

TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN FONDASI TIANG PANCANG PADA
PROYEK GEDUNG MPP (MALL PELAYANAN PUBLIK)
KAB. GROBOGAN JAWA TENGAH**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan Pendidikan
Program Sarjana (S1) Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil
Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

Lukman Mustika Atmaja

NIM : 3.02.016.04432

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

2021



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)

FAKULTAS TEKNIK

Jalan Raya Kaligawe KM.4 Po. BOX 1054 Telp. (024) 6583584 Ext. 507 Semarang 50112

LEMBAR PENGESAHAN

**PERENCANAAN FONDASI TIANG PANCANG PADA PROYEK
GEDUNG MPP (MALL PELAYANAN PUBLIK) KAB.**

GROBOGAN

Oleh :



Lukman Mustika Atmaja

NIM : 3.02.016.04432

Telah disetujui dan sahkan di Semarang, Juli 2021

Tim Penguji

1. Dr. Abdul Rochim, ST, MT
2. Dra. Nafi'ah, M.Si
3. Lisa Fitriana, ST, M.Eng ✓

Tanda Tangan

Universitas Islam Sultan Agung

Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Ketua,



Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng



**YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)**

FAKULTAS TEKNIK

Jalan Raya Kaligawe KM.4 Po. BOX 1054 Telp. (024) 6583584 Ext. 507 Semarang 50112

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 39/A.2/SA-T/III/2021

Pada hari ini tanggal 29 Maret 2021 berdasarkan surat keputusan rektor Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang perihal penunjukan dosen pembimbing dan asisten dosen pembimbing :

1. Nama : Dr. Abdul Rochim, ST, MT
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing I
2. Nama : Dra. Nafi'ah, M.Si
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing II

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

Nama : Lukman Mustika Atmaja

NIM : 3.02.016.04432

Judul : Perencanaan Fondasi Tiang Pancang pada Proyek Gedung MPP
(Mall Pelayanan Publik) Kab. Grobogan

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1.	Penunjukan dosen pembimbing	29 - 03 - 2021	
2.	Proposal	04 - 04 - 2021	ACC
3.	Pengumpulan data	07 - 04 - 2021	
4.	Analisis data	22 - 04 - 2021	
5.	Penyusunan laporan	01 - 05 - 2021	
6.	Selesai laporan	05 - 08 - 2021	ACC

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

Pembimbing I

Dr. Abdul Rochim, ST, MT

Pembimbing II

Dra. Nafi'ah, M.Si

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

PERSYARATAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Lukman Mustika Atmaja

Nim : 30201604432

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : **“PERENCANAAN FONDASI TIANG PANCANG PADA PROYEK GEDUNG MPP (MALL PELAYANAN PUBLIK) KAB. GROBOGAN”** benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Dengan surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda – tangan di bawah ini :

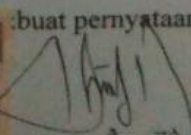
NAMA : Lukman Mustika Atmaja
NIM : 30201604432
JUDUL : PERENCANAAN PONDASI TIANG PANCANG PADA
PROYEK MPP (MALL PELAYANAN PUBLIK) KAB.
GROBOGAN JAWA TENGAH

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.

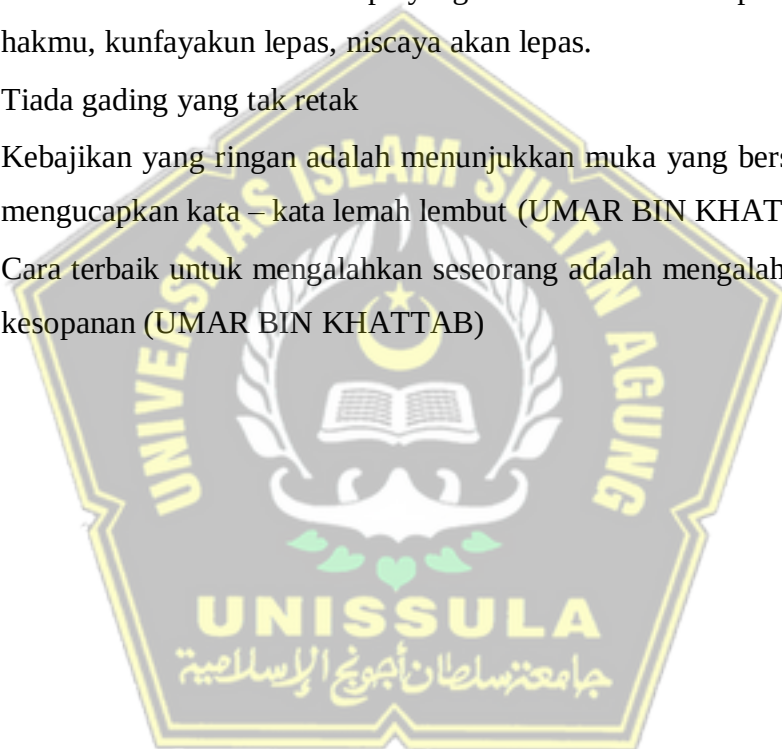
Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, 2021

:buat pernyataan

10000
METERAI
TEMPEL
BA659AJX347154177
Lukman Mustika Atmaja

MOTTO

- Lakukan apa yang seharusnya menjadi tanggung jawabmu sekarang, entah itu hasil atau tidak tapi hal tersebut akan membuat hati menjadi lebih lega.
- Sabar adalah jamuan menyehatkan untuk hidup kita.
- Tidak usah terlalu mengejar apa yang bukan menjadi hak mu, walaupun toh itu di takdirkan untukmu dengan tanpa keraguan ia akan datang kepadamu tanpa arah yang tidak diduga – duga.
- Jangan bersedih sesungguhnya Tuhan selalu bersamamu.
- Ketika Tuhan berkehendak apa yang kelihatan sudah didepan mata menjadi hakmu, kunfayakun lepas, niscaya akan lepas.
- Tiada gading yang tak retak
- Kebajikan yang ringan adalah menunjukkan muka yang berseri – seri dan mengucapkan kata – kata lemah lembut (UMAR BIN KHATTAB)
- Cara terbaik untuk mengalahkan seseorang adalah mengalahkannya dengan kesopanan (UMAR BIN KHATTAB)



PERSEMBAHAN

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

1. Orang tua tersayang Bapak **Sanuri** dan Ibu **Srinanik**, atas semua cinta, pengertian, kasih sayang, kesabaran, dan do'a.
2. Keluarga yang harmonis dengan segala dukungan yang telah diberikan kepada penulis.
3. Teman – teman Teknik sipil B atas dukungan, bantuan dan support.
4. Teman – teman Angkatan 2016 yang telah menemani dan memberikan semangat.
5. Teman – teman Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil dan seluruh Mahasiswa Teknik UNISSULA.



Lukman Mustika Atmaja

30201604432

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul **“Perencanaan Fondasi Tiang Pancang pada Proyek Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik) Kab. Grobogan”** ini dapat terselesaikan dengan baik. Penyelesaian laporan ini dimaksudkan untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 (S1) di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

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

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang
3. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, yang memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran, dan dorongan semangat.
4. Ibu Dra. Nafiah, M.Si, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, yang memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran, dan dorongan semangat.
5. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

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

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Semarang, 2021
Lukman Mustika Atmaja
NIM : 3.02.016.04432

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERSYARATAN BEBAS PLAGIAT.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO.....	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tanah sebagai Pendukung Fondasi.....	6
2.2 Parameter tanah	6
2.3 Penyelidikan Tanah (<i>Soil Investigation</i>).....	8
2.3.1 Pekerjaan sondir	9
2.3.2 Pekerjaan bor mesin	11
2.3.3 Pengujian <i>standard penetration test</i> (SPT).....	13
2.4 Fondasi.....	15
2.5 Klasifikasi Fondasi	16

2.5.1	Fondasi dangkal	16
2.5.2	Fondasi sedang	17
2.5.3	Fondasi dalam	18
2.6	Fondasi Tiang Pancang (<i>Driven Pile</i>).....	20
2.6.1	Jenis – jenis fondasi tiang pancang	20
2.6.2	Fondasi tiang pancang menurut pemasangannya.....	23
2.6.3	Alat tiang pancang.....	25
2.6.4	Metode pelaksanaan fondasi tiang pancang.....	26
2.6.5	Penggunaan fondasi tiang pancang beton.....	32
2.7	Kapasitas Daya Dukung Aksial Tanah Fondasi	33
2.7.1	Daya dukung tanah fondasi dari hasil sondir	33
2.7.2	Metode Reese & Wright 1977	36
2.7.3	Metode Meyerhof.....	39
2.7.4	Metode US army corps	40
2.7.5	Daya dukung berdasarkan kekuatan bahan.....	43
2.7.6	Metode Meyerhof.....	43
2.8	Kapasitas Daya Dukung Lateral Tanah Fondasi	44
2.8.1	Metode Broms.....	44
2.9	Menentukan Jumlah Fondasi Tiang Pancang dan Jarak Tiang	45
2.9.1	Jumlah Fondasi tiang pancang (<i>driven pile</i>).....	45
2.9.2	Menentukan jarak tiang	46
2.10	Kapasitas Kelompok Tiang dan Efisiensi Fondasi Tiang Pancang	46
2.11	Penurunan Fondasi Tiang Pancang.....	47
2.11.1	Penurunan fondasi tiang tunggal.....	47
2.11.2	Penurunan fondasi kelompok tiang	48
2.12	Analisa Pembebanan Menggunakan SAP2000.....	49
2.13	Analisa Menggunakan Program <i>Bentley Geostuctural Analysis</i>	50
2.14	Analisa Menggunakan Program <i>Allpile</i>	50
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		53
3.1	Pendahuluan	53
3.2	Pengumpulan Data.....	53

3.2.1	Data primer	53
3.2.2	Data sekunder.....	54
3.3	Analisa Pembebanan Menggunakan <i>SAP2000</i>	55
3.4	Analisa Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang Menggunakan <i>Bentley Geostuctutal Analysis</i>	70
3.5	Analisa Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang Menggunakan <i>Allpile</i>	75
3.6	Cara Pengolahan atau Analisa Data.....	79
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		81
4.1	Tinjauan Umum.....	81
4.2	Permodelan Struktur Atas dengan Program <i>SAP2000</i>	83
4.2.1	Data bangunan.....	83
4.2.2	Analisis pembebanan struktur.....	83
4.3	Daya Dukung Aksial Tanah Fondasi Satu Tiang (<i>Single Pile</i>).....	90
4.3.1	Daya dukung tanah fondasi berdasarkan hasil sondir	91
4.3.2	Daya dukung aksial tanah fondasi metode <i>Reese & Wright</i> ...	91
4.3.3	Daya dukung aksial tanah fondasi metode <i>Maryerhof</i>	95
4.3.4	Daya dukung aksial tanah fondasi metode <i>U.S army corps</i> ...	99
4.3.5	Daya dukung aksial tanah fondasi berdasarkan kekuatan bahan	102
4.3.6	Hasil perhitungan	102
4.4	Daya Dukung Lateral Fondasi Satu Tiang (<i>Single Pile</i>).....	103
4.4.1	Daya dukung lateral ultimit menurut metode <i>Broms</i>	103
4.4.2	Daya dukung lateral ijin menurut metode <i>Broms</i>	104
4.4.3	Daya dukung lateral ultimit menurut metode <i>Mayerhof</i>	104
4.4.4	Daya dukung lateral ijin menurut metode <i>Mayerhof</i>	104
4.5	Daya Dukung Fondasi Kelompok Tiang (<i>Group Pile</i>).....	104
4.5.1	Menentukan jumlah <i>pile</i>	105
4.5.2	Menentukan jarak tiang	106
4.5.3	Perhitungan daya dukung kelompok tiang.....	106
4.6	Penurunan Fondasi Tiang Pancang Menggunakan Metode <i>Vesic</i>	111
4.6.1	Perhitungan penurunan fondasi tiang pancang tunggal (<i>single</i>	

	<i>pile</i>).....	111
4.6.2	Perhitungan penurunan kelompok tiang fondasi tiang pancang (<i>group pile</i>)	113
4.7	Hasil Perhitungan Menggunakan Aplikasi.....	114
4.7.1	Hasil <i>output bentley geostructural analysis</i> tiang tunggal (<i>single pile</i>).....	114
4.7.2	Hasil <i>output bentley geostructural analysis</i> kelompok tiang (<i>group pile</i>)	116
4.7.3	Hasil <i>output allpile</i>	118
4.8	Perbandingan Hasil Perhitungan Manual dengan Aplikasi	119
4.8.1	Perbandingan hasil perhitungan daya dukung aksial dengan cara manual dan aplikasi	119
4.8.2	Perbandingan hasil perhitungan penurunan fondasi dengan cara manual dan aplikasi	120
BAB V	PENUTUP	122
5.1	Kesimpulan	122
5.2	Saran	123
DAFTAR	PUSTAKA	124
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson <i>Ratio</i>	7
Tabel 2.2 Nilai Perkiraan Modulus Young.....	8
Tabel 2.3 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dan Jenis Tanah	8
Tabel 2.4 Faktor Empirik F_b dan F_s	34
Tabel 2.5 Nilai Faktor Empirik untuk Tipe Tanah yang Berbeda	35
Tabel 2.6 Nilai K_d	42
Tabel 2.7 Nilai Sudut Gesek Efektif	42
Tabel 2.8 Nilai Koefisien C_p	48
Tabel 2.9 Interval Nilai Modulus Elastisitas untuk Berbagai Tanah.....	48
Tabel 4.1 Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan fondasi Tiang Pancang.....	81
Tabel 4.2 Faktor Keutamaan Struktur	86
Tabel 4.3 Faktor Reduksi Gempa	87
Tabel 4.4 Beban Struktur Atas.....	89
Tabel 4.5 Perhitungan Daya Dukung Aksial Metode <i>Reese & Wright</i>	94
Tabel 4.6 Perhitungan Daya Dukung Aksial Metode <i>Meyerhof</i>	98
Tabel 4.7 Perhitungan $K_d \tan \delta$ (metode US army)	99
Tabel 4.8 Perhitungan Daya Dukung Aksial Metode <i>U.S Army Corps</i>	101
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan dan Perbandingan Daya Dukung Aksial Tanah Fondasi	102
Tabel 4.10 Perhitungan Jumlah Tiang	105
Tabel 4.11 Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang Fondasi	111
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal secara Manual dan Aplikasi.....	119
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Daya Dukung Aksial Kelompok Tiang secara Manual dan Aplikasi.....	120
Tabel 4.14 Hasil Perhitungan Penurunan Tiang Tunggal secara Manual dan Aplikasi	120
Tabel 4.15 Hasil perhitungan penurunan kelompok tiang secara manual dan aplikasi	121

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Uji SPT (<i>Standard Penetration test</i>) (ASTMD 1586)	13
Gambar 2.2 Fondasi Memanjang atau Menerus	16
Gambar 2.3 Fondasi Telapak	17
Gambar 2.4 Fondasi Rakit	17
Gambar 2.5 Fondasi Sumuran.....	18
Gambar 2.6 Fondasi Tiang (<i>Pile Foundation</i>)	19
Gambar 2.7 Tiang Pancang Kayu.....	21
Gambar 2.8 Fondasi Tiang Baja Profil	22
Gambar 2.9 Fondasi Tiang Beton Pracetak.....	22
Gambar 2.10 Fondasi Tiang Beton Pratekan	23
Gambar 2.11 Fondasi Tiang Komposit Kayu dan Beton.....	23
Gambar 2.12 Skema Alat Pemukul Tiang : A. Pemukul aksi tunggal (<i>single acting hammer</i>), B. Pemukul aksi double (<i>double acting hammer</i>), C. Pemukul diesel (<i>diesel hammer</i>), D. Pemukul getar (<i>vibrator hammer</i>).....	25
Gambar 2.13 Pengangkatan Tiang dengan Dua Tumpuan	29
Gambar 2.14 Pengangkatan Tiang dengan Satu Tumpuan.....	29
Gambar 2.15 Urutan Pemancangan: (a) Pemancangan Tiang, (b) Penyambungan Tiang, (c) Kalendering / <i>Final set</i>	31
Gambar 2.16 Tiang ditinjau dari Cara Mendukung Bebananya	32
Gambar 2.17 Grafik Hubungan Tahanan Ujung Ultimit	37
Gambar 2.18 Grafik Hubungan Tahanan Selimut dengan N_{SPT}	38
Gambar 2.19 Grafik Hubungan antara Kohesi Tanah (C_u) dengan Faktor Adhesi (α).....	40
Gambar 2.20 Grafik Hubungan Sudut Gesek Dalam (ϕ) dengan N_q	41
Gambar 2.21 Grafik Daya Dukung Lateral Ultimit.....	45
Gambar 3.1 Pemilihan Satuan	55
Gambar 3.2 <i>New Model</i>	56
Gambar 3.3 <i>Quick Grid Lines</i>	56
Gambar 3.4 <i>Edit Grid Data</i>	56
Gambar 3.5 <i>Coordinate/Grid System</i>	57

Gambar 3.6 Define Grid System Data	57
Gambar 3.7 Define	57
Gambar 3.8 Define Materials.....	58
Gambar 3.9 Material Property Data	58
Gambar 3.10 Section Properties	59
Gambar 3.11 Frame Properties.....	59
Gambar 3.12 Rectangular Section	59
Gambar 3.13 Reinforcement Data Beam.....	60
Gambar 3.14 Reinforcement Data Column.....	60
Gambar 3.15 Input Area Section.....	61
Gambar 3.16 Area Section.....	61
Gambar 3.17 Shell Section Data.....	61
Gambar 3.18 Input Balok dan Kolom pada Grid.....	62
Gambar 3.19 Input Pelat Lantai dan Shear Wall pada Grid.....	62
Gambar 3.20 Hasil Pemodelan SAP2000.....	63
Gambar 3.21 Response Spectrum	63
Gambar 3.22 Define Response Spectrum Functions	64
Gambar 3.23 Response Spectrum Function Definition.....	64
Gambar 3.24 Load Patterns.....	65
Gambar 3.25 Define Load Patterns	65
Gambar 3.26 Define Load Cases	65
Gambar 3.27 Load Case Data.....	66
Gambar 3.28 Define Load Combinations.....	67
Gambar 3.29 Load Combination Data	68
Gambar 3.30 Frame Distributed Loads.....	68
Gambar 3.31 Area Uniform Loads to Frames.....	69
Gambar 3.32 Set Load Cases to Run	69
Gambar 3.33 Hasil Output.....	70
Gambar 3.34 System of units.....	70
Gambar 3.35 Mengisi kedalaman tiap tanah	71
Gambar 3.36 Mengisi data tanah	71
Gambar 3.37 Add new soils	72

