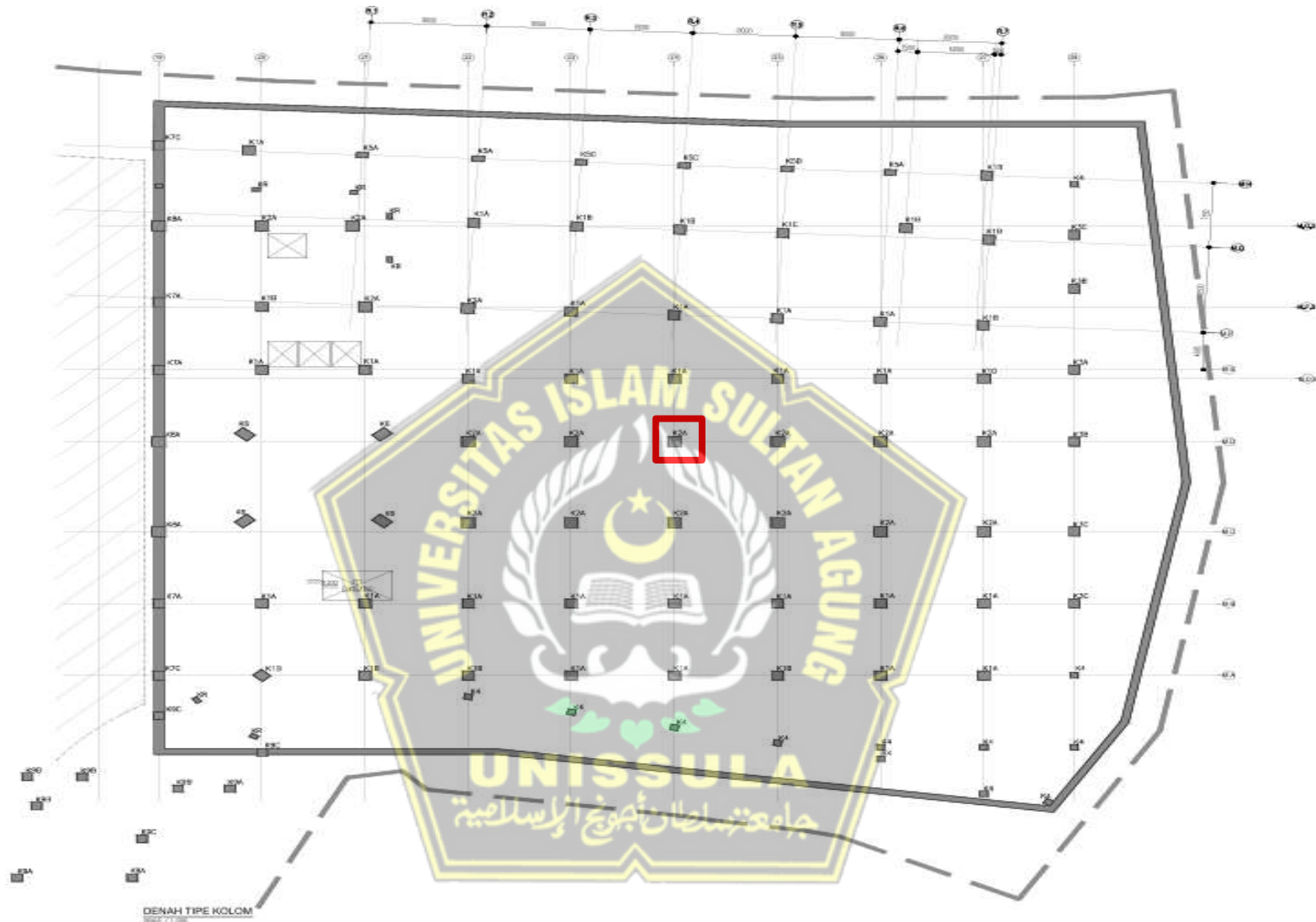
Joint Text	Output Case	Case Type Text	Step Type Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN.m	M2 KN.m	M3 KN.m
8141	COMB2	Combination		-0.968	-20.91	3125.136	36.4487	157.9399	-3.8653
8141	COMB3	Combination		2.205	-17.777	3125.136	36.4487	157.9399	-2.6724
8141	COMB4	Combination		2.184	-17.77	3162.261	36.4162	157.9399	-2.8568
8141	COMB5	Combination		0.138	-26.884	3063.365	54.21	202.1112	-3.4256
8141	COMB6	Combination		0.122	-26.879	3046.162	54.1856	201.5091	-3.4154
8141	COMB7	Combination		2.179	-17.768	3096.165	36.4077	157.7206	-2.8552
8141	COMB8	Combination		-2.179	-17.768	3096.165	36.4077	157.7206	-2.8552
8141	COMB9	Combination		-1208.72	-19.239	3938.254	53.9214	-6381.2403	31.1838
8141	COMB10	Combination		-1208.72	-19.239	3938.254	53.9214	-6381.2403	31.1838
8141	COMB11	Combination		0.138	-26.884	3063.365	54.21	202.1112	-3.4256
8141	COMB12	Combination		0.138	-26.884	3063.365	54.21	202.1112	-3.4256
8141	COMB13	Combination		0.122	-26.879	3046.162	54.1856	201.5091	-3.4154
8141	COMB14	Combination		0.122	-26.879	3046.162	54.1856	201.5091	-3.4154
8141	COMB15	Combination		2.179	-17.768	3096.165	36.4077	157.7206	-2.8552
8141	COMB16	Combination		2.179	-17.768	3096.165	36.4077	157.7206	-2.8552
8141	ENVELOPE	Combination	Max	2.205	-17.768	4090.124	60.1631	215.8914	31.1838

Tabel 4.7 Hasil *Output Joint Reaction*

Dari hasil *output joint reaction software Sap2000 V.14* tabel 4.7 dihasilkan

beban maksimum sebesar 409,124 ton.