Gambar 3.38 Memasukan data klasifikasi tanah	72
Gambar 3.39 Memasukkan klasifikasi tanah ke tiap kedalaman	72
Gambar 3.40 Menu <i>Load</i>	73
Gambar 3.41 Pembebanan <i>Pile</i>	73
Gambar 3.42 Menu <i>Geometry</i>	74
Gambar 3.43 Menu <i>Material</i>	74
Gambar 3.44 Memasukkan muka air tanah	74
Gambar 3.45 Hasil <i>Output</i> menu <i>Vertical Cap</i>	75
Gambar 3.46 <i>Pile Type</i>	75
Gambar 3.47 <i>Pile Profile</i>	76
Gambar 3.48 <i>Pile Properties</i>	76
Gambar 3.49 <i>Pile Section Screen</i>	77
Gambar 3.50 <i>Load and Group</i>	77
Gambar 3.51 <i>Soil Properties</i>	77
Gambar 3.52 <i>Soil Parameter Screen</i>	78
Gambar 3.53 Memasukkan Kedalaman Muka Air Tanah	78
Gambar 3.54 <i>Vertical Analysis Results</i>	79
Gambar 4.1 Denah Pondasi.....	82
Gambar 4.2 Pemodelan Struktur Dengan Program SAP2000	83
Gambar 4.3 Respons Spektrum Jenis Tanah Sedang Wilayah Purwodadi.....	88
Gambar 4.4 Titik <i>Joint</i> yang Direncanakan	88
Gambar 4.5 pelapisan tanah dan parameter.....	90
Gambar 4.6 Grafik Daya Dukung Lateral Ultimit	103
Gambar 4.7 Detail fondasi PC.1	107
Gambar 4.8 Detail fondasi PC.2	108
Gambar 4.9 Detail fondasi PC.3	109
Gambar 4.10 Detail fondasi PC.4	110
Gambar 4.11 Permodelan <i>Bentley Geostuctural Analysis</i>	115
Gambar 4.12 Grafik Penurunan Segera	115
Gambar 4.13 Hasil output daya dukung lateral fondasi tiang pancang tunggal	116
Gambar 4.14 Permodelan <i>pile cap</i> tipe PC.2.....	116
Gambar 4.15 Permodelan <i>pile cap</i> tipe PC.3.....	117

Gambar 4.16 Permodelan *pile cap* tipe PC.4..... 117



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Ab	[m ²]	Luas penampang tiang
Ap	[m ²]	Luas penampang tiang
As	[m]	Luas selimut tiang
As	[m ²]	Luas tulangan tiang
B	[m]	<i>Broad</i> (Lebar)
Bg	[m]	Lebar <i>pile cap</i>
C	[Kg/cm ²]	Kohesi
Cp	[-]	Nilai koefisien (dari tipe tanah berdasarkan jenis pondasi)
Cs	[-]	Konstanta Empiris
Cu	[	<i>Cohesion Undrained</i>
D	[m]	Diameter tiang
Df	[m]	<i>Depth of Foundation</i>
E	[m]	jarak dari titik beban horizontal ke permukaan tanah
Eg	[-]	Efisiensi Kelompok Tiang
Ep	[kN/m ²]	Modulus Elastisitas Tiang
Es	[Kg/cm ³]	Modulus Elastisitas (<i>Modulus Young</i>)
F	[kN/m]	Daya dukung selimut persatuan luas
F	[m]	jarak kedalaman titik dimana gaya geser = 0
Fb	[-]	Faktor empirik tergantung pada tipe tanah.
Fb	[kN/m ²]	Daya dukung ujung per satuan luas
Fs	[Kg/cm]	<i>Local friction</i>
F _s	[-]	Faktor empirik tahanan selimut yang tergantung pada tipe tanah.
Hu	[kN]	Daya dukung lateral tiang
JHL	[kg/cm ²]	Jumlah Hambatan Lekat
Kd	[-]	Nilai koefisien tekanan tanah untuk tiang tekan
Kll	[m]	Keliling tiang
Kp	[-]	koefisien tekanan tanah pasif
L	[m]	<i>Length</i> (panjang)
Li	[m]	Panjang kedalaman setiap lapisan tanah ke-i

M	[-]	Jumlah tiang pada deretan baris
M	[kN-m]	Momen maksimum yang dapat ditahan tiang
y		
N	[-]	Jumlah tiang
N	[-]	Jumlah tiang pada deretan kolom
N ₁	[-]	Nilai N _{SPT} kedalaman sebelum
n ₁	[-]	Jumlah baris tiang
N ₂	[-]	Nilai N _{SPT} kedalaman ke-n
n ₂	[-]	jumlah tiang dalam satu baris
N _{SPT}	[-]	<i>Number of Standard Penetration Test</i>
Ø	[°]	Sudut Geser Dalam
P	[kN]	Gaya aksial yang terjadi
Pb'	[kN/m ²]	Tekanan <i>Overburden</i> pada ujung bawah tiang
Po'	[kN/m ²]	Tekanan <i>overburden</i> efektif
Qall	[kN]	Daya Dukung Aksial Ijin
Qb	[kN]	Daya Dukung Ujung Tiang
Qb	[kN/m ²]	Daya dukung ujung tiang persatuan luas
Qc	[Kg/cm ²]	<i>Conus resistance</i> (tahanan ujung sondir)
qc (side)	[kg/cm]	Perlawanan konus rata-rata pada masing lapisan sepanjang tiang.
q _{ca} (base)	[kg/cm ²]	Perlawanan konus rata-rata 1,5D di atas ujung tiang 1,5D dibawah ujung tiang
Qp	[kN]	Daya Dukung ujung tiang
q _p	[m ²]	Daya Dukung ujung tiang persatuan luas
Qs	[kN]	Daya Dukung Selimut Tiang
Qult	[kN]	Daya Dukung Aksial Ultimit
Qwp	[kN]	Daya dukung ijin ujung tiang
Qws	[kN]	Daya dukung ijin selimut tiang
S	[m]	Jarak tiang
Se	[mm]	Total penurunan tiang pancang
Se	[mm]	Penurunan elastis tiang pancang

Se	[mm]	Penurunan tiang pancang dikarenakan beban pada ujung tiang
Se	[mm]	Penurunan tiang pancang dikarenakan beban yang ditransmisikan sepanjang kulit tiang
SF	[-]	<i>Safety Factor</i> (Angka Keamanan)
Sg	[mm]	Penurunan kelompok tiang
Tau	[kN/m ²]	Tegangan ijin tulangan
Tbk	[kN/m ²]	Tegangan ijin beton
Wp	[kN]	Berat tiang
Zc	[m]	Kedalaman kritis
Z _{MAT}	[m]	Kedalaman muka air tanah
A	[-]	Faktor Adhesi
As	[%]	Nilai faktor empiric
Γ	[kN/m ³]	berat volumen tanah
γ'	[kN/m ³]	Massa jenis tanah efektif
γ _{dy}	[kN/m ³]	Massa jenis tanah kering
Φ'	[°]	sudut gesek efektif
M	[-]	<i>Poisson Ratio</i>
E	[-]	Koefisien

PERENCANAAN FONDASI TIANG PANGCANG PADA PROYEK GEDUNG MPP (MALL PELAYANAN PUBLIK) KAB. GROBOGAN

Oleh :

Lukman Mustika Atmaja¹⁾, Abdul Rochim²⁾, Nafi'ah²⁾

Abstrak

Kemajuan di era modern, mengharuskan setiap makhluk untuk mengikuti setiap perjalanan peradaban yang ada, guna untuk tidak ketinggalan dan tetap eksis dalam sebuah lingkup sosial, lebih-lebih dalam hal ini adalah pembangunan, seperti halnya pembangunan Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik) tujuan dari penulisan ini yakni untuk mengetahui besar beban struktur atas, daya dukung fondasi dan penurunan fondasi dengan perhitungan manual dan program SAP2000, Bentley, Allpile.

Permodelan struktur atas menggunakan program SAP2000 guna mendapatkan hasil beban struktur atas. Perhitungan daya dukung aksial tiang menggunakan data sondir dan data N-SPT, metode Reese & Wright, Mayerhoff, US Army Corps serta kekuatan bahan sebagai acuan. Perhitungan daya dukung lateral menggunakan metode Broms dan Mayerhof, kemudian perhitungan penurunan menggunakan metode Vesic. Terakhir membandingkan perhitungan manual dan perhitungan menggunakan program Bentley Geostuctural Analysis serta Allpile.

Berdasarkan dari hasil pengerjaan, fondasi yang dipakai adalah fondasi tiang pancang dengan kedalaman 20 m dan berdiameter 0,4 m. Hasil perhitungan daya dukung ijin dimulai dari manual, Bentley dan Allpile. Untuk *single pile* sebesar 633 kN, 187,1 kN, 234,6 kN. PC.2 sebesar 1888,45 kN, 4111,25 kN, 686 kN. PC.3 sebesar 1500,21 kN, 6957,78 kN, 1796 kN. PC.4 sebesar 2000,28 kN, 5192,25 kN, 2309 kN. Untuk perhitungan penurunan dimulai dari manual, Bentley, dan Allpile. *Single pile* sebesar 30 mm, 0,3 mm, 3,1 mm. PC.2 sebesar 50 mm, 74,6 mm, 64,9 mm. PC.3 sebesar 70 mm, 54,8 mm, 80,2 mm. PC.4 sebesar 70 mm, 65,4 mm, 89,7 mm.

Kata Kunci : Daya Dukung Aksial; Daya Dukung Lateral ; Penurunan ; Tiang Pancang

¹⁾Mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA

²⁾Dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan di era modern, mengharuskan setiap makhluk untuk mengikuti setiap perjalanan peradaban yang ada, guna untuk tidak ketinggalan dan tetap eksis dalam sebuah lingkup sosial, lebih-lebih dalam hal ini adalah pembangunan, seperti halnya pembangunan Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik).

Mall Pelayanan Publik adalah tempat berlangsungnya kegiatan atau aktivitas penyelenggaraan pelayanan publik atas barang, jasa, dan atau pelayanan administrasi yang merupakan perluasan fungsi pelayanan terpadu baik pusat maupun daerah, serta pelayanan badan usaha milik Negara / badan usaha milik daerah dan swasta dalam rangka menyediakan layanan yang cepat, mudah, terjangkau, aman, dan nyaman.

Pembangunan proyek ini berada di jl. Paramedis Area Simpang Lima Grobogan terdiri dari 3 lantai termasuk *roof* dan *basement* yang menggunakan fondasi *tiang pancang*, fungsi dari sebuah pengerjaan fondasi adalah salah satunya untuk meneruskan suatu beban struktur yang ada di atasnya ke lapisan tanah yang ada di bawahnya. Memperhatikan perhitungan daya dukung tanah fondasi pada pelaksanaan pekerjaan struktur bawah merupakan sebuah keharusan. Guna mengurangi gaya geser tanah yang berlebih, memperhitungkan penurunan tanah dan mengantisipasi supaya bangunan tidak runtuh.

Sudah keharusan setiap fondasi harus mampu dan dipastikan mendukung beban sampai batas keamanan yang telah ditentukan, termasuk juga mendukung beban maksimum yang kemungkinan hal tersebut terjadi. Pada sebuah pernyataan oleh seorang ahli, fondasi dengan kedalaman 10 meter di bawah permukaan tanah, yang cocok adalah tiang pancang. (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1990). Variative dalam pemilihan tipe perencanaan fondasi pada tiap bangunan. Pemilihan tersebut berdasarkan pada :

- a. Fungsi bangunan atas (*upper structure*) yang akan dipikul oleh fondasi tersebut.
- b. Besarnya beban dan beratnya bangunan atas.
- c. Keadaan tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan.
- d. Biaya pekerjaan fondasi dibandingkan pekerjaan struktur atas.

Analisis dilakukan dengan metode statis (dalam keadaan diam) hal ini dilakukan untuk mengetahui penurunan tanah yang terjadi dan kapasitas daya dukung tanah fondasi tiang pancang. Metode lain yakni semi empirik (hasil pengetahuan dari pengamatan) dihitung berdasarkan data SPT. Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menggunakan perhitungan dari program *SAP2000* untuk perhitungan berat beban bangunan. Menggunakan Program *Bentley Geosturctural Analysis* dan program *Allpile* untuk perhitungan daya dukung fondasi dan perhitungan penurunan fondasi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan kami bahas dalam tugas akhir (TA) ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa beban aksial dan lateral struktur atas pada perencanaan Fondasi Proyek Pembangunan Mall Pelayanan Publik Grobogan Jawa tengah ?
2. Berapa nilai daya dukung aksial tanah pondasi berdasarkan dari data tanah sodir ?
3. Berapa nilai daya dukung aksial tanah fondasi tiang pancang yang berdasarkan pada perhitungan manual dari data tanah sondir dan menggunakan program *Bentley Geosturctural Analysis* dan *Allpile* ?
4. Berapa nilai daya dukung lateral tanah fondasi tiang pancang yang berdasarkan pada perhitungan manual ?
5. Berapa besar nilai penurunan (settlement) fondasi tiang pancang berdasarkan perhitungan manual, program *Bentley Geosturctural Analysis* dan *Allpile* ?
6. Berapa perbandingan daya dukung dan penurunan yang dihitung manual serta dengan program *Bentley Geosturctural Analysis* dan *Allpile* .

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini antara lain:

1. Perhitungan beban dari struktur atas yang akan disalurkan fondasi ke dalam tanah menggunakan program SAP2000.
2. Menghitung daya dukung aksial tanah fondasi tiang pancang menggunakan data sondir dari Proyek Pembangunan Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik).
3. Menghitung daya dukung aksial tanah fondasi tiang pancang dengan perhitungan manual menggunakan metode yaitu *Reese & Wright*, *Mayerhof*, *US Army Corps*, dan daya dukung berdasarkan kekuatan bahan serta menggunakan program *Bentley Geostuctural Analysis* dan *Allpile* yang menggunakan data tanah Sondir dari Proyek Pembangunan Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik).
4. Menghitung daya dukung lateral tanah fondasi tiang pancang dengan perhitungan manual menurut metode *Broms* dan *Mayerhof* yang menggunakan data tanah dari Proyek Pembangunan Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik).
5. Menghitung penurunan (*Settlement*) fondasi tiang pancang dengan menggunakan perhitungan manual dan program *Bentley Geostuctural Analysis* dan *Allpile*.
6. Membandingkan hasil perhitungan daya dukung dan penurunan yang terjadi yang dihitung dengan manual dan program *Bentley Geostuctural Analysis* serta *Allpile*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui beban aksial dan lateral struktur atas pada perencanaan fondasi tiang pancang Proyek Pembangunan Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik) menggunakan Program SAP2000.
2. Menghitung daya dukung aksial tanah fondasi dari hasil Sondir.

3. Mengetahui kapasitas daya dukung aksial tanah fondasi tiang pancang berdasarkan perhitungan manual dengan metode *Reese & Wright*, *Mayerhof*, *US Army Corps*, dan Kapasitas daya dukung berdasarkan kekuatan bahan serta menggunakan program *Bentley Geostрукtural Analysis*.
4. Mengetahui kapasitas daya dukung lateral tanah fondasi tiang pancang berdasarkan perhitungan manual dengan metode yaitu *Broms*, *Mayerhof* dan perhitungan menggunakan program *Bentley Geostрукtural Analysis*.
5. Mengetahui besarnya penurunan (*Settlement*) yang terjadi pada fondasi tiang pancang berdasarkan perhitungan manual dan program *Allpile*.
6. Mengetahui perbandingan penurunan (*Settlement*) yang dihitung dengan manual dan program *Allpile*.

1.5 Manfaat Penelitian

Tugas akhir ini diharapkan bermanfaat untuk :

1. Dapat menabahnya pengetahuan dan wawasan baru.
2. Sebagai bahan referensi mahasiswa dalam mengerjakan tugas dengan pembahasan topik yang sama.
3. Teman-teman yang membutuhkan informasi dan ingin mempelajari topik yang dibahas dalam laporan tugas akhir ini.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari 5 (lima) bab, sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi latar belakang penulisan, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat, dan sistematika penulisan

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi dasar teori, rumus, dan segala sesuatu yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini, yang

diperoleh dari buku literatur, jurnal ilmiah, *website*, dan hasil penulisan sebelumnya.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Berisi metodologi penulisan tugas akhir berupa pengumpulan data dan metode analisis yang digunakan.

BAB IV : HASIL PENELITIAN

Berisi perhitungan kapasitas daya dukung dan penurunan fondasi iang pancang dengan mengolah data-data yang diperoleh secara manual dan perhitungan menggunakan program.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dan saran berdasarkan perencanaan dan kajian yang telah dikumpulkan pada tugas akhir ini.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah sebagai Pendukung Fondasi

Pengertian mengenai tanah yang bersumber dari wikipedia, yakni tanah merupakan bagian dari kerak bumi yang tersusun atas mineral dan bahan organik.

Terdapat berbagai penjelasan mengenai pengertian tanah yang bersumber pada penelitian dan pengetahuan yang dilakukan oleh para ilmuwan, berikut ulasan mengenai hal tersebut.

Dalam bidang teknik sipil tanah (*soil*) merupakan sisa tanah yang dibawa dari pelapukan batuan akibat proses geologi yang digali tanpa menggunakan peledak dan bisa ditembus dengan alat pengambilan. Contoh (*sampling*) pada saat pengeboran (*Hendarsin, 2000*).

Secara umum tanah ada 2 yaitu berkohefif dan tidak berkohefif. Tanah berkohefif merupakan tanah jika karakteristik fisik terdapat pembasahan dan pengeringan yang tersusun dari butiran tanah yang menyatu sehingga gaya berfungsi untuk memisahkan dalam keadaan kering. Contoh tanah lempung (*Bowles, 1986*).

Tanah secara umum adalah kumpulan dari bagian yang padat dan terikat antara satu dengan yang lain material tersebut berisi udara dan air (*Verhoef, 1994*).

Tanah adalah material yang terdiri dari agregat butiran mineral-mineral dari bahan organik yang telah melapuk yang berpartikel padat disertai zat cair juga gas yang mengisi ruang kosong antar partikel-partikel padat tersebut (*Braja. 1998*).

Pemahaman mengenai hal ini yakni tanah, begitu diperlukan dalam hal perencanaan sebuah bangunan, baik basah maupun kering, karena pada setiap kualitas tanah memiliki karakteristik yang berbeda, pengaruhnya yakni penentuan terhadap ukuran pada setiap fondasi dan kedalamannya.

2.2 Parameter tanah

Terdapat 3 (tiga) fase elemen tanah, yaitu butiran air, udara dan padat. Dalam hal pemutusan guna mendapatkan parameter tanah, kemudian

hubungan antar volume dengan berat maka pemahaman mengenai hal itu di perlukan. Dibawah ini parameter tanah yang digunakan mendeskripsi kan sifat dan karakteristik pada tanah yaitu :

a. Poisson Ratio

Nilai poisson *ratio* ditentukan sebagai kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai poisson *ratio* dapat ditentukan melalui jenis tanah seperti pada Tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1 Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson *Ratio*

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

Sumber : Braja, 2011

b. Kohesi (c)

Kohesi hadalah gaya tarik antar butiran tanah. Dalam waktu bersamaan kohesi dengan sudut geser tanah dari kuat geser tanah untuk menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat regangan yang bekerja pada tanah. Deformasi terjadi dengan adanya perpaduan dalam keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Nilai ini didapat dari hasil Uji *Direct Shear Test*. Nilai ini ditentukan dari data sondir (q_c) sebagai berikut : Kohesi (c) = $q_c/20 \text{ kg/cm}^2$.

c. Modulus Young

Nilai modulus Young menunjukan nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *Triaxial Test*. Suatu Nilai Modulus Elastisitas (E_s) secara empiris dapat

ditentukan melalui data sondir dan jenis tanah seperti pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Nilai Perkiraan Modulus Young

	E (kg/cm²)
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
PAIR DAN KERIKIL	
Padat	800-2000
Tidak padat	500-1400
1400LANAU	20-200
LOSES	150-600
CADAS	1400-14000

Sumber : Bowles,1997

d. Sudut Geser Dalam (ϕ)

Nilai sudut geser dalam dan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. *Direct Shear Test* merupakan bentuk kegiatan pengukuran guna memperoleh nilai tersebut. Hubungan sudut geser dalam dan jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut :

Tabel 2.3 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam (ϕ)
Kerikil kerakal	35° - 40°
Kerikil kepasiran	35° - 40°
Lempung	20°- 25°
Lempung kelanauan	25°- 30°
Pasir lepas	30°
Pasir padat	35°- 40°

sumber : Braja, 2011

2.3 Penyelidikan Tanah (*Soil Investigation*)

Penyelidikan tanah dilakukan untuk sifat dan karakteristik tanah yang diselidiki. Pada penyelidikan ini sangat berpengaruh terhadap daya

dukung dan jenis fondasi yang akan digunakan dalam perencanaan. Penyelidikan tanah dibagi 2 yaitu Penyelidikan di lapangan seperti : pengujian sondir, *Standard Penetration Test* dan penyelidikan di laboratorium.

2.3.1 Pekerjaan sondir

Pada pekerjaan sondir alat yang digunakan adalah sondir ringan manual *type Gouda* atau *Dutch cone* Penetrometer dengan kapasitas 2,5 ton dan tahanan konus (*conus resistance*) $q_c = 250,0 \text{ kg/cm}^2$.

Tujuan dari penyelidikan sondir ini adalah untuk mendapatkan nilai pengukuran langsung tahanan ujung (*conus resistance* = q_c dalam kg/cm^2) disuatu titik dan besar perlawanan geser (*local friction* = f_s dalam kg/cm) sepanjang lubang setelah dilewati konus. Pengujian sondir dilakukan dengan kecepatan konstan sebesar 2 cm/dt setiap interval 20 cm.

A. Standar prosedur yang digunakan :

- PB 0101-76
- SNI 03-2827-1992
- ASTM D 3441

B. Peralatan yang digunakan sebagai berikut :

- Alat sondir manual (keadaan baik) dengan kapasitas 2,5 ton
- Stang sondir sebanyak 25 batang, dengan panjang masing-masing 1 m.
- Manometer 2 buah yaitu manometer kapasitas 0-60 kg/cm^2 dan manometer kapasitas 0-250 kg/cm^2 .
- Satu buah bikonus dan 1 *single conus*
- Satu set angker terdiri dari 4 buah angker dan besi kanal penjepit (penahan).
- Kunci-kunci dan perlengkapan lain yang digunakan untuk penunjang pekerjaan.

C. Prosedur atau cara kerja sebagai berikut :

- Mesin sondir dipasang dengan posisi tegak lurus dengan dasar tanah dan ditahan oleh angker dan besi kanal dalam keadaan stabil.
- Oli dalam piston dalam kondisi penuh, baru stang dan konus dipasang, manometer pada kondisi awal dalam keadaan baik.
- Pembacaan dilaksanakan, pada penekanan pertama dari ujung konus dan penekanan kedua adalah pembacaan ujung konus dan mantel.
- Penekanan stang dilaksanakan pada setiap jarak (interval) kedalaman 20 cm.
- Pekerjaan sondir dihentikan apabila :
 - a. Pembacaan manometer tiga kali menunjukkan nilai konus (q_c) $> 200 \text{ kg/cm}^2$.
 - b. Pembacaan manometer menunjukkan nilai konus (q_c) kecil tetapi nilai total lekatan (jumlah hambatan pelekak) besar ($> 1000 \text{ kg/cm}$) sehingga mengakibatkan angker terangkat, maka kanal penahan diberi beban (pemberat).
 - c. Apabila pada kedalaman kurang dari 2 meter sudah mencapai tekanan (nilai) konus $q_c = 250 \text{ kg/cm}^2$, maka untuk meyakinkan hasil sondir yang akurat, alat sondir digeser sejauh ± 2 meter.
 - d. Tetapi apabila kondisinya sama, maka pekerjaan dihentikan dan lapisan tanah dapat diyakini dalam kondisi padat atau keras.

D. Hasil dan penggambaran grafik meliputi:

- Grafik tahanan konus (*conus resistance*) terhadap kedalaman
- Grafik lekatan setempat (*local friction*)
- Grafik jumlah hambatan lekat (*total friction*)

- Perbandingan geseran lokal dengan tekanan konus (*friction ratio*).

2.3.2 Pekerjaan bor mesin

Pengujian dengan bor mesin merupakan pengujian yang dilakukan di lapangan langsung. Pada pekerjaan bor alat menggunakan bor mesin (*Drilling Bore*) berdiameter 3 inch.

A. Prosedur atau peralatan dan cara kerja

1. Metode yang digunakan (*Standard Procedure*)

- ASSTHO T 225-74
- ASTM D 2113-70
- SNI 03-2436-1991

2.

Peralatan yang digunakan antara lain:

- *Rotary Drilling Bore (Longer 24)*
- *Drilling Pump* merek Sunchin
- *Core Barrel type single tube core barrels*
- *Rod, Casing*
- *Driven Pile*
- *Standart split barrel dan drive wight*
- Tabung contoh

3. Cara kerja :

- Pengeboran dilakukan dengan menggunakan *single tube core barrels*, berdiameter 76 mm dan panjang 100 cm.
- Pengeboran dilakukan dengan menggunakan bor mesin dengan cara memutar stang bor beserta tabung pengambilan.
- Pengambilan contoh tanah dilakukan secara terus menerus (*continue*) agar didapat susunan lapisan tanah.
- Contoh tanah pengeboran disimpan dalam kotak inti (*core box*) yang masing-masing mempunyai lima jalur penyimpanan dengan panjang 1,0 m dan tebal ± 7 cm, sehingga tiap kotak menyimpan 5,0 m contoh tanah.

Setiap kotak diberi nomor *boring*, lokasi, kedalaman, tanggal, *master bor*, dll.

- Dari hasil bor dilakukan diskripsi lapisan tanah, kedalaman air tanah dan hal-hal lain yang perlu. Deskripsi tanah mengacu pada prosedur SNI 03-4148-1996.
- Bersamaan dengan pelaksanaan *boring* dilakukan pengambilan *undisturbed sample*, test kadar air, dan tes SPT.

B. Pengambilan contoh tanah

1. Metode yang digunakan:

- ASSTHO T 207-74
- ASTM D 1587-67
- SNI 03-4148-1996

2. Peralatan yang digunakan:

- Tabung baja tipis (*Thin Wall Shell by Tube*)
- Paravin
- Kotak sampel

3. Cara kerja:

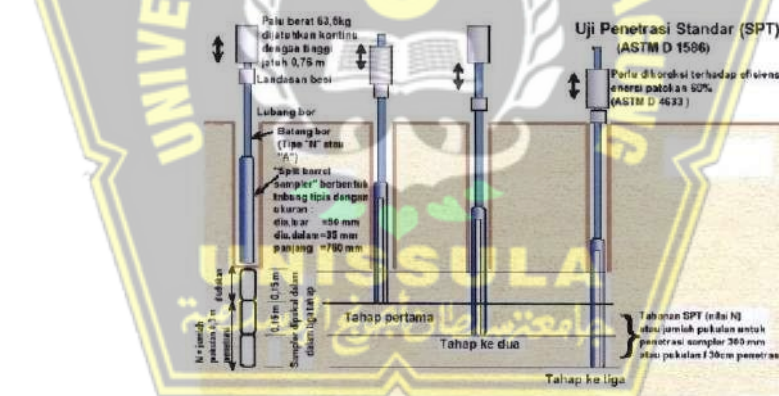
- Untuk tanah yang lunak dengan nilai konus < 800 kPa, maka sampel diambil dengan menggunakan *fixed piston sampler* dengan tabung terbuat dari baja tahan karat (*stainless steel*) minimal berdiameter 75 mm dan panjang 70 cm dengan ujung bawah yang runcing.
- Setelah contoh tanah didapat, tabung segera dilindungi untuk mencegah terganggunya sampel tanah dan untuk menjaga agar kadar air tetap maka kedua ujung tabung ditutup dengan paravin. Tanah diantara kedua pengambilan sampel diambil dengan menggunakan *single tube core berrel* berukuran NX.
- Untuk tanah yang lebih keras maka pengambilan contoh tanah diijinkan dengan tabung terbuka berdinding tipis.

- Pengambilan contoh tanah dilakukan pada kedalaman interval 5 meter.

2.3.3 Pengujian *standard penetration test* (SPT)

Standard Penetration test (SPT) merupakan percobaan yang dilakukan dilapangan guna untuk memasukkan alat split spoon dalam tanah yang bertujuan untuk mendapatkan kepadatan relatif (*Relative Density*). Sudut geser pada tanah (ϕ) dan jumlah pukulan nilai N dari tanah ini (*Hardiyatmo*, 2003)

Metode SPT (*Standard Penetration test*) dilakukan dalam peraturan ASTM D 1586 sejak tahun 1958 pada proses penyelidikan tanah dilapangan secara langsung, metode percobaan SPT (*Standard Penetration test*) dengan cara memasukkan tabung sampel (*split spoon*) masuk ke dalam tanah sepanjang 305 mm. hasil tersebut ditulis dalam bentuk jumlah N pada pukulan palu. Skema Uji SPT (*Standart Penetration Test*) disajikan pada Gambar 2.1 sebagai berikut :



Gambar 2.1 Skema Uji SPT (*Standard Penetration test*)
(ASTMD 1586)

Adapun prosedur atau tahap – tahapan dalam melakukan pengujian SPT (*Standard Penetration test*) adalah sebagai berikut :

1. Peralatan yang dibutuhkan dalam pengujian SPT berdasarkan SNI 4153 : 2008, yaitu :
 - a. Peralatan mesin pengebor tanah beserta kelengkapannya
 - b. Peralatan pompa air beserta kelengkapannya
 - c. Tabung belah atau (*split barrel sampler*)

- d. Pemukul (*hammer*) yang mempunyai berat 63,5 kg.
 - e. Alat penahan (*tripod*)
 - f. Perlatan penyipat datar (*waterpass*)
 - g. Alat ukur rol meter
 - h. Katrol
 - i. Perlengkapan alat tulis
2. Persiapan yang perlu dilakukan :
 - a. Tali untuk menarik dan menahan palu pemukul
 - b. Bahan bakar minyak
 - c. Bahan pelumas (*vaselin*)
 - d. Kantong plastik secukupnya
 3. Formulir untuk mencatat pengujian dalam melaksanakan pengujian SPT (*Standard Penetration test*) menurut SNI 4153 : 2008, yaitu :
 - a. Pasang terlebih dahulu balok penyokong pada pipa bor
 - b. Berilah penanda pada ketinggian 75 cm pada pipa bor
 - c. Lubang bekas pengeboran dilakukan pembersihan dari tanah – tanah sisa pengeboran tanah.
 - d. Pasanglah (*split barrel sample*) pada tempat yang disediakan
 - e. Kemudian peralatan pengujian SPT (*Standard Penetration test*) dimasukkan ke dalam dasar tanah yang akan dilakukan pengujian dengan kedalaman yang direncanakan.
 - f. Berilah tanda batang bor dari elevasi tanah dasar sampai ketinggian 15, 30, serta 45 cm.
 4. Struktur prosedur yang harus perlu dilakukan dalam melaksanakan pengujian SPT (*Standard Penetration test*) yang mengacu pada SNI 4153 : 2008, yaitu :
 - a. Pengujian SPT (*Standard Penetration test*) dilakukan dengan cara masing – masing lapisan struktur tanah dengan interval perlapisan berkisar 1,5 hingga 2,00 m sesuai rencana.

- b. Melakukan penarikan palu pemukul (*split spoon*) dengan tinggi jatuh setinggi 75 cm
- c. Setelah itu lepaskan penarikan agar palu pemukul tersebut jatuh secara gravitasi dan menimpa penahan (*split spoon*)
- d. Lakukanlah berulang – ulang dan hitung berapa jumlah N, pada langkah (b) dan (c)
- e. Kemudian catat pada formulir yang disediakan jumlah N pukulan setelah masuk 15 cm
- f. Lakukanlah langkah (b), (c), (d), serta (e) setiap *split spoon* masuk kedalam tanah sedalam 15cm
- g. Apabila dalam pengujian terjadi nilai N lebih besar dari 50 pukulan palu maka pengujian dapat dihentikan pada titik tersebut. Jangan lupa untuk melakukan pencatatan pada penetrasi 5 cm pada tipe batuan dan untuk hasil pengujian SPT (*Standart Penetration test*) dilapangan berdasarkan (SNI 4153 : 2008) disajikan pada (borlog).

2.4 Fondasi

Fondasi merupakan bagian terendah dari suatu bangunan yang berfungsi untuk menyalurkan beban bangunan ke tanah atau batuan yang berada di bawahnya (Setyanto, 1999). Fondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang memiliki fungsi untuk meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas (*Upper structure*) ke dasar tanah yang cukup kuat daya dukungnya (Gunawan, 1990).

Fondasi adalah bagian suatu konstruksi yang berada dipaling bawah yang fungsinya untuk meneruskan beban bangunan dan memikul beban sendiri di atasnya fondasi ke lapisan tanah keras yang berada di bawah fondasi. Perencanaan struktur fondasi ini berpedoman bahwa daya dukung fondasi yang diijinkann harus lebih besar dari beban yang diteruskan oleh fondasi tersebut. Apabila kekuatan tanah melampaui dari daya dukung fondasi maka akan terjadi penurunan yang berlebihan (Das, Braja M. 1998 dalam Pratikso 2009).

2.5 Klasifikasi Fondasi

Terdapat 3 jenis fondasi secara umum yang ada dipelaksanaan lapangan yaitu fondasi dangkal, fondasi sedang, dan fondasi dalam. Berikut 3 jenis fondasi :

2.5.1 Fondasi dangkal

Fondasi dangkal adalah fondasi dengan galian tanah tidak terlalu dalam sebab tanah yang sudah cukup keras. Kekuatan fondasi dangkal berada pada alasnya, karena jenis fondasi ini memiliki fungsi menyalurkan beban ke lapisan tanah. Fondasi dangkal apabila memiliki kedalaman kurang atau sama dengan lebar fondasi ($D \leq B$) (Terzaghi, 1940). Fondasi dangkal dibedakan menjadi 5 jenis fondasi, yaitu :

a. Fondasi setempat (*single footing*)

Fondasi ini digunakan dibagian bawah kolom struktur bangunan yang berada di daerah rawa pada konstruksi bangunan kayu.

b. Fondasi menerus (*continuous footing*)

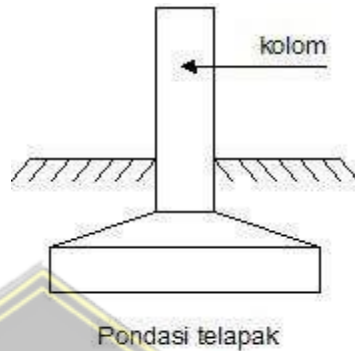
Fondasi menerus ini juga sering disebut fondasi batu kali (batu belah) sebab digunakan pada bangunan satu lantai. Konstruksi pada fondasi ini memiliki fungsi sebagai penyalur beban bangunan pada dinding secara merata ke lapisan tanah. Fondasi menerus ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Fondasi Memanjang atau Menerus

c. Fondasi telapak

Fondasi ini digunakan untuk tanah dengan daya dukung yang berbeda dari beban titik individual seperti pada kolom struktur. Fondasi telapak ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Fondasi Telapak

d. Fondasi rakit

Fondasi rakit ini digunakan untuk tanah lunak dengan susunan jarak kolom dari semua arah. Bila memakai telapak sisinya berhimpit satu sama lain. Fondasi rakit ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Fondasi Rakit

e. Fondasi sarang laba – laba

Fondasi dengan hasil perpaduan antara fondasi beton pipih yang diisi secara menerus dengan perbaikan tanah lunak sampai menghasilkan komposit dari konstruksi beton bertulang.