Gambar 4.4 Titik Beban Maksimum pada Denah Fondasi

4.3 Analisa Daya Dukung Fondasi *Bored Pile*

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

1. Diameter (D) = 80 cm
2. Kedalaman (L) = 2200 cm = 22 m
3. Keliling (O) = $\pi \times d$
= 3,14 x 80
= 251,2 cm = 2,51 m
4. Luas selimut tiang (As) = $\pi \times d \times L$
= 3,14 x 80 x 2200
= 552640 cm² = 55,264 m²
5. Luas penampang tiang (Ap) = $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2$
= $\frac{1}{4} \times 3,14 \times 80^2$
= 5024 cm² = 0,5024 m²

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

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

Tabel 4.8 Nilai qc dan Lekatan

Kedalaman	qc (kg/cm ²)	Total friction (kg/cm ²)	Kedalaman	qc (kg/cm ²)	Total friction (kg/cm ²)	Kedalaman	qc (kg/cm ²)	Total friction (kg/cm ²)
0,0	0,0	0,0	7,4	3,0	54,67	14,8	16,0	174,67
0,2	0,0	0,0	7,6	6,0	57,33	15,0	14,0	181,33
0,4	0,0	0,0	7,8	7,0	61,33	15,2	12,0	189,33
0,6	0,0	0,0	8,0	6,0	65,33	15,4	15,0	200,00
0,8	0,0	0,0	8,2	5,0	68,00	15,6	16,0	210,67
1,0	0,0	0,0	8,4	10,0	72,00	15,8	15,0	224,00
1,2	0,0	0,0	8,6	8,0	74,67	16,0	17,0	236,00
1,4	0,0	0,0	8,8	5,0	78,67	16,2	20,0	249,33
1,6	2,0	1,33	9,0	2,0	80,00	16,4	15,0	266,67
1,8	2,0	2,67	9,2	2,0	82,67	16,6	14,0	273,33
2,0	3,0	5,33	9,4	2,0	85,33	16,8	19,0	276,00
2,2	2,0	8,00	9,6	3,0	86,67	17,0	15,0	286,67
2,4	2,0	10,67	9,8	2,0	88,00	17,2	17,0	304,00
2,6	3,0	12,00	10,0	3,0	89,33	17,4	22,0	320,00

2,8	5,0	13,33	10,2	3,0	92,00	17,6	20,0	333,33
3,0	4,0	14,67	10,4	4,0	94,67	17,8	21,0	348,00
3,2	3,0	16,00	10,6	7,0	97,33	18,0	20,0	368,00
3,4	2,0	18,67	10,8	8,0	100,00	18,2	20,0	388,00
3,6	3,0	21,33	11,0	4,0	102,67	18,4	22,0	405,33
3,8	4,0	22,67	11,2	2,0	104,00	18,6	14,0	413,33
4,0	2,0	24,00	11,4	3,0	106,67	18,8	12,0	422,67
4,2	2,0	25,33	11,6	5,0	108,00	19,0	20,0	438,67
4,4	2,0	26,67	11,8	2,0	109,33	19,2	25,0	461,33
4,6	2,0	28,00	12,0	2,0	110,67	19,4	30,0	477,33
4,8	2,0	29,33	12,2	2,0	113,33	19,6	35,0	490,67
5,0	2,0	30,67	12,4	3,0	116,00	19,8	50,0	517,33
5,2	2,0	32,00	12,6	3,0	118,67	20,0	40,0	537,33
5,4	3,0	33,33	12,8	3,0	121,33	20,2	35,0	553,33
5,6	3,0	34,67	13,0	4,0	125,33	20,4	50,0	566,67
5,8	2,0	37,33	13,2	8,0	129,33	20,6	55,0	753,33
6,0	2,0	38,67	13,4	10,0	133,33	20,8	70,0	606,67
6,2	2,0	41,33	13,6	10,0	138,67	21,2	60,0	640,00
6,4	3,0	44,00	13,8	12,0	144,00	21,4	70,0	673,33
6,6	2,0	45,33	14,0	10,0	148,00	21,6	120,0	713,33
6,8	2,0	48,00	14,2	12,0	154,67	21,8	190,0	753,33
7,0	5,0	49,33	14,4	9,0	160,00	22,0	200,0	806,67
7,2	7,0	52,00	14,6	15,0	168,00	22,2	250,0	873,33
Rata rata							17,8	190

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

Tabel 4.9 Nilai q_c Dasar Tiang

Kedalaman	q_c (kg/cm^2)	Total friction (kg/cm^2)
21,0	70,0	640,00
21,2	60,0	673,33
21,4	70,0	713,33
21,6	120,0	753,33
21,8	190,0	806,67
22,0	200,0	873,33
22,2	250,0	906,33
Rata rata q_c	137	5366,32

Maka nilai q_c rata-rata adalah :

$$q_{ca} \text{ (base)} = 137 \text{ kg/cm}^2$$

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

$$q_p = \frac{q_{ca} \text{ (base)}}{f_b} \text{ (Nilai } f_b \text{ dari tabel 2.6, tiang bor} = 2,5)$$

$$q_p = \frac{137}{3} = 54,86 \text{ kg/cm}^2$$

Kapasitas dukung ujung tiang (Q_p) :

$$\begin{aligned} Q_p &= q_p \times A_p \\ &= 54,86 \times 5024 \\ &= 275602,27 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 275,60 \text{ ton} \end{aligned}$$

- b. Perhitungan kapasitas dukung kulit (Q_s) pada tanah kohesif
Dari persamaan (2.5), kapasitas dukung kulit persatuan luas (f) pada kedalaman fondasi $L = 22$ m.

q_c (side) = Perlawanan konus rata-rata pada masing lapisan sepanjang tiang.
 q_c (side) = $17,8 \text{ kg/cm}$ (Data ini di ambil dari nilai rata q_c Tabel 4.8)

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

$$f = 17,8 \times \frac{0,03}{7} = 0,076 \text{ kg/cm}^2$$

Kapasitas dukung kulit (Q_s)

$$\begin{aligned} Q_s &= f \times A_s \\ &= 0,076 \times 552640 \\ &= 42103,555 \text{ kg} \\ &= 42.10 \text{ ton} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 275,60 + 42.10 \\ &= 317,71 \text{ ton} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_u}{SF} \\ &= \frac{317,71}{3} \\ &= 105,90 \text{ ton} \end{aligned}$$

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

4.3.2 Perhitungan Daya Dukung Fondasi *Bored Pile* Metode *Mayerhof* (1976)

Untuk menghitung daya dukung fondasi *bored pile* metode *Mayerhof* (1976) dengan kedalaman tanah 22 m, berdasarkan Persamaan (2.6) adalah sebagai berikut:

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

$$\begin{aligned} Q_p &= q_c \times A_p / 3 \\ &= 250 \times 5024 / 3 \\ &= 358857,14 \text{ kg} \\ &= 358,86 \text{ ton} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Q_s &= JHP \times Kt / 5 \\ &= 190 \times 251,2 / 5 \\ &= 9.539,454571 \text{ kg} \\ &= 9,54 \text{ ton} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Q_{ull} &= Q_p + Q_s \\ &= 358,86 + 9,54 \\ &= 368,40 \text{ ton} \end{aligned}$$

- d. Perhitungan daya dukung ijin (Q_{all})

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_{ull}}{sf} \\ &= \frac{368,40}{3} \\ &= 122,80 \text{ ton} \end{aligned}$$

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

4.3.3 Perhitungan Jarak Antar Fondasi *Bored Pile* dan Jarak As ke Tepi

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

$$\begin{aligned} 2,5D &\leq S \leq 3D \\ 2 \text{ m} &\leq S \leq 2,4 \text{ m} \end{aligned}$$

Jarak antar Fondasi yang didapat adalah 2,2 m.

4.3.4 Kebutuhan Jumlah Fondasi *Bored Pile*

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

$$\text{Beban (p)} = 409,124 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{p}{Q_{ijin}} \\ &= \frac{409,124}{122,80} \\ &= 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

4.3.5 Efisiensi Daya Dukung Tiang

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

Perhitungan efisiensi tiang dengan jumlah rencana 9 buah

$$\theta = \text{Arc tg} \cdot \frac{D}{S} = \text{Arc} \frac{0,8}{2,2} = 19,983$$

$$n = 2 ; m = 2$$

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90.m.n} \right] \cdot \theta \\ &= 1 - \left[\frac{(2-1).2 + (2-1).2}{90.2.2} \right] \cdot 19,983 \\ &= 0,74 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_g &= n \times q_{ijin} \times \eta \\ &= 458,56 \text{ ton} \end{aligned}$$

Didapatkan $P (409,124 \text{ ton}) \leq Q_g (458,56 \text{ ton})$, maka AMAN.

4.3.6 Perhitungan Daya Dukung Lateral *Fondasi Bored Pile*

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

Diketahui :

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

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

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

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

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

$$L = 22 \text{ m}$$

❖ Untuk mengecek kekakuan tiang fondasi *bored pile*, berdasarkan Persamaan

(2.21) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} E &= 4700 \times \sqrt{30} \\ &= 25742,96 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{64} \times \pi \times d^4 \\ &= \frac{1}{64} \times 3,14 \times 0,8^4 \\ &= 0,020096 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

- ❖ Faktor kekakuan R dan T

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

$$\begin{aligned} T &= \sqrt[5]{\frac{Ep \times lp}{\eta h}} \\ &= \sqrt[5]{\frac{25742,95 \times 0,020096}{150}} \end{aligned}$$

$$= 1,28 \text{ m}$$

$$4T = 4 \times T$$

$$= 4 \times 1,28$$

$$= 5,12 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan, L (22 m) $>$ $4T$ (5,12 m), sehingga tiang fondasi merupakan tiang fondasi panjang elastis.

- ❖ Cek keruntuhan tanah

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

$$\begin{aligned} M_{\max} &= D \times \gamma \times L^3 \times K_p \\ &= 0,8 \times 17,04 \times 22^3 \times 2,5 \\ &= 362883,84 \text{ kN} \\ &= 362,88 \text{ ton} \end{aligned}$$

- ❖ Menentukan Tahanan Tiang Momen :

$$W = \frac{Ip}{d/2} = \frac{0,020096}{0,8/2} = 0,05024 \text{ m}^2$$

- ❖ Menentukan Momen Maksimum Tiang

$$f_b = 0,4 \times F_c'$$

$$= 0,4 \times 30$$

$$= 12000 \text{ ton}$$

$$M_y = f_b \times W$$

$$= 12000 \times 0,05024$$

$$= 602,88 \text{ ton/m}$$

❖ Nilai H_u

$$Cu = 40$$

$$Hu = \frac{2 My}{(e+2,4 d+0,8 f)}$$

$$f = \frac{Hu}{9 \cdot Cu \cdot d} = \frac{Hu}{9 \times 40 \times 0,8} = \frac{Hu}{288}$$

$$Hu = \frac{2 \times 602,88}{(0 + 2,4 \cdot 0,8 + 0,8 \cdot \frac{Hu}{288})}$$

$$= \frac{1205,76}{(1,92 + 0,0028 Hu)}$$

$$= \frac{0,0028 Hu^2 + 1,92Hu - 1205,76}{0,0028}$$

$$= Hu^2 + 685,714 Hu - 430628,57 = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2a}$$

$$= \frac{-685,714 \pm \sqrt{685,714^2 - 4 \cdot 1 \cdot 430628,57}}{2}$$

$$= \frac{-685,714 \pm 1119,07}{2}$$

$$Hu_1 = \frac{-685,714 + 1119,07}{2}$$

$$= 216,678 \text{ ton (Nilai } Hu \text{ yang digunakan)}$$

4.3.7 Penurunan Tiang Tunggal

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

$$\text{Beban yang diterima ujung tiang (Qwp)} = 358,86 \text{ ton}$$

$$\text{Beban yang diterima selimut tiang (Qws)} = 9,54 \text{ ton}$$

$$\text{Modulus elastisitas tiang (Ep)} = 25742960 \text{ ton}$$

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

$$Ap = 0,502 \text{ m}^2$$

$$\text{Tahanan ujung batas tiang (qp)} = \frac{Qp}{Ap}$$

$$= \frac{358,86}{0,502} = 714,3 \text{ ton}$$

$$\text{Koefisien empiris (Cp)} = 0,05$$

$$\text{Diameter tiang (D)} = 0,8 \text{ m}$$

$$\text{Panjang tiang (L)} = 22 \text{ m}$$

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

$$\begin{aligned}
 S1 &= \frac{(Q_{wp} + \varepsilon \times Q_{ws}) \times L}{E_b \times E_p} \\
 &= \frac{(358,86 + 0,5 \times 9,54) \times 22}{0,502 \times 25742960} \\
 &= 0,001 \text{ m}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 S2 &= \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p} \\
 &= \frac{(358,86 \times 0,05)}{0,8 \times 391,8} \\
 &= 0,019 \text{ m}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 I_{ws} &= 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} \\
 &= 2 + 0,35 \sqrt{\frac{22}{0,8}} \\
 &= 3,835 \text{ m} \\
 S3 &= \frac{Q_{wp}}{P \cdot L} \times \frac{D}{E_s} \times (1 - \mu_s^2) \times I_{ws} \\
 &= \frac{358,86}{2 \cdot 22} \times \frac{0,8}{50000} \times (1 - 0,05^2) \times 3,835 \\
 &= 0,0005 \text{ m}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 St &= S1 + S2 + S3 \\
 &= 0,000 + 0,019 + 0,0005 \\
 &= 0,02 \text{ m} \\
 &= 2 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Penurunan yang diizinkan adalah, $S_{izin} = 10 \% \times 80 = 8 \text{ cm}$.

Maka penurunan total tiang total tunggal **AMAN**, karena $2 \text{ cm} < 8 \text{ cm}$.