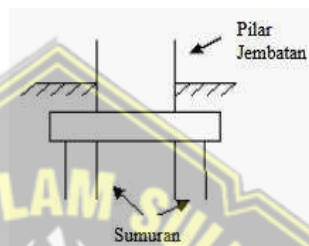
2.5.2 Fondasi sedang

Fondasi sedang merupakan pondasi yang berfungsi menyalurkan beban bangunan ke dalam tanah keras atau batuan di kedalaman dangkal dan dalam. Fondasi sedang digunakan apabila fondasi tiang

pancang tidak diperbolehkan untuk digunakan karena dalam proses pemancangan terdapat getaran yang bisa mengganggu kestabilan bangunan disampingnya. Jenis fondasi sedang diantaranya :

a. Fondasi sumuran (*strauss pile*)

Fondasi sumuran merupakan jenis fondasi yang berbentuk seperti sumuran yang dilakukan dengan cara pengeboran pada titik fondasi dengan kedalaman yang ditentukan. Nilai kedalaman fondasi yaitu dilambangkan dengan D_f dengan $(D_f/B) \geq 4$. Fondasi sumuran ditunjukkan pada Gambar 2.5.



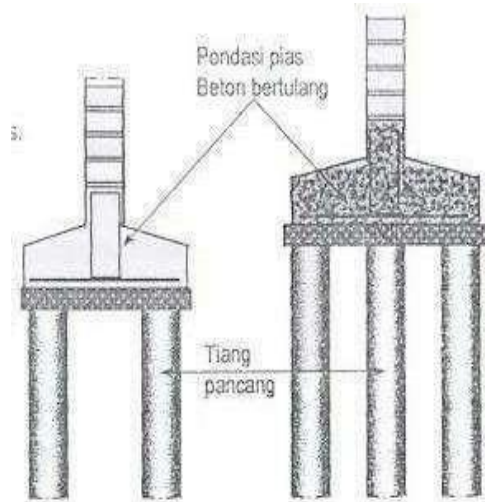
Gambar 2.5 Fondasi Sumuran

2.5.3 Fondasi dalam

Fondasi dalam merupakan jenis fondasi yang dirancang apabila letak tanah keras relatif dalam yang dimulai dari atas permukaan tanah (*Hardiyatmo, HC. 2018*). Secara umum kedalaman fondasi lebih besar dari lebar fondasi ($D > B$). Fondasi ini digunakan untuk menyalurkan beban struktur atas ke lapisan yang lebih dalam sampai didapat jenis tanah yang dapat memikul beban tersebut. Berikut jenis fondasi dalam :

a. Fondasi tiang (*pile foundation*)

Fondasi ini berfungsi untuk meneruskan beban vertical maupun horizontal ke tanah. Fondasi ini biasanya berdiameter lebih kecil dan lebih panjang daripada fondasi sumuran (*Bowles, 1997*). Jenis fondasi ini tanah pendukung yang terletak pada kedalaman 10 m dibawah permukaan tanah yaitu fondasi tiang (*Sosrodarsono dan Nakazawa*). Fondasi tiang (*Pile Foundation*) ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Fondasi Tiang (*Pile Foundation*)

Berikut klasifikasi fondasi tiang yang didasarkan metode pelaksanaannya :

1. Fondasi tiang pancang (*driven pile*)

Fondasi tiang ini dipasang dengan membuat bahan berbentuk bulat atau bujur sangkar secara memanjang yang dicetak terlebih dahulu dan selanjutnya ditekan ke dalam tanah.

2. Fondasi tiang bor (*bored pile*)

Fondasi tiang ini dipasang dengan cara pengeboran tanah sampai kedalaman tertentu. Kemudian tulangan baja dimasukkan ke dalam kemudian dicor dengan beton.

3. Kaison (*caisson*)

Fondasi tiang dengan memiliki bentuk kotak atau silinder yang sudah dicetak terlebih dahulu kemudian dimasukkan kedalam tanah dengan kedalaman tertentu dan dicor dengan beton. Kaison juga sering disebut tiang bor yang berdiameter besar.

Berdasarkan dari tipe tiang terhadap cara tiang meneruskan beban yang diterima ke tanah dasar fondasi. Hal ini tergantung berdasarkan jenis fondasi yang akan menerima beban yang akan bekerja, yaitu :

- a. Bila daya dukung fondasi tinggi yang terdapat pada ujung tiang fondasi dengan mencapai tanah keras, maka beban yang akan diterima.
- b. Bila tiang pancang pada tanah memiliki nilai kuat gesek tinggi (jenis tanah pasir), maka beban yang akan diterima oleh tiang akan ditahan melalui gesekan antara tiang dan tanah disekitar fondasi. Pada jenis tiang ini disebut dengan *Friction Pile*.
- c. Bila tiang pancang yang berada pada dasar tanah fondasi yang memiliki nilai kohesi tinggi, maka beban yang diterima beban pada tiang ditahan oleh pelekatan antara tanah yang berada disekitar permukaan tiang. Tiang ini juga sering disebut dengan *Adhesive Pile*.

2.6 Fondasi Tiang Pancang (*Driven Pile*)

Fondasi tiang pancang merupakan fondasi tiang yang dibuat terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam tanah hingga mencapai kedalaman tertentu. Metode yang paling umum untuk memasukkan tiang ke dalam tanah adalah dengan memukul kepala tiang berulang kali dengan sebuah palu khusus yang disebut sebagai pemancangan tiang. Namun demikian istilah “pemancangan” tidak hanya terbatas pada pemukulan kepada tiang dengan palu saja, tetapi juga meliputi penggetaran tiang dan penekanan tiang secara hidrolis. Fondasi tiang yang dipancang umumnya menyebabkan tekanan dalam tanah sehingga mencapai tegangan kontak antara selimut tiang dengan tanah yang relatif lebih besar dibandingkan dengan tiang bor.

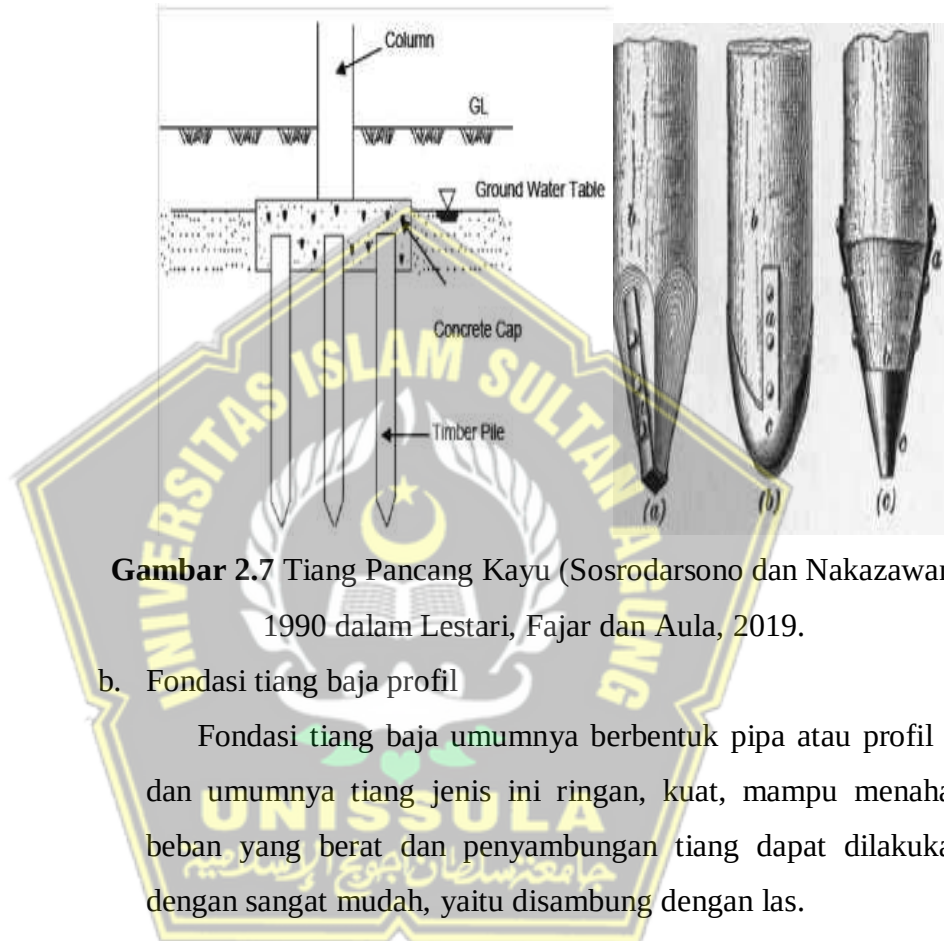
2.6.1 Jenis – jenis fondasi tiang pancang

Klasifikasi tiang pancang berdasarkan jenis bahan tiang dan pembuatannya dapat dibedakan menjadi 5 (lima) kategori yaitu :

- a. Fondasi tiang kayu

Jenis fondasi yang paling primitif adalah tiang kayu. Fondasi jenis ini mudah diperoleh pada daerah – daerah tertentu, siap

dipotong sesuai dengan panjang yang diinginkan, dan pada kondisi lingkungan tertentu dapat bertahan lama. Kelemahan dari fondasi tiang kayu adalah dapat lapuk akibat serangga atau binatang, jamur, zat – zat kimia lainnya sehingga kadangkala membutuhkan perlakuan khusus. Fondasi tiang kayu ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Tiang Pancang Kayu (Sosrodarsono dan Nakazawan 1990 dalam Lestari, Fajar dan Aula, 2019).

b. Fondasi tiang baja profil

Fondasi tiang baja umumnya berbentuk pipa atau profil H dan umumnya tiang jenis ini ringan, kuat, mampu menahan beban yang berat dan penyambungan tiang dapat dilakukan dengan sangat mudah, yaitu disambung dengan las.

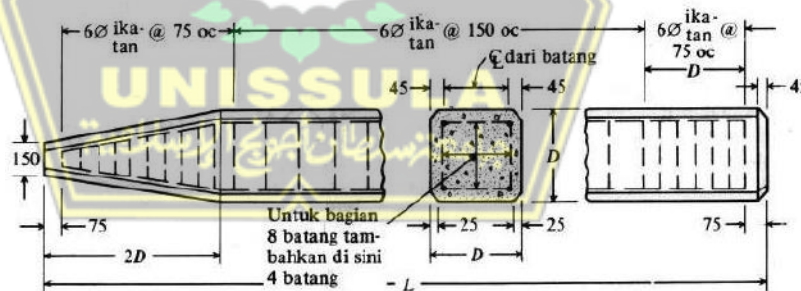
Tiang baja pipa dapat dipancang dengan bagian ujung tertutup maupun terbuka. Berdasarkan pengalaman bentuk ujung terbuka lebih menguntungkan dari segi kedalaman penetrasi yang dapat dicapai dan dapat dikombinasikan dengan pengeboran bila diperlukan, misalnya bila penetrasi tiang pada tanah berbatu. Selain itu tanah yang berada pada bagian dalam pipa dapat dikeluarkan dengan mudah dan dapat diisi kembali dengan beton jika diperlukan. Fondasi tiang baja profil ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Fondasi Tiang Baja Profil (rumah.com, 2020)

c. Fondasi tiang beton pracetak

Sesuai dengan namanya, pencetakan, proses *curing* dan penyimpanan tiang beton pracetak dilakukan di lapangan atau di pabrik sebelum dipancang. Bentuk penampang tiang jenis ini dapat bermacam – macam namun umumnya berbentuk lingkaran, bujur sangkar, segitiga, dan octagonal. Fondasi tiang beton pracetak harus direncanakan agar mampu menahan gaya dan momen lentur pada tiang yang timbul pada saat pengangkatan, mampu menahan tegangan yang timbul saat pemancangan, disamping beban rencana yang harus dipikul. Fondasi tiang beton pracetak ditunjukkan pada Gambar 2.9.

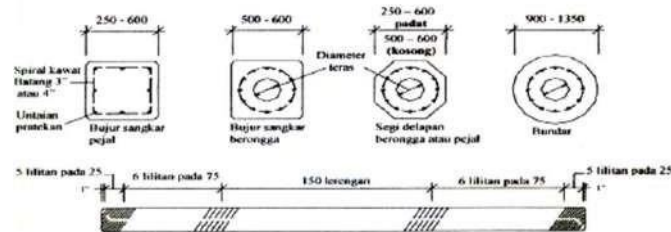


Gambar 2.9 Fondasi Tiang Beton Pracetak (Sosrodarsono dan Nakazawan 1990 dalam Lestari, Fajar dan Aula, 2019.)

d. Fondasi tiang beton pratekan

Tiang beton pratekan memiliki kekuatan yang lebih tinggi dan memperkecil kemungkinan kerusakan saat pengangkatan dan pemancangan. Tiang jenis ini sangat cocok untuk kondisi dimana dibutuhkan tiang yang panjang dan memiliki daya

dukung tinggi. Bagian tengah tiang dapat dibuat berlubang untuk menghemat berat tiang itu sendiri. Fondasi tiang beton pratekan ditunjukkan pada Gambar 2.10.

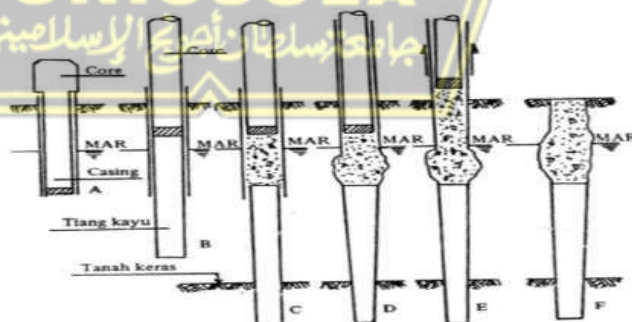


Gambar 2.10 Fondasi Tiang Beton Pratekan (Sosrodarsono dan Nakazawan 1990 dalam Lestari, Fajar dan Aula, 2019.)

e. Fondasi tiang komposit

Fondasi tiang komposit merupakan gabungan antara 2 (dua) material yang berbeda, misalnya material baja dengan beton atau material kayu dengan beton. Tiang komposit dapat berupa segmen – segmen yang menyambung, tetapi juga dapat berupa material beton yang dicor dalam pipa baja.

Permasalahan sambungan segmen terletak pada ikatan antara kedua material tersebut, terutama pada material kayu dan beton, sehingga jenis ini ditinggalkan. Sedangkan ikatan antara bahan baja dan beton cukup baik. Fondasi tiang komposit kayu dan beton ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Fondasi Tiang Komposit Kayu dan Beton

2.6.2 Fondasi tiang pancang menurut pemasangannya

1. Tiang pancang pracetak

Tiang pancang pracetak merupakan tiang pancang yang dicetak dan dicor di dalam bekisting setelah pancang kuat baru

bisa dilakukan pemancangan. Berikut cara pemancangan tiang pancang pracetak :

- a. Cara penumbukan : tiang pancang dipancang ke dalam tanah dengan cara ditumbuk menggunakan alat penumbuk yaitu *hammer*.
- b. Cara penggetaran : tiang pancang dipancang ke dalam tanah dengan cara penggetaran menggunakan alat yaitu *vibrator*.
- c. Cara penanaman : sebelum pemancangan, harus dibuat lubang di permukaan tanah sampai pada kedalaman yang telah ditentukan, barulah tiang pancang dimasukkan dan kemudian lubang ditimbun kembali dengan tanah. Ada beberapa metode dalam pelaksanaan penanaman, yaitu :
 - Dengan cara pengeboran, sebelum pemancangan, dilakukan pengeboran terlebih dahulu dipermukaan tanah, kemudian pancang dimasukkan lalu lubang ditimbun lagi dengan tanah.
 - Cara pengeboran ini, tiang pancang ditanamkan dengan mengeluarkan tanah dibagian dalam tiang.
 - Dengan cara tekanan, pemancangan tiang dilakukan dengan cara penekanan ke dalam pada tiang.
 - Cara pemancangan, dilakukan dengan cara fondasi menerima gangguan dari hal lain, yaitu semburan air yang keluar dari ujung dan dari sekeliling tiang, sehingga pemancangan tidak dapat dilakukan.

2. Tiang yang dicor di tempat (*cast in place pile*)

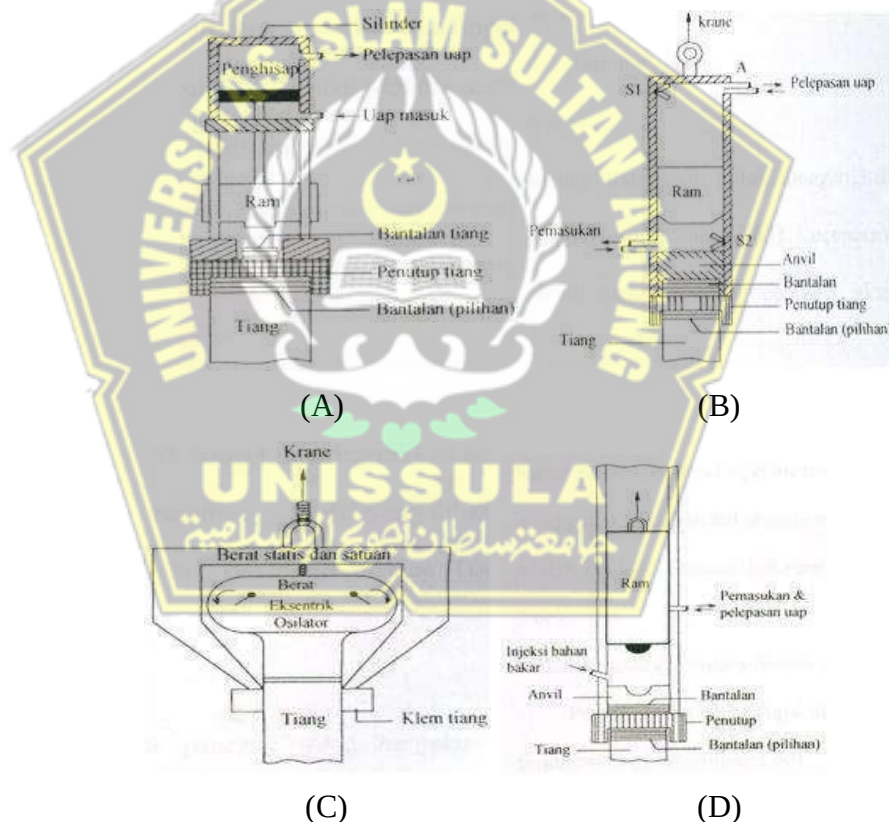
Menurut teknik penggaliannya ada beberapa macam metode yaitu :

- a. Cara penetrasi alas, cara ini dilakukan dengan pipa baja dipanjang ke dalam tanah lalu diisi dengan beton hingga terisi penuh.
- b. Cara penggalian, berikut cara penggaliannya:

- Penggalian dengan tenaga manusia yang dilakukan dengan tenaga manusia cara ini masih sangat sederhana yang umumnya dilakukan pada kedalaman tertentu.
- Penggalian dengan tenaga mesin, cara ini dilakukan dengan cara membuat lubang pada tanah menggunakan mesin yang lebih baik dan canggih.