4.3.8 Penurunan Kelompok Tiang

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

$$S_g = S_e \sqrt{\frac{B_g}{D}}$$

Keterangan :

S_g = Penurunan pondasi pada kelompok tiang (m)

B_g = Lebar kelompok tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

$$\begin{aligned} S_g &= 0,02 \sqrt{\frac{3,8}{0,8}} \\ &= 0,04627 \text{ m} \\ &= 4,63 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh penurunan fondasi *bored pile* sebesar 4,63 cm.

4.3.9 Waktu Penurunan Tanah Fondasi *Bored Pile*

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

Faktor waktu (T_v) = 0,815

Derajat konsolidasi (C_v) = 0,0045

$$\begin{aligned} T &= \frac{T_v \times H^2}{C_v} \\ &= \frac{0,815 \times 22^2}{0,0045} \\ &= 87657 \text{ jam} = 10 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Jadi, waktu penurunan fondasi *bored pile* adalah selama 10 tahun.

4.4 Penurunan Fondasi Menggunakan *Software PLAXIS v20*

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

Tabel 4.10 Parameter Tanah

Dept(m)	Konsistensi	Deskripsi	E (MPa)	C(kPa)	(Phi)	ν	Y(kN/m3)	Ysat(kN/m3)
0-2,5	Lunak	Clay	1	1	17,5	0,4	14	14
2,5-5	Sedang	Clay	2	10	17,5	0,35	17	17
5-10.	Sedang	Sand	75	1	32,5	0,3	18	20
10-15.	Sedang	Clay	2	10	17,5	0,35	17	17
15-17,5	Kaku	Clay	10	30	25	0,3	20	20
17,5-20	Sedang	Sand	75	1	32,5	0,3	18	20
20-22,5	Keras	Sand	150	1	40	0,35	20	22

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

$$E = 4700 \sqrt{f_c} = 4700 \sqrt{30} = 23452952,91 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$L = \frac{1}{2} \times m \times d^4 = \frac{1}{2} \cdot 2400 \cdot 0,8^4 = 77 \text{ m}^4$$

$$A = 0,502 \text{ m}^2$$

$$EA = 23452952,91 \times 0,502 = 4596778,77 \text{ kN/m}^2$$

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

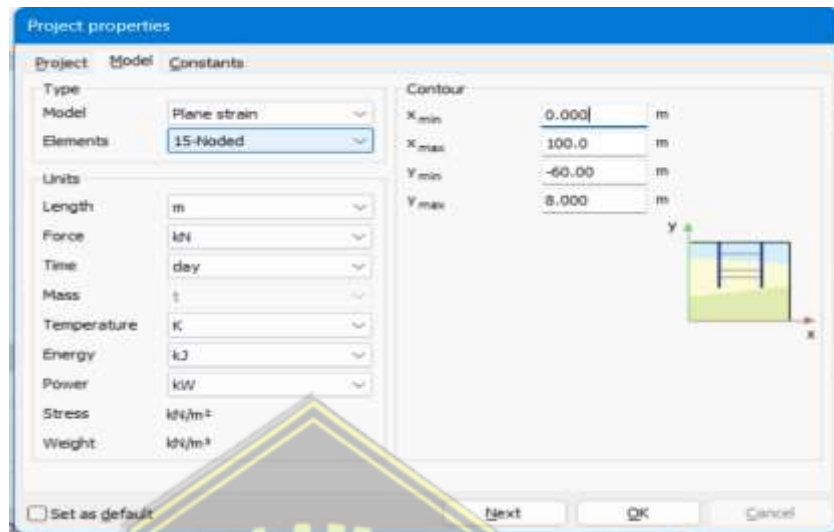
❖ Berikut langkah-langkah untuk perhitungan fondasi tiang tunggal menggunakan *software* PLAXIS v.20. :

1. Untuk tahap pertama input data menggunakan *software* PLAXIS v.20. dengan menentukan judul, dapat dilihat pada gambar 4.5.