2.6.3 Alat tiang pancang

Dalam pelaksanaan pemancangan di lapangan berbagai alat untuk pemancangan yaitu alat pemukul (*hammer*) mesin uap, alat pemukul getar atau alat pemukul yang hanya dijatuhkan. Berikut skema gambar macam-macam alat pemukul pancang. Skema alat pemukul tiang ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Skema Alat Pemukul Tiang : A. Pemukul aksi tunggal (*single acting hammer*), B. Pemukul aksi double (*double acting hammer*), C. Pemukul diesel (*diesel hammer*), D. Pemukul getar (*vibrator hammer*) (Hardiyatmo, 2018)

1. Pemukul jatuh (*drop hammer*)

Pemukul jatuh terdiri dari balok pemberat dimana nantinya balok ini yang akan dijatuhkan. Balok ditarik ke atas dengan tinggi jatuh tertentu lalu kemudian dilepas. Alat pemukul ini cenderung lambat untuk pekerjaannya sehingga alat ini hanya digunakan pada pemancangan yang kecil.

2. Pemukul aksi tunggal (*single acting hammer*)

Alat pemukul ini berbentuk memanjang dan terdapat ram yang bergerak naik oleh uap yang terkompresi, sedangkan gerakan turun disebabkan oleh beratnya sendiri. Energi pemukul aksi tunggal ini sama dengan berat ram dikalikan tinggi jatuh.

3. Pemukul aksi *double* (*double acting hammer*)

Pemukul aksi *double* menggunakan uap atau udara untuk mengangkat dan menjatuhkan ram. Kecepatan dan energi *output*-nya lebih tinggi daripada pemukul aksi tunggal.

4. Pemukul diesel (*diesel hammer*)

Pemukul diesel ini terdiri dari selinder, ram, balok anvil, dan sistem injeksi bahan bakar. Alat ini ringan, mudah digerakkan, pemukul diesel digerakkan menggunakan bahan bakar minyak. Total energi yang dihasilkan dari pemancangan adalah jumlah benturan dari ram ditambah dengan energi hasil ledakan.

5. Pemukul getar (*vibratory hammer*)

Pemukul getar (*vibrator hammer*) bekerja dengan cara tiang pancang dipancang dengan cara digetarkan dengan frekuensi yang tinggi.

2.6.4 Metode pelaksanaan fondasi tiang pancang

Penggunaan metode yang tepat harus memilih dari segi yang praktis, cepat dan aman, agar pekerjaan konstruksi disuatu proyek

berjalan dengan baik. Sehingga waktu, mutu dan biaya bisa terlaksana dengan baik.

A. Metode pelaksanaan harus memperhatikan beberapa hal yaitu :

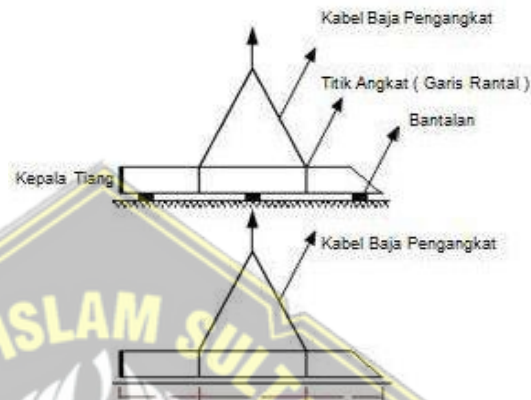
1. Terlebih dahulu menghitung daya dukung tanah dasar dari hasil penyelidikan. Menghitung nilai daya dukung yang diizinkan pada setiap kedalaman tertentu dengan memperhatikan faktor aman, agar penurunan dan keruntuhan yang terjadi tidak berlebihan.
2. Menentukan kedalaman, jenis fondasi, dan jenis fondasi tiang pancang. Untuk pemancangan kedalaman minimum harus diperhatikan dari segi erosi permukaan tanah, perubahan iklim dan perubahan kadar air. Apabila letak daya dukung tanah yang baik berada pada kedalaman minimum, maka perletakan fondasi sedikit lebih dalam dan ukuran pondasinya dikurangi, sehingga dapat menghemat biaya.
3. Ukuran kedalaman fondasi ditentukan dari daya dukung yang telah diizinkan. Apabila hasil perhitungan daya dukung ultimit dibagi faktor aman hasil penurunannya yang berlebihan, maka dimensi fondasi diubah sampai besar penurunan memenuhi syarat.

B. Tahapan-tahapan pekerjaan fondasi tiang pancang :

1. Pekerjaan persiapan
 - a. Memberi tanda dan tanggal pada setiap pancang yang sudah dicor. Untuk mempermudah pekerjaan, maka tiang pancang diberi tanda setiap 1 meter.
 - b. Pengangkatan atau pemindahan tiang pancang harus dilakukan dengan hati-hati agar tidak terjadi rusak atau retak.

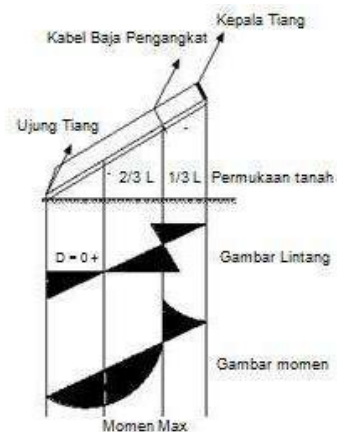
- c. Rencanakan pukulan terakhir pada kedalaman berapa tiang pancang berhenti dipancang berdasarkan data tanah dan data jumlah pukulan terakhir.
 - d. Rencanakan urutan alat pemancangan agar memberi kemudahan pada saat pelaksanaan pemancangan berlangsung.
 - e. Menentukan titik pancang dengan menggunakan alat *theodolite* dan kemudian ditandai dengan patok.
 - f. Pemancangan dapat berhenti apabila akan dilakukan penyambungan ketika kepala tiang pancang telah mencapai permukaan tanah, sedangkan tanah keras masih berada jauh dari yang diharapkan.
 - g. Berikut proses penyambungan tiang pancang:
 - Tiang diangkat kemudian kepala tiang dipasang pada helmet.
 - Ujung bawah tiang diletakkan diatas kepala tiang, sehingga sisi plat ke dua tiang telah menempel menjadi satu.
 - Penyambungan sambungan las dilapisi dengan anti karat
 - Dan tempat yang digunakan untuk penyambungan juga dilapisi dengan anti karat.
 - h. Setelah dilakukan penyambungan, pemancangan dapat dilanjutkan. Penyambungan dapat dilakukan sampai pemancangan sampai pada tanah keras.
 - i. Pemancangan dapat dihentikan apabila sudah mencapai pada tanah keras atau *final set* yang telah ditentukan
 - j. Kemudian lakukan pemotongan tiang pancang pada *cut off level* yang telah ditentukan.
2. Proses pengangkatan tiang pancang
- a. Metode pengangkatan dengan dua tumpuan dilakukan pada saat penyusunan tiang beton dari pabrik ke trailer

atau dari trailer ke lapangan pekerjaan. Jarak titik angkat dari kepala tiang adalah $\frac{1}{5} L$. Jarak ditentukan dengan memperhatikan momen maksimum pada bentang harus sama dengan titik momen minimum pada titik angkat tiang. Pengangkatan tiang dengan dua tumpuan ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Pengangkatan Tiang dengan Dua Tumpuan

- b. Metode dengan menggunakan satu tumpuan biasanya digunakan ketika tiang sudah siap dipancang sesuai dengan titik pemancangan yang telah ditentukan. Metode ini menggunakan jarak $\frac{1}{3} L$ dari kepala tiang ke titik anker dengan mempertimbangkan momen maksimum dari tempat pengikatan tiang, sehingga didapat nilai momen yang sama. Pengangkatan tiang dengan satu tumpuan ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Pengangkatan Tiang dengan Satu Tumpuan

3. Proses pemancangan

- a. Setelah alat pancang diletakan dengan benar dan tepat sehingga as *hammer* jatuh tepat pada titik pancang yang telah ditentukan.
- b. Tiang pancang diangkat pada titik angkat yang telah disediakan pada setiap lubang di permukaan tanah. Urutan pemancangan ditunjukkan pada Gambar 2.15.
- c. Tiang pancang diletakkan tepat disamping driving lead dan kepala tiang dipasangkan pada helmet yang telah dilapisi dengan kayu sebagai pelindung dan berfungsi sebagai pegangan kepala tiang agar tiang tetap berada pada posisinya.
- d. Sedangkan posisi ujung bawah tiang didudukan secara cermat diatas patok pancang yang telah ditentukan.
- e. Pengaturan vertikal dilakukan dengan mengatur pancang *backstay* dengan menggunakan alat *waterpass* sehingga posisi vertikal diperoleh dengan benar. Sebelum pemancangan dilakukan, bagian bawah tiang diklem dengan *center gate* agar posisi tiang tidak geser selama pemancangan dilakukan.
- f. Pelaksanaan pemancangan dimulai dengan mengangkat tiang dan menjatuhkan pukulan *hammer* secara kontinu ke atas *helmet* yang dipasang diatas kepala tiang.

4. Quality control

- a. Kondisi fisik tiang
 - Dipastikan seluruh permukaan tiang tidak rusak atau retak.
 - Umur beton cukup umur dan telah memenuhi syarat.
 - Selama pemancangan harus berhati-hati agar kepala tiang tidak mengalami keretakan.

b. Toleransi

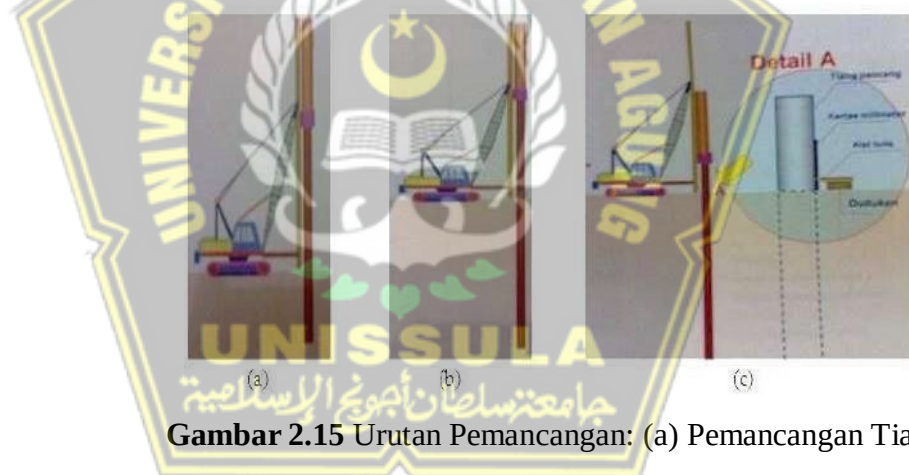
Vertikalisasi tiang diperiksa secara periodik selama proses pemancangan. Penyimpangan arah vertikal tidak boleh lebih dari 1:75 dan penyimpangan arah horisontal dibatasi tidak lebih dari 75 mm.

c. Penetrasi

Sebelum tiang dipancang tiang diberi tanda pada setiap setengah meter untuk mendeteksi penetrasi per setengah meter. Mencatat jumlah pukulan *hammer* untuk penetrasi setiap setengah meter.

d. *Final set*

Proses pemancangan dapat diberhentikan apabila sudah mencapai *final set* yang sudah diperhitungkan. Urutan pemancangan ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Urutan Pemancangan: (a) Pemancangan Tiang, (b) Penyambungan Tiang, (c) Kalendering / *Final set*

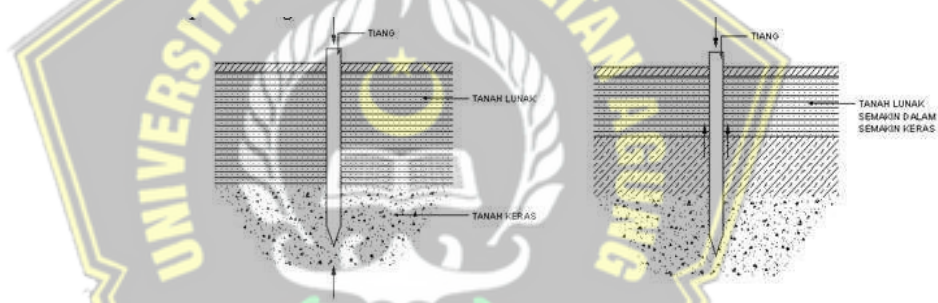
5. Tiang dukung ujung dan gesek

Tiang dukung ujung dan tiang gesek, mempunyai dua metode dari segi cara mendukung beban, (*Hardiyatmo, 2018*) yaitu sebagai berikut:

- a. Tiang dukung ujung (*end bearing pile*) merupakan tiang yang kapasitas daya dukunya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Tiang dukung ujung biasanya berada dalam tanah lunak yang berada diatas tanah keras. Tiang

pancang ini dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan tanah keras lainnya yang mampu mendukung beban yang sekiranya tidak terjadi penurunan yang berlebihan. Kapasitas daya dukung ujung tiang ditentukan oleh lapisan tanah keras yang berada di bawah ujung tiang yang diletakkannya. Tiang ditinjau dari cara mendukung beban ditunjukkan pada Gambar 2.16.

- b. Tiang gesek (*friction pile*) merupakan kapasitas tiangnya didukung oleh perlawanan gesek yang timbul antara dinding tiang dan tanah disekitarnya. Tahanan gesek dan pengaruh konsolidasi diperhitungkan dari hitungan kapasitas tiang. Tiang ditinjau dari cara mendukung beban ditunjukkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Tiang ditinjau dari Cara Mendukung Beban (Hardiyatmo, 2018)

2.6.5 Penggunaan fondasi tiang pancang beton

Penggunaan tiang pancang pada umumnya digunakan untuk menerima dan melanjutkan beban dari struktur atas ke lapisan tanah yang dalam dimana dapat dicapai daya dukung yang lebih baik, dan dapat digunakan pula untuk menahan gaya angkat akibat gaya apung air tanah, menahan gaya lateral maupun gaya gempa.

Pada tanah yang lunak penggunaan fondasi tiang umumnya untuk menghindari penurunan yang berlebihan sedangkan penggunaan tiang miring lebih ditujukan untuk menahan gaya lateral. Fondasi tiang pancang juga dapat digunakan untuk menahan galian (sebagai *soldier pile*) dan menahan longsor.

Keuntungan dan kerugian pemakaian tiang pancang beton pracetak, antara lain :

a. Keuntungan :

1. Bahan dapat diperbaiki sebelum tiang pemancangan
2. Prosedur pelaksanaan tidak dipengaruhi oleh air tanah
3. Tiang dapat dipancang sampai kedalaman yang dalam
4. Pemancangan tiang dapat menambah kepadatan tanah granuler
5. Pekerjaan yang lebih cepat

b. Kerugian :

1. Penggembungan permukaan tanah dan gangguan tanah akibat pemancangan dapat menimbulkan masalah.
2. Kepala tiang kadang-kadang pecah akibat pemancangan.
3. Pemancangan sulit, bila diameter tiang terlalu besar.
4. Banyaknya tulangan dipengaruhi oleh tegangan yang terjadi pada waktu pengangkutan dan pemancangan tiang.

2.7 Kapasitas Daya Dukung Aksial Tanah Fondasi

2.7.1 Daya dukung tanah fondasi dari hasil sondir

Diantara perbedaan tes di lapangan, tes sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT) merupakan test yang sangat dipertimbangkan. Tes sondir merupakan tes yang sangat cepat dilakukan dan mempunyai hasil yang akurat karena dilakukan pengukuran secara terus menerus dari permukaan tanah – tanah keras. Tes sondir dapat juga untuk menentukan dan mengklasifikasikan lapisan tanah yang mampu menahan beban dan dapat dilihat dari jenis tanahnya. Dalam merencanakan fondasi tiang pancang, data tanah sangat diperlukan untuk merencanakan kapasitas dukung dari tiang pancang sebelum pekerjaan dimulai dan untuk menentukan daya dukung ultimit tiang. Berikut persamaan daya dukung ultimit :

$$Q_u = Q_b + Q_s = q_b \cdot A_b + f \cdot A_s \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan :

Q_u = Kapasitas daya dukung aksial ultimit tanah fondasi tiang pancang

Q_b = Kapasitas tahanan di ujung tiang

Q_s = Kapasitas tahanan selimut tiang

q_b = Kapasitas daya dukung di ujung tiang persatuan luas

A_b = Luas di ujung tiang

F = Satuan tahanan selimut persatuan luas

A_s = Luas selimut tiang pancang

Untuk menentukan kapasitas daya dukung aksial ultimit (Q_u) digunakan metode *Aoki dan De Alencar*. Kapasitas dukung ujung persatuan luas (q_b) diperoleh sebagai berikut:

$$q_b = \frac{q_{ca}(base)}{F_b} \quad (2.2)$$

Dengan :

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

F_b = Faktor empirik tergantung pada tipe tanah.