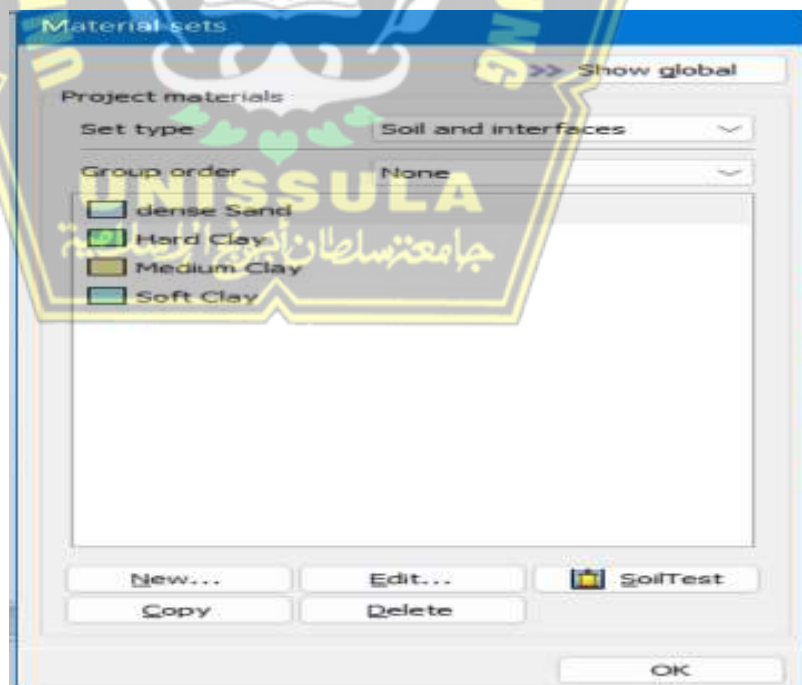
Gambar 4.5 Pengaturan *Global-Project*

2. Kemudian input satuan dan data dimensi sesuai dengan fondasi yang direncanakan, dapat dilihat pada gambar 4.6.



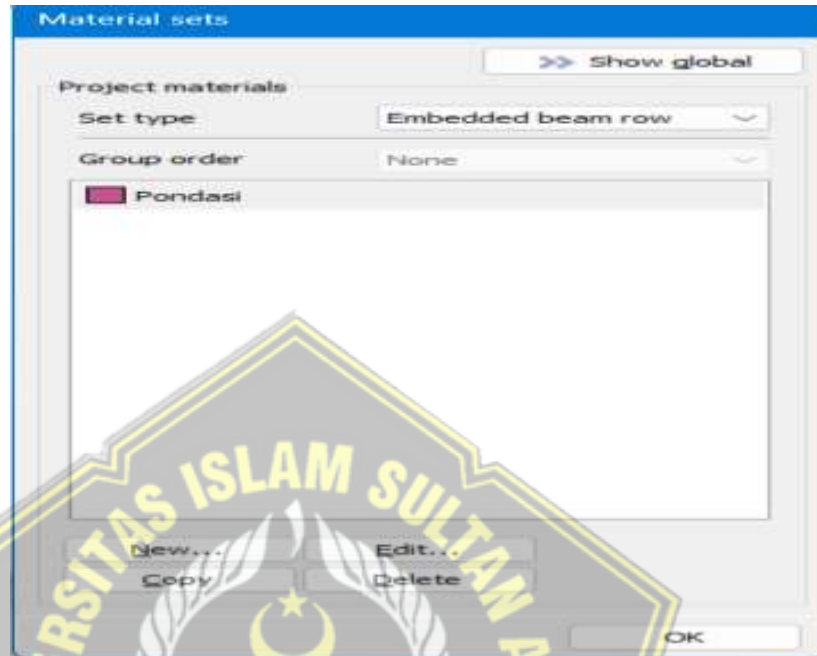
Gambar 4.6 Pengaturan *Global-Project*

3. Lalu klik   untuk menginput material tanah sesuai data yang digunakan, dilihat pada gambar 4.7.




Gambar 4.7 Data Umum Material Sets

- Setelah input data material tanah, selanjutnya input data material fondasi sesuai dengan data perhitungan manual yang digunakan pada halaman 50, sesuai gambar 4.8.



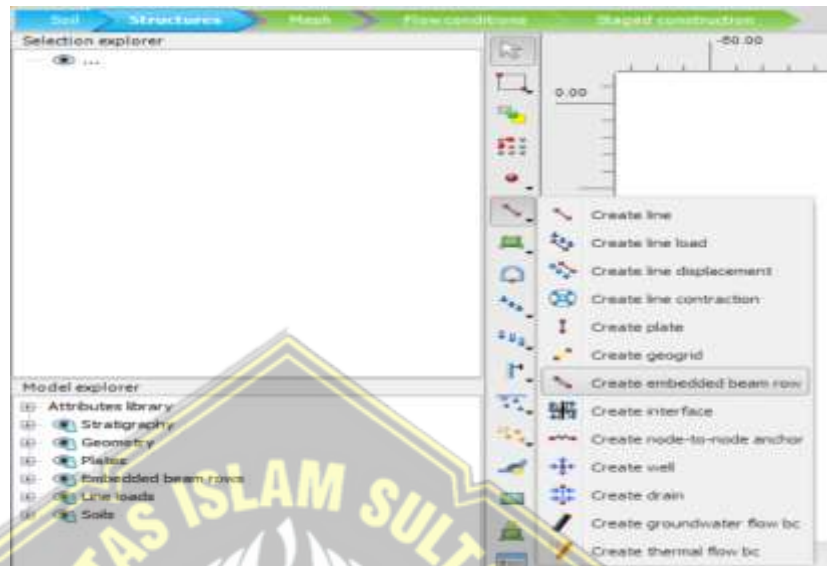
Gambar 4.8 Data Material Fondasi

- Selanjutnya, klik  untuk mengatur pemodelan kontur sesuai kedalaman, dapat dilihat pada gambar 4.9.




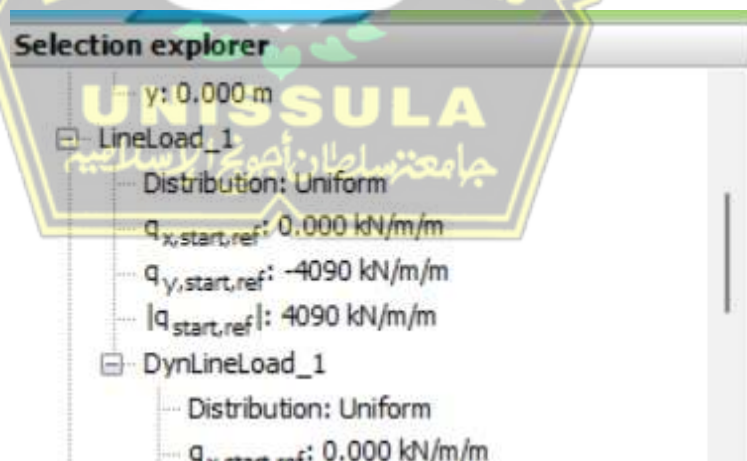
Gambar 4.9 Permodelan Kontur Tanah

6. Setelah itu buat pemodelan pondasi dengan menggunakan tanda *create embedded beam row* yang sudah ada pada gambar 4.10



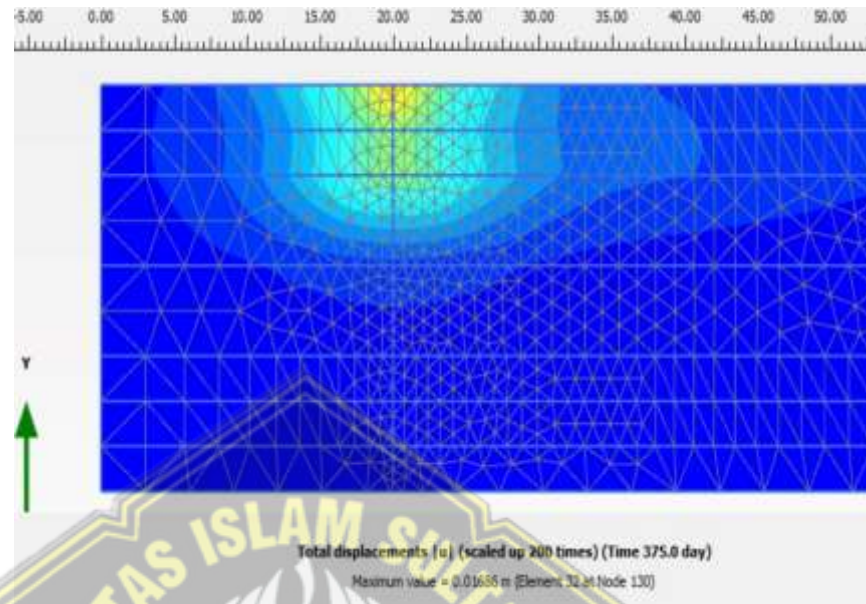
Gambar 4.10 Pemodelan Fondasi Tunggal

7. Selanjutnya klik  untuk menginput beban yang akan digunakan sebesar 4090 kN/m^2 , sesuai gambar 4.11.



Gambar 4.11 Input Pembebanan

8. Dari pemodelan *software* PLAXIS V.20 menghasilkan penurunan sebesar 0,01686 m atau 1,7 cm sesuai Gambar 4.12.

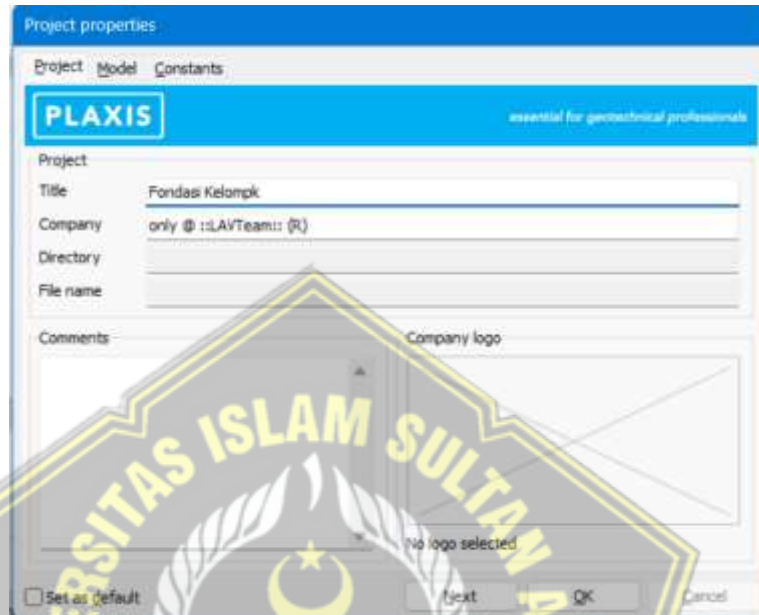


Gambar 4.12 Deformasi Total yang Terjadi 0,017 m

Hasil output menunjukkan tanah yang diberi *bor pile* dengan beban 409,124 ton menghasilkan penurunan 1,7 cm, dan dapat dilihat dari output gambar berwarna hijau adalah hasil penurunan fondasi *bore pile* yang aman.

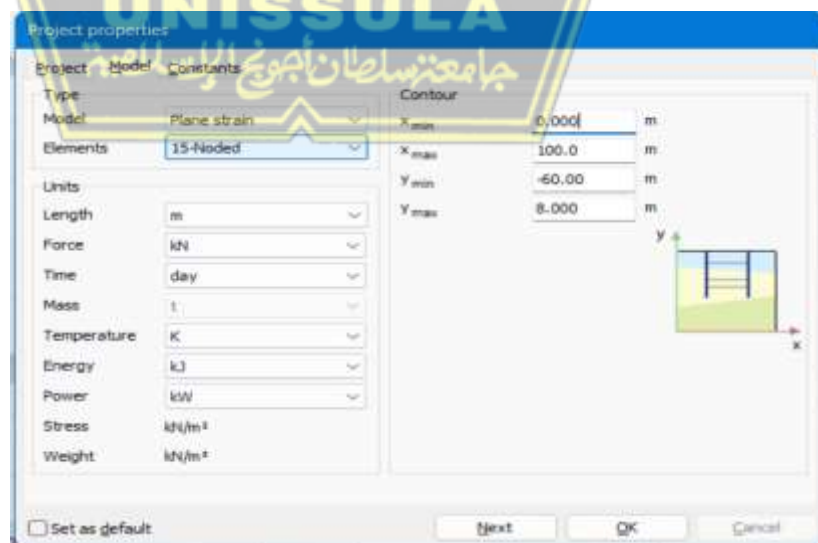
❖ Berikut langkah-langkah perhitungan penurunan fondasi kelompok tiang menggunakan *software* PLAXIS v.20.