Berikut persamaan rumus dari tahanan selimut persatuan luas (f):

$$f = q_c(side) \frac{a_s}{F_s} \quad (2.3)$$

Dengan:

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

F_s = Faktor empirik tahanan selimut yang tergantung pada tipe tanah.

A_s = Nilai faktor empirik (%)

Berikut faktor F_b dan F_s bisa di lihat pada tabel 2.4 di bawah ini :

Tabel 2.4 Faktor Empirik F_b dan F_s

Jenis	F_b	F_s
Tiang Bor	3,5	7,0

Jenis	Fb	Fs
Baja	1,75	3,5
Beton Perekat	1,75	3,5

(Sumber : Titi & Farsakh, 1999)

Berikut nilai-nilai faktor empirik α_s bisa di lihat pada Tabel 2.5 dibawah ini :

Tabel 2.5 Nilai Faktor Empirik untuk Tipe Tanah yang Berbeda

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 pasir	3,0
Pasir berlempung dengan lanau	2,8	Lanau berlempung dengan pasir	3,0	Lempung berlanau	4,0
Pasir berlempung	3,0	Lanau berlempung	3,4	Lempung	6,0

(Sumber : Titi & Farsakh, 1999)

Nilai α s untuk pasir = 1,4 persen, nilai α s untuk lanau = 3,0 persen dan nilai α s untuk lempung = 6,0 persen. Untuk menghitung daya dukung tiang pancang didapat dari data hasil pengujian sondir yang dilakukan menggunakan metode meyerhof. Berikut rumus daya dukung *ultimate* tanah fondasi :

$$Q_{ult} = (q_c \times A_p) + (JHL \times Kll) \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan:

Q_{ult} = Kapasitas daya dukung *ultimate* tiang pancang tunggal

q_c = Tahanan ujung sondir

A_p = Luas penampang tiang

JHL = Jumlah hambatan lekat

Kll = Keliling tiang

Daya dukung ijin fondasi dinyatakan dengan rumus:

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} - W_p \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan:

Q_{all} = Kapasitas daya dukung ijin fondasi

Q_{ult} = Kapasitas daya dukung *ultimate* tiang fondasi

SF = Faktor keamanan = 3

W_p = Berat tiang

2.7.2 Metode Reese & Wright 1977

a. Daya Dukung Aksial pada Ujung Tiang

Menurut *Reese & Wright* daya dukung pada ujung tiang dinyatakan dengan rumus berikut:

$$Q_p = A_p \times q_p \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan:

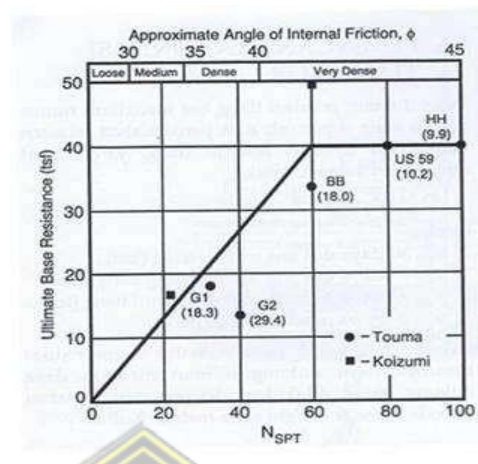
Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

q_p = Tahanan ujung persatuan luas (ton/m^2)

Pada metode *Reese & Wright* (1977), besarnya nilai tahanan ujung persatuan luas (q_p) diambil sebesar 9 kali kuat geser tanah, sedangkan untuk tanah non kohesif menggunakan

korelasi antara q_p dan N-SPT yang ada pada Gambar 2.17 berikut:



Gambar 2.17 Grafik Hubungan Tahanan Ujung Ultimit dengan N_{SPT} pada Tanah Non-Kohesif (Reese & Wright, 1977)

Untuk mendapatkan nilai q_p pada tanah kohesif dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$C_u = N_{SPT} \times \frac{2}{3} \times 10 \dots\dots\dots(2.7)$$

$$q_p = 9 \times C_u \dots\dots\dots(2.8)$$

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

Sedangkan untuk mendapatkan nilai Q_p pada tanah non-kohesif dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

Untuk $N \leq 60$, maka :

$$Q_p = 7 \times \frac{N_1 + N_2}{2} \times A_p \dots\dots\dots(2.10)$$

b. Daya Dukung Aksial pada Selimut Tiang

Daya dukung *ultimit* selimut tiang dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_s = F \times L_i \times k_{ll} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan :

Q_s = Daya dukung *ultimate* selimut tiang (ton)

F = Gesekan selimut persatuan luas (ton/m^2)

L_i = Panjang kedalaman (m)

k_{ll} = Keliling penampang tiang (m)

Metode (Reese & Wright, 1977), gesekan selimut tiang persatuan luas dapat ditentukan dan dipengaruhi oleh jenis tanah dan parameter kuat geser tanah.

Untuk tanah kohesif nilai f bisa didapatkan menggunakan rumus:

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

Untuk tanah non-kohesif nilai f bisa didapatkan menggunakan rumus:

$$f = 0,32 \times N_{SPT} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan :

F = Gesekan selimut tiang (ton/m^2)

A = Faktor adhesi

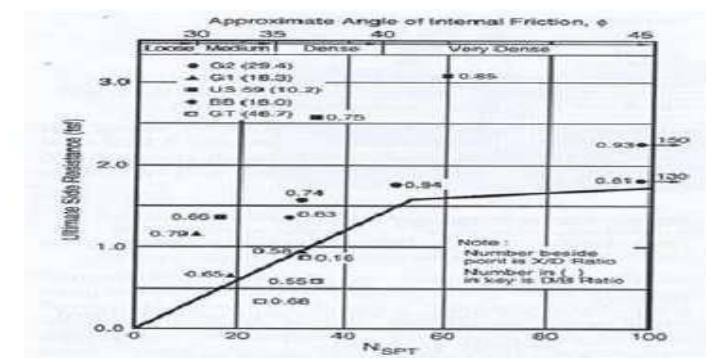
- Menurut penelitian (Reese & Wright, 1977) $\alpha = 0,55$

- Dan menurut penelitian (Kullway 1984), berdasarkan Grafik *Undrained Shearing Resistance VS Adhesion Factor*

C_u = Kohesi tanah (ton/m^2)

N_{SPT} = Nilai SPT per lapis tanah

Berdasarkan penelitian Reese & Wright, faktor adhesi dapat diambil dengan nilai 0,55. Dan pada tanah non kohesif, nilai f untuk $N < 53$ bernilai 0,32 N (ton/m^2) dan untuk $53 < N \leq 100$ maka nilai f diperoleh dari korelasi langsung dengan N_{SPT} seperti pada Gambar 2.18 berikut:



Gambar 2.18 Grafik Hubungan Tahanan Selimut dengan N_{SPT} (Reese & Wright, 1977 dalam Hardiyatmo, HC 2018)

2.7.3 Metode Meyerhof

Perhitungan kapasitas daya dukung tanah fondasi menurut metode Meyerhof menggunakan data SPT terbagi menjadi dua persamaan, yaitu persamaan untuk tanah kohesif dan persamaan untuk tanah non-kohesif. Oleh karena itu perlu dilakukan pengecekan terhadap kohesifitas tanah sebelum dilakukan perhitungan. Pengelompokkan tanah berdasarkan sifat kelekatan adalah sebagai berikut :

1. Tanah kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat kelekatan antara butir-butirnya. Misalnya tanah lempung = mengandung lempung yang cukup banyak.
2. Tanah non kohesif adalah tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antara butir-butirnya. Hampir tidak mengandung lempung misalnya pasir.

Maka persamaan meyerhof untuk tanah kohesif adalah sebagai berikut :

- Untuk Daya Dukung Ujung (Q_p)

$$C_u = N\text{-SPT} \times 2/3 \times 10 \dots\dots\dots (2.14)$$

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan :

Q_p = Daya dukung ujung tiang (kN)

C_u = Kohesi tanah (kN/m²)

A_p = Luas penampang tiang (m²)

- Untuk Daya Dukung Selimut Tiang (Q_s)

$$Q_s = \alpha \times C_u \times k_{ll} \times L_i \dots\dots\dots (2.16)$$

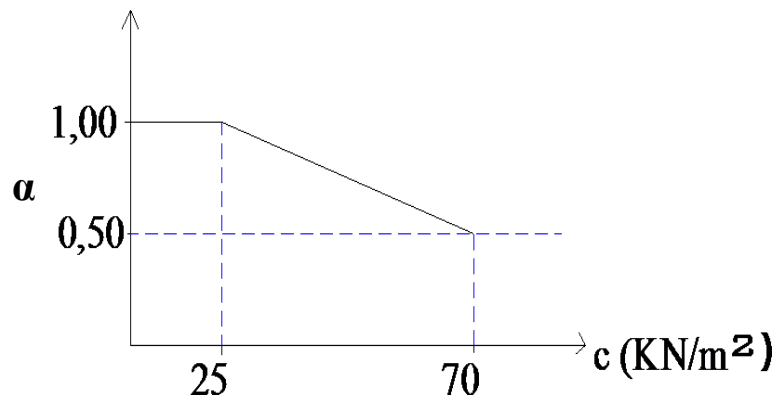
Dengan :

Q_s = Daya dukung selimut tiang (kN)

α = Faktor adhesi (berdasarkan grafik hubungan antara kohesi tanah dengan α)

k_{ll} = Keliling tiang (m)

L_i = Tebal lapisan tanah ke-i (m)



Gambar 2.19 Grafik Hubungan antara Kohesi Tanah (c_u) dengan Faktor Adhesi (α) (Hardiyatmo, HC. 2018)

Persamaan Meyerhof untuk tanah non-kohesif adalah sebagai berikut :

- Untuk daya dukung ujung tiang (Q_p)
 $Q_p = 40 N_b \times A_p \dots \dots \dots (2.17)$

Dengan :

Q_p = Daya dukung ujung tiang (kN)

N_b = Nilai rata – rata N-SPT pada 8D (Nilai N-SPT pada 8D di atas ujung tiang) dan 4D (Nilai N-SPT pada 4D di bawah ujung tiang)

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

- Untuk daya dukung selimut tiang (Q_s)
 $Q_s = 0,2 N-SPT \times P \times L_i \dots \dots \dots (2.18)$

Dengan :

Q_s = Daya dukung selimut tiang (kN)

P = Keliling penampang tiang (m)

L_i = Tebal Lapisan tanah ke-i (m)

2.7.4 Metode US army corps

Menurut *U.S Army Corps* daya dukung ujung dan daya dukung selimut satuan luas bertambah secara linier dengan kedalaman, dan kemudian konstan pada kedalaman Z_c . (Hardiyatmo, 2018)

Nilai kedalaman kritis (Z_c) bergantung pada kepadatan tanah, yaitu:

- $Z_c \geq 10D$ untuk tanah longgar
- $Z_c \geq 15D$ untuk tanah kepadatan sedang
- $Z_c \geq 20D$ untuk tanah padat

Berikut persamaan untuk daya dukung ujung tiang menurut *U.S Army Corps* :

$$Q_b = A_b \times f_b \dots\dots\dots(2.19)$$

$$f_b = P_b' \times N_q \dots\dots\dots(2.20)$$

Dengan :

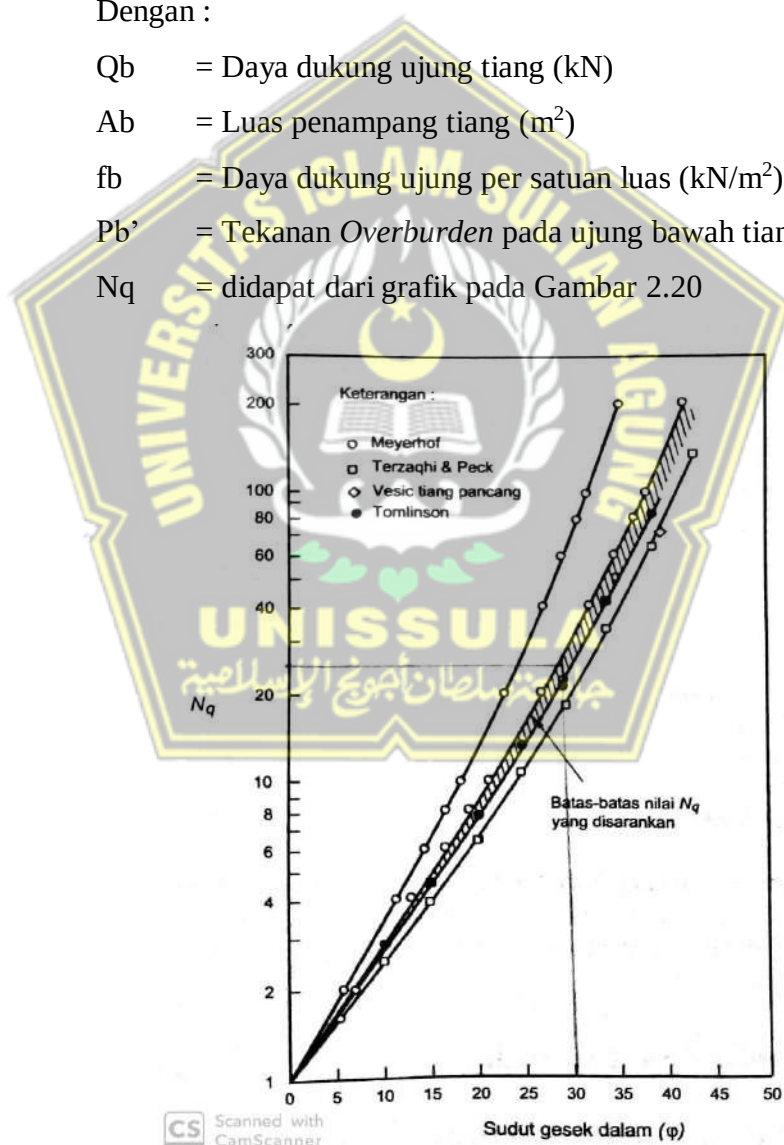
Q_b = Daya dukung ujung tiang (kN)

A_b = Luas penampang tiang (m^2)

f_b = Daya dukung ujung per satuan luas (kN/m^2)

P_b' = Tekanan *Overburden* pada ujung bawah tiang (kN/m^2)

N_q = didapat dari grafik pada Gambar 2.20



Gambar 2.20 Grafik Hubungan Sudut Gesek Dalam (ϕ) dengan N_q (Hardiyatmo, 2018)

Berikut persamaan untuk daya dukung selimut tiang menurut *U.S Army Corps* :

$$Q_s = A_s \times f_s \dots\dots\dots(2.21)$$

$$f_s = K_d \times P_o' \times \tan \delta \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana :

Q_s = Daya dukung selimut tiang (kN)

A_s = Luas penampang tiang (m^2)

F_s = Daya dukung selimut per satuan luas (kN/m^2)

K_d = Nilai koefisien tekanan tanah untuk tiang tekan (didapat pada Tabel 2.6)

Δ = $\phi' =$ sudut gesek efektif ($^\circ$) (didapat pada tabel 2.7)

P_o' = Tekanan *overburden* efektif yang besarnya sama dengan tekanan *overburden* efektif untuk $Z \leq Z_c$ dan sama dengan besarnya untuk tekanan *overburden* kritis untuk $Z > Z_c$.

Tabel 2.6 Nilai K_d

Tanah	K_d	K_t
Pasir	1,0 - 2,0	0,5 - 0,7
Lanau	1	0,5 - 0,7
Lempung	1	0,7 - 1,0

(Sumber : Hardiyatmo, 2018)

$\phi' =$ sudut gesek efektif ($^\circ$) di bawah ini tabel mengenai sudut gesek efektif untuk setiap bahan dari baja, beton dan kayu lihat tabel dibawah ini

Tabel 2.7 Nilai Sudut Gesek Efektif

Bahan Tiang	Δ
Tiang Baja	$0,67 \phi' - 0,83 \phi'$
Tiang Beton	$0,90 \phi' - 1,00 \phi'$
Tiang Kayu	$0,80 \phi' - 1,00 \phi'$

(Sumber : Hardiyatmo, 2018)

Untuk mencari tekanan *overburden* efektif *U.S Army Corps* menggunakan persamaan berikut :

- Untuk $Z =$ Kedalaman muka air tanah

$$Po' = Z_{MAT} \times \gamma_{dry} \dots \dots \dots (2.23)$$

- Untuk $Z_c \geq$ Kedalaman yang sudah dikalikan diameter tiang

$$Po' = (Z_{MAT} \times \gamma_{dry}) + (Z_c \times \gamma') \dots \dots \dots (2.24)$$

Dengan :

- Z_{MAT} = Kedalaman muka air tanah (m)
- γ_{dry} = Massa jenis tanah kering (kN/m³)
- γ' = Massa jenis tanah efektif (kN/m³)

2.7.5 Daya dukung berdasarkan kekuatan bahan

Fondasi suatu bangunan sangat penting untuk diperhitungkan daya dukungnya. Salah satunya adalah daya dukung kekuatan bahan dari fondasi tersebut. Agar dalam perencanaan fondasi aman dan awet di segala kondisi di dalam tanah. Berikut persamaan untuk daya dukung ijin berdasarkan kekuatan bahan :

$$P = (A_p \times T_{bk}) + (A_s \times \tau) \dots \dots \dots (2.25)$$

Dengan :

- P = Daya dukung ijin (kN)
- A_p = Luas penampang tiang (m²)
- T_{bk} = Tegangan ijin beton (kN/m²)
- A_s = Luas tulangan tiang (m²)
- τ = Tegangan ijin tulangan (kN/m²)

2.7.6 Metode Meyerhof

Meyerhof (1995) memberikan solusi untuk tiang kaku (rigid) dan tiang fleksibel pada tanah pasir berdasarkan kekakuan relative K_r untuk tanah pasir :

Jika $K_r = \frac{E_p I_p}{E_s L^4} \geq 0,1$ maka termasuk dalam tiang pendek (kaku),

sehingga :

$$H_{u(g)} = 0,125 \gamma D L^2 K_b$$

Jika $Kr = \frac{E_p I_p}{E_s L^4} \geq 0,01$, maka termasuk dalam tiang pendek (kaku).

Beban lateral dapat dihitung dengan persamaan mensubstitusikan panjang tiang efektif (L_e) Untuk L.

$$L_e = 1,65 K_r^{0,12}$$

$$Q_{u(g)} = 0,125 \gamma D L_e^2 K_b$$

Dengan :

γ = berat volume tanah

D = diameter tiang (m)

L = panjang tiang tertanam

K_b = koefisien tekanan tanah lateral ($k_p - k_a$) . Sbu

$K_p = \tan^2(45 + \Phi/2)$

$K_a = \tan^2(45 - \Phi/2)$

Sbu = factor bentuk tiang pancang

Defleksi tiang : $y_o = \frac{I_{yh}^H}{E_t L_e}$

Dengan :

y_o = defleksi tiang (mm)

I_{yh}^H = faktor pengaruh untuk H_u

$L_e = 2,3 kr^{0,2} L$

2.8 Kapasitas Daya Dukung Lateral Tanah Fondasi

Dalam analisis gaya lateral, tiang menurut model ikatannya dibedakan menjadi 2 yaitu tiang ujung jepit (*fixed end pile*) dan tiang ujung bebas (*free end pile*). Model ikatan tersebut sangat mempengaruhi kelakuan tiang dalam mendukung beban lateral. Mc Nulty (1956) mendefinisikan tiang ujung jepit sebagai tiang yang ujung atasnya terjepit (tertanam) dalam pelat penutup kelapa tiang paling sedikit sedalam 60 cm (24 inchi) dan sebaliknya tiang ujung bebas adalah tiang yang bagian atasnya tidak terjepit atau terjepit namun kurang dari 60 cm. (Mc Nulty 1956 dalam Kawengian, Sabrina, dkk. 2018).

2.8.1 Metode Broms

Menurut metode Broms (1964) menghitung tahanan maksimum akibat gaya lateral baik *rigid piles* maupun *long piles*

yang berada pada lapisan tanah homogen dan murni berupa tanah kohesif atau granuler. Dengan persamaan :

$$H_u = \frac{2 \times M_y}{e + \frac{2F}{3}} \quad (2.26)$$

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

Dengan :

H_u = Daya dukung lateral tiang (kN)

M_y = Momen maksimum yang dapat ditahan tiang (kNm)

γ = berat volumen tanah (kN/m³)

d = diameter tiang (m)

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

K_p = koefisien tekanan tanah pasif

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

Nilai H_u juga dapat diperoleh dengan menggunakan grafik pada gambar 2.21.



Gambar 2.21 Grafik Daya Dukung Lateral Ultimit (Broms 1964 dalam Kawengian, Sabrina, dkk. 2018)

$$\frac{H_u}{K_p \times D^3 \times \gamma} = \text{Nilai dari grafik} \quad (2.28)$$

$$\frac{M_y}{D^4 \gamma K_p} = H_u \quad (2.29)$$

2.9 Menentukan Jumlah Fondasi Tiang Pancang dan Jarak Tiang

2.9.1 Jumlah Fondasi tiang pancang (*driven pile*)

Jumlah tiang yang diperlukan pada suatu perencanaan tiang pancang yang diperlukan, dihitung dengan membagi gaya aksial yang terjadi dengan daya dukung tiang.

$$n_p = \frac{P}{Q_{all}} \dots\dots\dots(2.30)$$

Dengan :

n_p = jumlah tiang

P = gaya aksial yang terjadi

Q_{all} = daya dukung ijin tiang

2.9.2 Menentukan jarak tiang

Jarak antar as tiang pancang kelompok (*group pile*) :

a. Syarat jarak tiang (as ke as)

$$2,5D \leq S \leq 3D \dots\dots\dots(2.31)$$

b. Syarat jarak as tiang ke tepi

$$S < 1,25D \dots\dots\dots(2.32)$$

2.10 Kapasitas Kelompok Tiang dan Efisiensi Fondasi Tiang Pancang

Persamaan dari efisiensi tiang dengan formula sederhana yang didasarkan pada jumlah daya dukung gesekan dari kelompok tiang sebagai satu kesatuan (blok).

$$Eg = \frac{2(m+n-2).S + 4D}{p.m.n} \dots\dots\dots(2.33)$$

Dengan :

m = jumlah tiang pada deretan baris

n = jumlah tiang pada deretan kolom

s = jarak antar tiang

D = diameter atau sisi tiang

P = keliling dari penampang tiang

Menurut Coverse – Labare

$$Eg = 1 - \left[\frac{(n_1 - 1).n_2 + (n_2 - 1).n_1}{90.n_1.n_2} \right] . \theta \dots\dots\dots(2.34)$$

Dengan :

n_1 = jumlah baris tiang

n_2 = jumlah tiang dalam satu baris

s = jarak antar tiang

D = diameter atau sisi tiang

θ = $\tan^{-1}(D/s)$ ($^{\circ}$)

2.11 Penurunan Fondasi Tiang Pancang

2.11.1 Penurunan fondasi tiang tunggal

Menurut *Vesic (1977)*, penurunan elastis di tiang tunggal dapat dihitung dengan rumus seperti di bawah ini :

$$Se = Se_{(1)} + Se_{(2)} + Se_{(3)} \dots\dots\dots (2.35)$$

Dengan :

Se = Total penurunan tiang pancang (mm)

$Se_{(1)}$ = Penurunan elastis tiang pancang (mm)

$Se_{(2)}$ = Penurunan tiang pancang dikarenakan beban pada ujung tiang (mm)

$Se_{(3)}$ = Penurunan tiang pancang dikarenakan beban yang ditransmisikan sepanjang kulit tiang (mm)

Total penurunan (Se) didapat dengan hasil penjumlahan satu persatu perhitungan $Se_{(1)}$, $Se_{(2)}$ dan $Se_{(3)}$ dengan persamaan sebagai berikut :

- Nilai $Se_{(1)}$ diperoleh dari :

$$Se_{(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p \times E_p} \dots\dots\dots (2.36)$$

- Untuk nilai $Se_{(2)}$ diperoleh dari :

$$Se_{(2)} = \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p} \dots\dots\dots (2.37)$$

- Dan untuk nilai $Se_{(3)}$ diperoleh dari :

$$Se_{(3)} = \frac{Q_{ws} \times C_s}{L \times q_p} \dots\dots\dots (2.38)$$

Dengan :

Q_{wp} = Daya dukung ijin ujung tiang (kN)

Q_{ws} = Daya dukung ijin selimut tiang (kN)

ξ = 0,5 – 0,67

L = Panjang tiang pancang (m)

A_p = Luas penampang tiang pancang (m²)

E_p = Modulus Elastisitas

C_p = Nilai koefisien (dari tipe tanah berdasarkan jenis fondasi)

C_s = Konstanta empiris $(0,93 + 0,16 \sqrt{L/D}) \times C_p$

D = Diameter tiang pancang (m)

q_p = Daya dukung ujung tiang per satuan luas (kN/m^2)

Tabel 2.8 Nilai Koefisien C_p

Jenis Tanah	Tiang Pancang	Tiang Bor
Pasir (padat hingga lepas)	0,02-0,04	0,09-0,18
Lempung (teguh hingga lunak)	0,02-0,03	0,03-0,06
Lanau (padat hingga lepas)	0,03-0,05	0,09-0,12

(Sumber : Manual Fondasi Tiang)

Untuk mengetahui interval nilai modulus elastisitas pada jenis tanah bisa dilihat pada tabel 2.9 dibawah ini

Tabel 2.9 Interval Nilai Modulus Elastisitas untuk Berbagai Tanah

Jenis Tanah	Harga Modulus Elastisitas	
	Kg/cm^2	Psi
Tanah liat sangat lunak	3,5-30	50-400
Tanah liat lunak	20-50	250-600
Tanah liat sedang	40-80	600-1200
Tanah liat keras	70-180	1000-2500
Tanah liat berpasir	300-400	4000-6000
Pasir berlanau	70-200	1000-3000
Pasir lepas	100-250	1500-3500
Pasir padat	500-800	7000-12000
Pasir padat dan grosok	1000-2000	14000-28000

(Sumber : Fondasi Tiang Pancang Jilid II)

2.11.2 Penurunan fondasi kelompok tiang

Penurunan kelompok tiang umumnya lebih besar daripada penurunan fondasi tiang tunggal karena pengaruh tegangan pada daerah yang lebih luas dan lebih dalam. Vesic memberikan persamaan sederhana sebagai berikut :

$$S_g = S \cdot \sqrt{\frac{B_g}{D}} \dots\dots\dots (2.39)$$

Dengan :

S_g = penurunan kelompok tiang (cm)

S = penurunan fondasi tiang tunggal (cm)

B_g = lebar kelompok tiang (cm)

D = diameter atau sisi tiang tunggal (cm)

2.12 Analisa Pembebanan Menggunakan SAP2000

Analisa beban pada Proyek Pembangunan Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik) dihitung menggunakan SAP2000. Untuk mengetahui besarnya beban tiap kolom yang didapat dari hasil reaksi tiap kolomnya. Hasil pembebanan pada SAP2000 digunakan untuk perhitungan daya dukung fondasi.

Program SAP2000 adalah program yang berasal dari University of California, Berkeley, USA. Pada tahun 1970. Setiap tahun SAP telah mengalami perubahan sesuai perkembangan teknologi. Berawal dari SAP berupa *under DOS* hingga SAP versi *under Window*. Untuk meningkatkan pelayanan maka pada tahun 1975 program SAP terbentuk perusahaan komputer yang bernama CSI (*Computer and Structure inc*).

Keutamaan Program SAP2000 dilihat dari sudut perancangan struktur baja dan beton digunakan untuk merancang elemen struktur dengan menggunakan profil baja yang optimal dan ekonomis.

Untuk metode pembebanan bangunan untuk SAP2000 perlu digunakannya acuan dalam prinsip perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung (SNI 1727-1989), tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung (SNI 2847 - 2013) dan tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung (SNI 1726-2012).

Beban mati yaitu berat dari semua bahan konstruksi yang telah dipasang seperti pada dinding, lantai, atap, *plafond*, tangga dan komponen arsitektur dan struktur lain. Pada pemodelan dengan menggunakan

SAP2000 berat sendiri material secara langsung terhitung oleh program SAP2000.

Fungsi ruang yang digunakan bergantung pada lantai bangunan yang telah bekerja pada beban hidup. Nilai besar kecilnya beban hidup lantai bangunan menurut SNI 1727-2013 berisi tentang beban minimum pada perencanaan bangunan gedung dan struktur lain sebesar 2,50 kN/m² untuk bangunan apartemen dan asrama.

Beban gempa dalam SAP2000 dihitung supaya bangunan tetap aman dari adanya gempa yang kemungkinan akan terjadi, untuk merencanakan bangunan tahan gempa digunakan pedoman – pedoman sesuai SNI 1726 – 2012 tentang beban gempa.

2.13 Analisa Menggunakan Program Bentley Geostрукtural Analysis

Program *Bentley Geostрукtural Analysis* ini digunakan untuk menentukan berapa besar daya dukung fondasi tiang pancang tunggal hingga daya dukung fondasi kelompok tiang pada proyek pembangunan Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik).

Bentley Geostрукtural Analysis merupakan program yang fokus pada bidang geoteknik. *Bentley Geostрукtural Analysis* diproduksi oleh FINE Software dan dikeluarkan pada awal tahun 2009. Program ini sangat cocok untuk solusi masalah geoteknik dan membantu para ahli geoteknik dalam mempermudah perencanaan yang berkaitan dengan tanah. Aplikasi ini mencakup analisis stabilitas lereng, perencanaan bangunan bawah tanah seperti terowongan, perencanaan fondasi, dinding penahan tanah (*Retaining Wall*) dan lain sebagainya.

Bentley Geostрукtural Analysis dapat menghitung dan menganalisis dalam waktu yang singkat, akurat dan tepat. *Bentley Geostрукtural Analysis* dilengkapi dengan peraturan standar analisis seperti Peraturan Standar dari Denmark, American Concrete Institute (ACI), selain itu perencana dapat mengatur peraturan sesuai dengan standar yang dipakai di Negeranya.

2.14 Analisa Menggunakan Program Allpile

Program *Allpile* ini digunakan untuk menentukan berapa besar penurunan yang terjadi pada Proyek Pembangunan Gedung MPP (Mall

Pelayanan Publik) terutama pada perencanaan penggunaan Fondasi Tiang Pancang, dan sebagai pembanding hasil perhitungan manual.

Program *Allpile* adalah program teknik sipil yang bertujuan mendesain fondasi secara sederhana dengan hasil output meliputi *Total Ultimate Capacity (Down)*, *Total Ultimate Capacity (Up)*, *Total Allowable Capacity (Down)*, *Total Allowable Capacity (Up)*, *Settlement*, *At Work Load*, *Secant Stiffness Kqx*, *Allowable Settlement*, *Capacity*, *Factor Safety*. Proses kalkulasinya dilakukan berdasarkan pada prosedur numerik yang baku. Program *Allpile* dibagi menjadi tujuh program yang masing-masing program mempunyai fungsi yang berbeda-beda, yaitu :

1. *Pile Type*

Yang berisi tipe fondasi dan judul pekerjaan yang dapat diisi nama pekerjaan atau informasi.

2. *Pile Profile*

Yang berisi data-data *pile* meliputi panjang *pile*, jarak dari permukaan tanah, kemiringan *pile*, serta kemiringan permukaan tanah.

3. *Pile Properties*

Yang berisi data-data properti dari *pile* yang digunakan meliputi diameter, material, inersia dll.

4. *Load and Group*

Bagian ini berisi besarnya pembebanan yang diterima *pile*. *Allpile* menyediakan beberapa pilihan perhitungan baik itu *single pile* ataupun *group piles*. Juga menyediakan berbagai pilihan beban.

5. *Soil Properties*

Yang berisi data tanah tempat fondasi yang akan dipancang. Isinya sesuai data tanah yaitu nilai N-SPT dan juga muka air tanah.

6. *Advanced Page*

Yang dapat digunakan salah satunya apabila terjadi *zero skin friction* pada kedalaman tertentu atau menginput besarnya tip *resistance* (tahanan ujung). Juga ada pilihan untuk menentukan angka keamanan yang diinginkan.

7. *Vertical*

toolbar untuk me-*Run* atau hasil *ouput Allpile* dari memasukkan data mulai dari *pile type* sampai *advanced page*.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Penyusunan tugas akhir ini bertujuan untuk merencanakan dan menganalisis fondasi tiang pancang (*driven pile*) pada proyek Pembangunan Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik) yang berlokasi : Jl. Paramedis Area Simpang Lima Grobogan, terdiri dari 3 lantai termasuk *roof* dan *basement*. Untuk menganalisa beban pada Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik) yaitu menggunakan *software SAP2000*, guna untuk mengetahui besarnya reaksi yang terjadi pada kolom akibat adanya beban bangunan. Perhitungan fondasi tiang pancang dihitung secara manual maupun menggunakan program *Bentley Geostuctural Analysis* dan *Allpile*.

3.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dapat berupa data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung melalui penelitian observasi atau secara langsung dari pihak pertama. Sedangkan data sekunder adalah data yang didapat berdasarkan dari penelitian secara tidak langsung seperti melalui media perantara yang sudah ada sebelumnya, atau dapat juga didapat dari pustaka-pustaka dan data-data teknis yang diperoleh dari instansi terkait. Dalam pembuatan tugas akhir ini menggunakan data sekunder yang didapat dari hasil penyelidikan tanah yaitu berupa data SPT serta gambar denah fondasi yang digunakan untuk perhitungan perencanaan dan analisa fondasi.

3.2.1 Data primer

Ada beberapa hasil yang didapat setelah pengamatan, Berikut hasil survei pengamatan langsung di lapangan :

- Kondisi lokasi proyek pembangunan Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik) Grobogan.
- Kondisi bangunan-bangunan yang berada di sekitar lokasi proyek
- Denah lokasi perencanaan.

3.2.2 Data sekunder

Klasifikasi data sekunder meliputi literatur-literatur yang dibutuhkan, grafik, tabel dan data tanah yang berkaitan erat dengan perencanaan dan analisis pembangunan Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik). Data Utama Proyek Pembangunan Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik) sebagai berikut :

a. Data Proyek

- Nama Proyek : Belanja Modal Pengadaan Konstruksi Pembangunan Gedung MPP
- Fungsi Bangunan : Pelayanan Publik
- Pemilik Proyek : Dinas Penanaman Modal Dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Kabupaten Grobogan
- Jumlah Lantai : 3 lantai
- Lokasi : jl. Paramedis Area Simpang Lima Grobogan.
- Struktur Bangunan : Konstruksi Rangka Beton Bertulang.
- Struktup Atap : Konstruksi Beton Dak.
- Fondasi : *Tiang Pancang*

b. Data Teknis Proyek

- Mutu Beton
 - *Tiang Pancang* : f'c 30 MPa
 - Plat lantai, balok : f'c 30 MPa
 - Kolom, *Shearwall*, *Pile cap* : f'c 30 MPa
 - Tangga f'c 30 Mpa
 - Beton nonstruktural f'c 15 MPa
- Mutu Tulangan
 - $F_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$ (ulir $d > 10 \text{ mm}$)
 - $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ (polos $d < 10 \text{ mm}$)

c. Data Tanah : Data SPT, Sondir

Setelah mendapatkan data-data yang akan digunakan, kemudian menentukan metode pengumpulan data. Berikut pengumpulan data yang dilakukan :

1. Observasi

Observasi adalah pengumpulan data dan pengamatan secara langsung di lapangan.