1. Tahapan pertama input data menggunakan *software* PLAXIS v.20 dengan menentukan judul dan satuan, sesuai gambar 4.13.




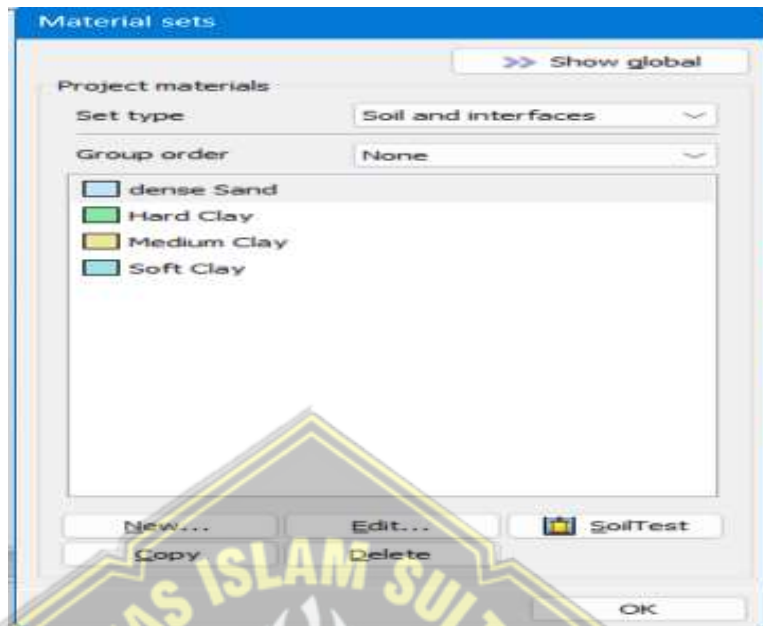
Gambar 4.13 Pengaturan *Global-Project*

2. Lalu input data dimensi sesuai dengan fondasi rencana, sesuai gambar4.14.



Gambar 4.14 Pengaturan *Global-Project*

3. Lalu klik  untuk menginput material tanah sesuai data yang digunakan, dilihat pada gambar 4.15.

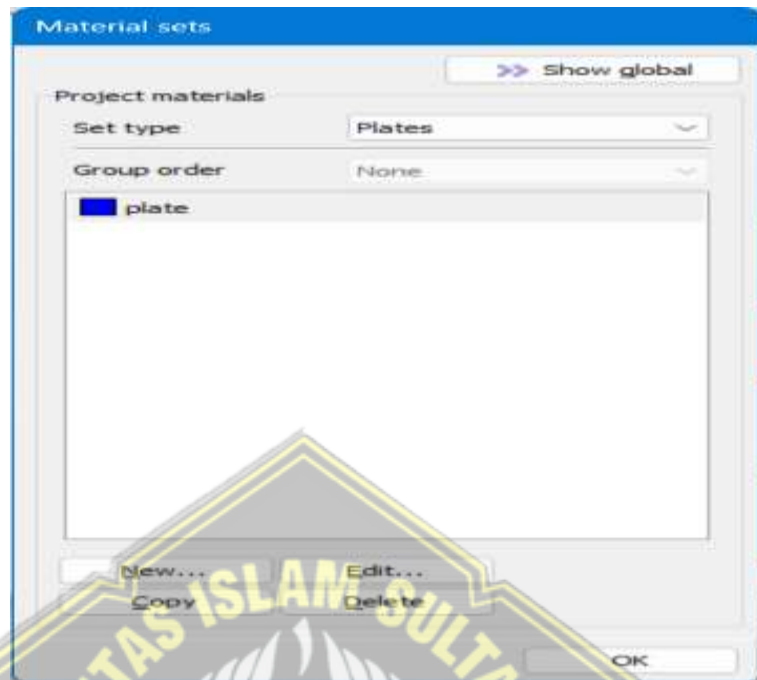


Gambar 4.15 Data Umum Material


4. Setelah input data material tanah, tahap selanjutnya input data material fondasi dan plate sesuai dengan yang direncanakan, sesuai gambar 4.16 hingga 4.17



Gambar 4.16 Material Fondasi



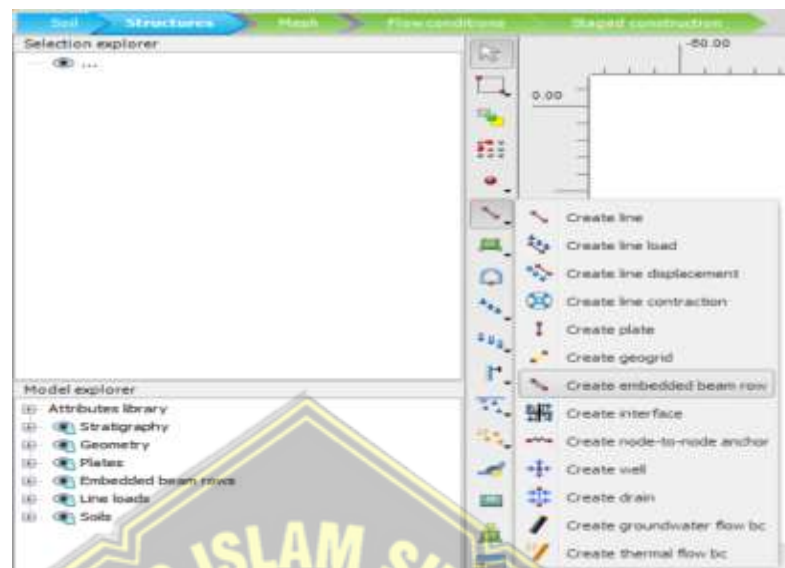
Gambar 4.17 Data Material Plate

5. Kemudian pada tahap selanjutnya klik  untuk mengatur pemodelan kontur tanah, sesuai gambar 4.18.



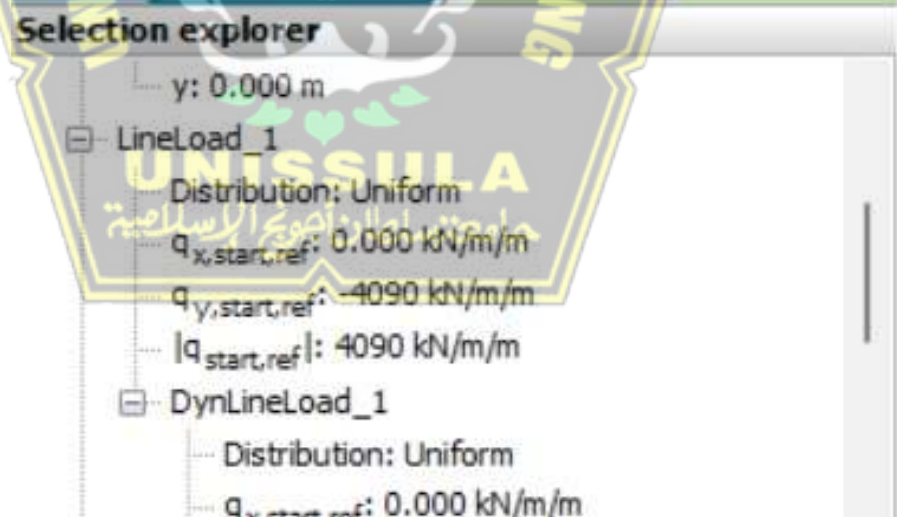
Gambar 4.18 Pemodelan Kontur Tanah

- Setelah itu buat pemodelan pondasi dan plate dengan menggunakan tanda yang sudah ada pada gambar 4.19



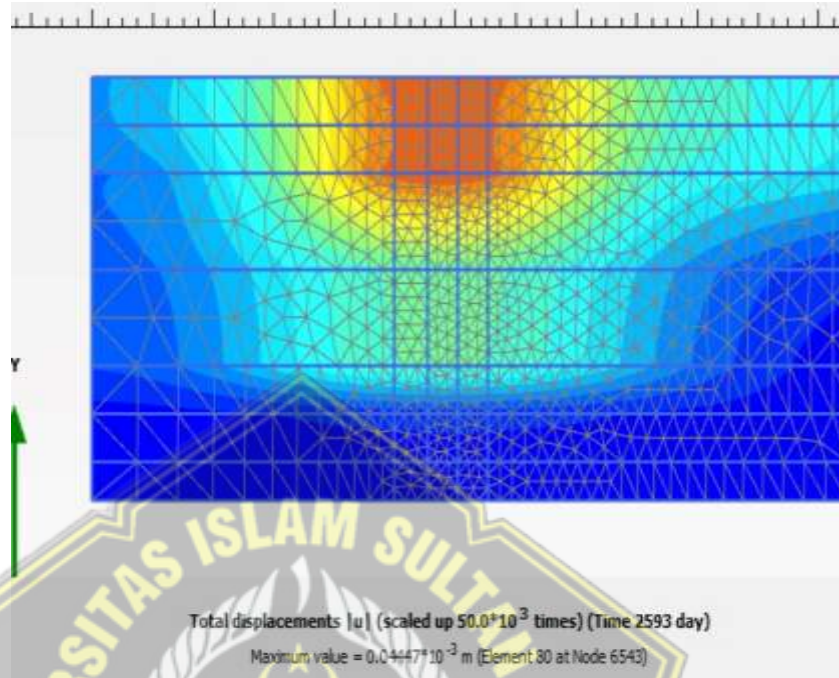
Gambar 4.19 Pemodelan Fondasi Kelompok

- Setelah itu klik untuk menginput beban yang digunakan sebesar 4090 kN/m^2 , sesuai gambar 4.20.



Gambar 4.20 Point Load

8. Dari pemodelan *software* PLAXIS V 20. menghasilkan penurunan sebesar 0,045 m atau 4,5 cm sesuai gambar 4.21.



Gambar 4.21 Deformasi Total yang Terjadi 0,045 m

Hasil output pada Gambar 4.21 menunjukkan bahwa pada tiang kelompok yang diberi beban 409,124 ton menghasilkan penurunan 4,5 cm, dan dapat dilihat pada output, area yang berwarna merah adalah potensi terjadinya penurunan pada tanah..

4.5 Pembahasan

4.5.1 Perhitungan Daya Dukung Fondasi

Hasil dari perhitungan daya dukung fondasi tunggal menggunakan metode *Aoki DeAlencar* dan metode *Mayerhoft* seperti yang terlihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Perbandingan Perhitungan Daya Dukung Fondasi Tunggal

No.	Fondasi	<i>Aoki De Alencar</i> (ton)	<i>Mayerhoft</i> (ton)
1.	<i>Bored Pile</i>	105,90	122,80

Dari Tabel 4.11 diperoleh daya dukung fondasi tunggal *bored pile* dengan metode *Mayerhof* lebih besar dibandingkan daya dukung fondasi tunggal dengan metode *Aoki de Alencar*.

Hasil dari perhitungan daya dukung fondasi kelompok (4 tiang) menggunakan metode *Mayerhof* dan metode *Broms* seperti yang terlihat pada Tabel 4.12 dan 4.13.

Tabel 4.12 Perhitungan Daya Dukung Aksial Fondasi Kelompok

Daya Dukung Kelompok	Metode	Fondasi Bored Pile
Aksial (4 Tiang)	Mayerhoff	458,56 ton

Tabel 4.13 Perhitungan Daya Dukung Lateral Fondasi Kelompok

Daya Dukung Kelompok	Metode	Fondasi Bored Pile
Lateral (4 Tiang)	Broms	216,68 ton

4.5.2 Perhitungan Penurunan

Berikut adalah perbandingan perhitungan penurunan fondasi *bored pile* dan Plaxis V20. seperti yang terlihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Perbandingan Perhitungan Penurunan Fondasi

No.	Perhitungan	Tunggal (cm)	Kelompok (cm)
1.	Metode <i>Vesic</i>	2	4,63
2.	Plaxis V20	1,7	4,5

Dari Tabel 4.13 terlihat bahwa penurunan fondasi tiang tunggal *bored piled* dengan perhitungan manual lebih besar dari pada perhitungan menggunakan *Software* Plaxis V20. Sedangkan penurunan fondasi tiang kelompok *bored piled* lebih besar dengan perhitungan menggunakan *Software* Plaxis V20.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Hasil perhitungan pembebanan jembatan menggunakan *software* SAP2000 V.14, didapatkan hasil beban maksimal yang terjadi sebesar 4090,124 kN.
2. Perencanaan tiang *bored pile* dengan diameter 80 cm kedalaman fondasi 22 m. Hasil perhitungan daya dukung fondasi secara manual untuk fondasi tiang *bored pile* dengan metode *Aoki De Alencar* mendapatkan hasil sebesar 105,90 ton sedangkan menggunakan metode *Mayerhoff* mendapatkan hasil sebesar 122,80 ton.
3. Perhitungan daya dukung Aksial tiang kelompok *bored pile* metode *Mayerhoff* sebesar 458,56 ton berjumlah 4 tiang, sedangkan perhitungan daya dukung lateral metode *broms* 216,68 ton berjumlah 4 tiang.
4. Hasil perhitungan penurunan yang terjadi pada fondasi *bored pile* tunggal sebesar 2 cm, sedangkan untuk penurunan fondasi *bored pile* kelompok sebesar 4,63 cm. Hasil dari perhitungan penurunan menggunakan *software* PLAXIS v.20 didapat nilai penurunan fondasi tunggal sebesar 1,7 cm, sedangkan penurunan fondasi kelompok sebesar 4,5 cm. Dengan waktu penurunan yang akan terjadi selama 10 tahun.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian berikutnya analisa fondasi bisa memvariasikan konfigurasi (susunan tiang) pada kelompok tiang.
2. Untuk menganalisa fondasi grup tiang bisa divariasi dengan metode lainnya.
3. Untuk penelitian berikutnya bisa menganalisis dengan PDA test dan N-SPT
4. Untuk validasi dan penurunan fondasi bisa menggunakan *software* *Allpile*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bogeman, M. L. (1965). *Teknologi Mekanika*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J. E. (1998). *Analisa dan Desain Fondasi : Edisi Keempat Jilid II*, Erlangga, Jakarta.
- Bowless, J. E. (1997). *Analisis Dan Desain Fondasi Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Candra, A. I., Yusuf, A., & F, A. R. (2018). Studi Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pada Pembangunan Gedung LP3M. 3(2), 166– 171.
- Damais, Adji, dan Muzayid Anwar, 2016, Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi *Bore Pile* Menggunakan Metode *Meyerhof*, *Janbu's* dan Program *Plaxis 8.2*, Tugas Akhir Teknik Sipil, Semarang: UNISSULA.
- Fadliansyah. 2011. *Analisis Daya Dukung Pondasi Bore Pile Pada Proyek Pembangunan Hotel Santika Jalan Pengadilan Medan*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Fauzi, M. A. & Prasetyo, B. R. 2021. *Analisa Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Bored Pile Pada Tanah Lunak Tambak Lorok*. Universitas Islam Sultan Agung. Semarang.
- Jusi, U. 2015, *Analisa Kuat Dukung Pondasi Bored Pile Berdasarkan Data Pengujiann Lapangan (Cone dan N-Standard Penetration Test)*. Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru. Vol.1. No.2)
- Long, S., Iskandar, A., & Leman, S. (2019). Analisa Daya Dukung Tiang Bor Aksial, Lateral, dan Penurunan pada Tanah *Clay Shale* di Sentul, Bogor. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(3), 125–134.
- Qolbi, Rafli, 2022, Analisis Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang dan Bored Pile Pembangunan Jembatan Pelangi Sungai Bringin, Tugas Akhir Teknik Sipil, Semarang: UNISSULA
- Rahman, A. (2021). *Jurnal Teknik Sipil Siklus*, Vol. 1, No. 3 Analisis Daya Dukung Pondasi Bore Pile, 1-17.

Sudarsono,S., dan Nakazawa,K., 1983, Mekanika Tanah Dan Teknik Pondasi, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta.

Yuliawan, E. (2018). Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Berdasarkan Pengujian Spt Dan Cyclic Load Test. Jurnal Konstruksia, 9(2).