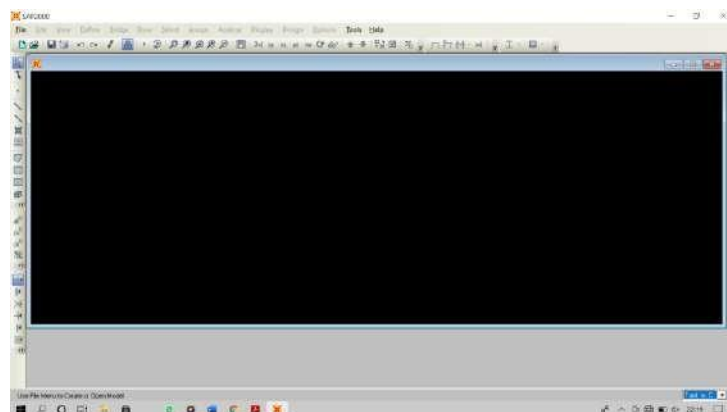
2. Studi Pustaka

Studi pustaka merupakan kumpulan data yang didapat dari hasil penyelidikan, penelitian, tes atau uji laboratorium, pedoman, maupun standar yang digunakan dalam perencanaan bangunan yang diperoleh melalui perpustakaan ataupun instansi-instansi pemerintah yang terkait.

3.3 Analisa Pembebanan Menggunakan SAP2000

Dalam perhitungan beban yang akan diterima oleh tiang pancang dilakukan analisa pembebanan yaitu dengan pembuatan permodelan struktur atas proyek pembangunan Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik) dengan menggunakan program SAP2000 sehingga dapat diketahui beban yang akan dipikul oleh fondasi, serta dapat dilakukan perhitungan yang selanjutnya. Berikut langkah-langkah analisa pembebanan pada SAP2000 :

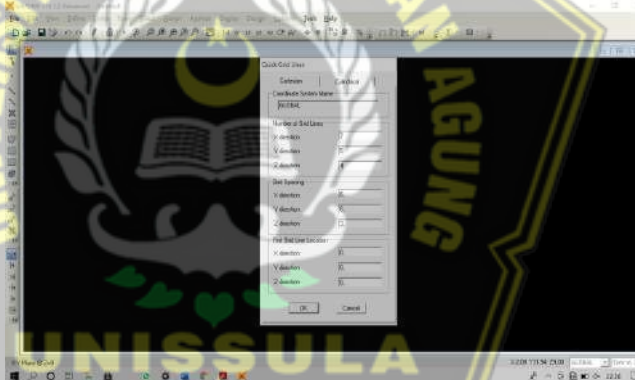
1. Silahkan untuk membuka aplikasi SAP2000, selanjutnya tentukan stauan yang akan digunakan, dengan cara lihat bagian pojok bawah, disitu terdapat macam satuan. Dalam pengerjaan ini penulis menggunakan satuan Tonf, m, C. Pemilihan satuan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Pemilihan Satuan

- [illegible]

3. Akan muncul *Quick Grid Lines* tentukan nilai X,Y,Z sesuai dengan kebutuhan lalu klik OK. Lalu klik kiri pada *grid*, pilih *edit grid data*. Lihat pada Gambar 3.3 untuk mengisi *Quick Grid Lines* dan Gambar 3.4 untuk mengubah *Grid*.

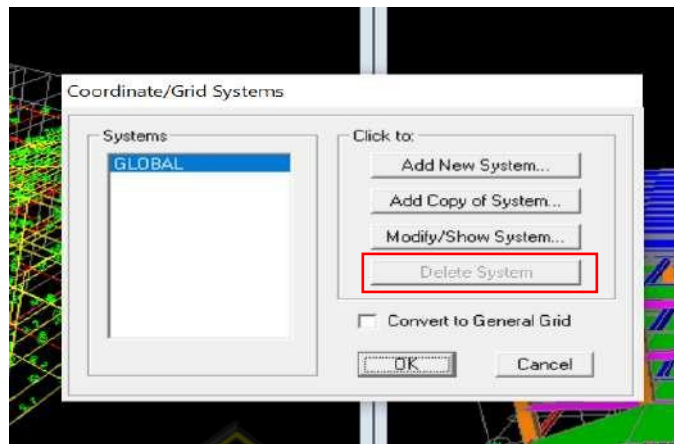


Edit Grid Data...

- Edit Reference Lines...
- Create Reference Lines on Plan
- Plan Fine Grid Spacing...
- Plan Nudge Value...
- ☒ Lock OnScreen Grid System Edit
- Show Selection Only
- Invert View Selection
- Remove Selection from View
- Restore Previous Selection
- Show All
- Delete
- Edit Dimension Preferences...

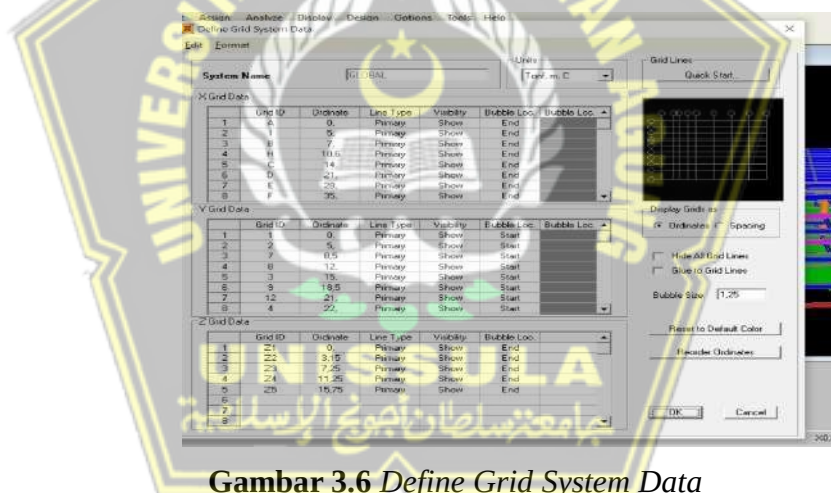
56

4. Setelah itu muncul *Coordinate/Grid System*, pilih *Modify/Show System*. Lihat pada Gambar 3.5 untuk *Coordinate/grid systems*.



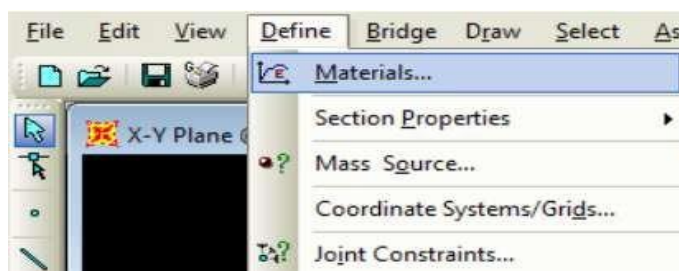
Gambar 3.5 *Coordinate/Grid System*

5. Langkah selanjutnya adalah isi *X Grid Data*, *Y Grid Data*, dan *Z Grid Data* sesuai dengan koordinat bentuk bangunan. Lihat pada Gambar 3.6 *Define grid system data*.



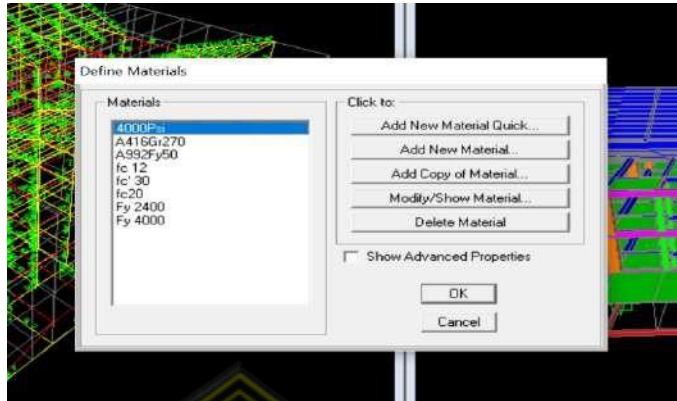
Gambar 3.6 *Define Grid System Data*

6. Setelah grid sudah sesuai, masukkan material yang akan digunakan pada perencanaan bangunan, dengan cara pada menu *Define* klik *Materials*. Lihat pada Gambar 3.7 *Define*.



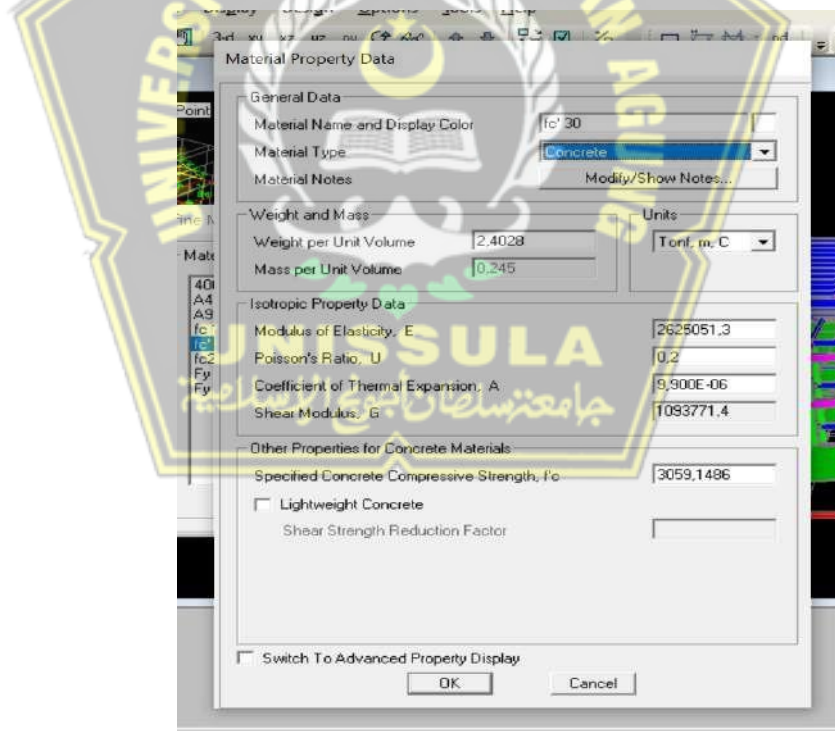
Gambar 3.7 *Define*

7. Menentukan jenis material dengan menggunakan baja atau beton bertulang, dengan cara klik *Add New Material* pada *Define Materials*. Lihat pada Gambar 3.8 *Define materials*.



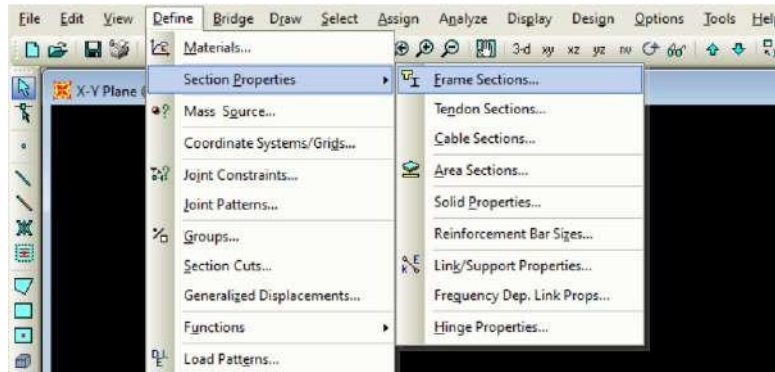
Gambar 3.8 *Define Materials*

8. Pengisian material sesuai dengan data perencanaan, dengan cara klik *Concrete* untuk beton, *steel* untuk baja dan *Rebar* untuk tulangan. Lihat pada Gambar 3.9 pengisian data perencanaan.



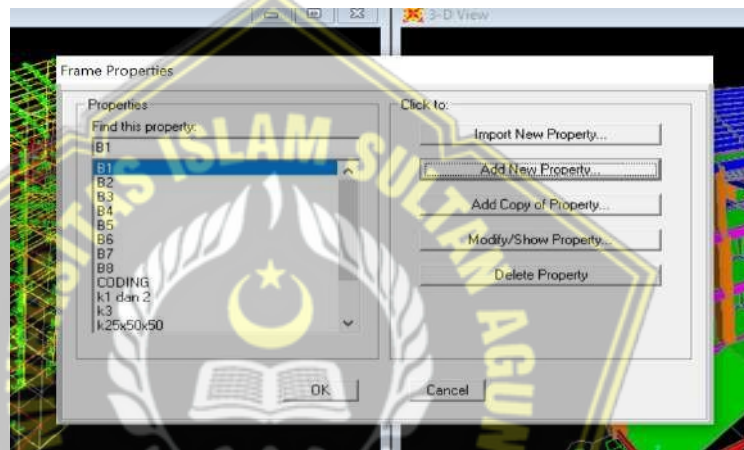
Gambar 3.9 *Material Property Data*

9. Selanjutnya silahkan input data Kolom, Balok Pada menu *Define*, pilih *Section Properties*, lalu pilih *Frame Section*. Lihat pada Gambar 3.10 *section properties*.



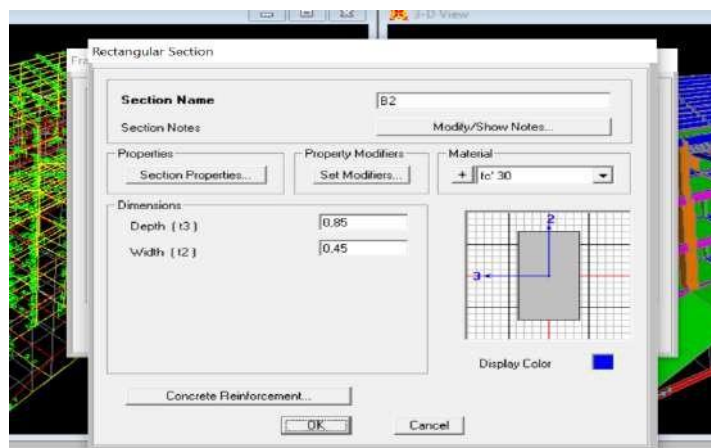
Gambar 3.10 *Section Properties*

10. Setelah itu akan muncul seperti tampilan pada gambar 3.11, lalu klik *Add New Property*. Lihat pada Gambar 3.11 *frame properties*.



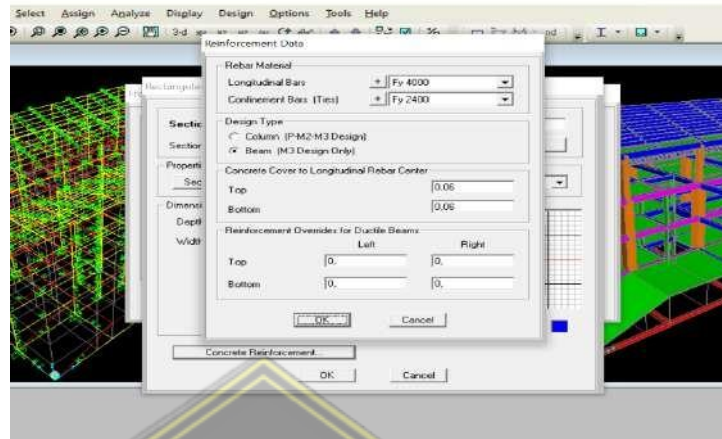
Gambar 3.11 *Frame Properties*

11. Setelah muncul ANP tadi, isikan mutu balok dan dimensi balok (*Depth* dan *width*) sesuai dengan ketentuan proyek, kemudian klik *Concrete Reinforcement*. Lihat pada Gambar 3.12 *rectangular section*.



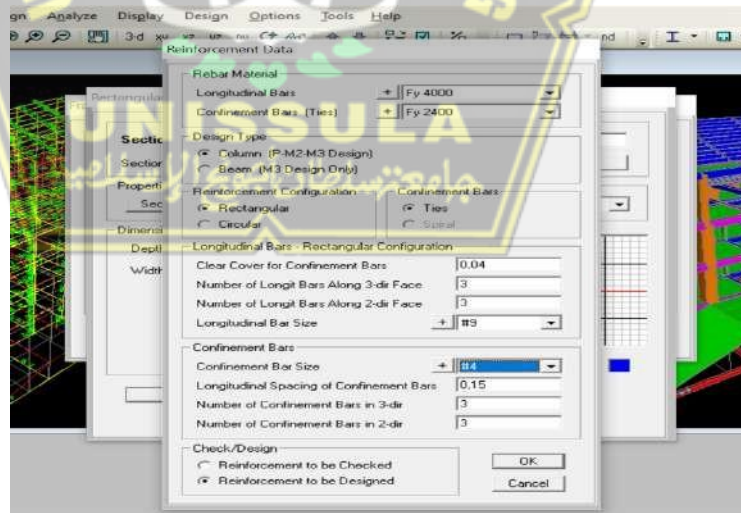
Gambar 3.12 *Rectangular Section*

12. Pilih *Reinforcement Data*, untuk mengubah mutu tulangan, pada *Design type* klik *Beam*, dan ketikkan lebar selimut balok. Lihat pada Gambar 3.13.



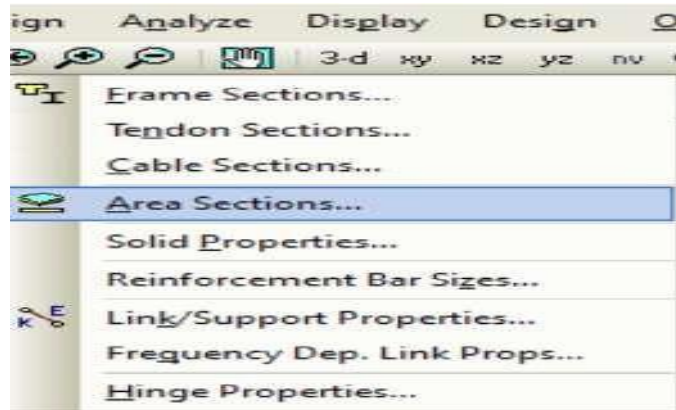
Gambar 3.13 *Reinforcement Data Beam*

13. Setelah data balok, kemudian inputkan data kolom, dengan cara mengulangi proses ke 9, 10, dan 11, setelah itu pilih *concrete reinforcement*, kemudian klik mutu dan jenis tulangan, lalu klik *Column* pada *design type*, ubah banyaknya tulangan dan diameter tulangan. *Input* data kolom pada *reinforcement data column*. Lihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 *Reinforcement Data Column*

14. Langkah selanjutnya yakni *input data* plat lantai, pada menu *Define* klik *Section Properties* klik *Area Section*. Lihat pada Gambar 3.15.



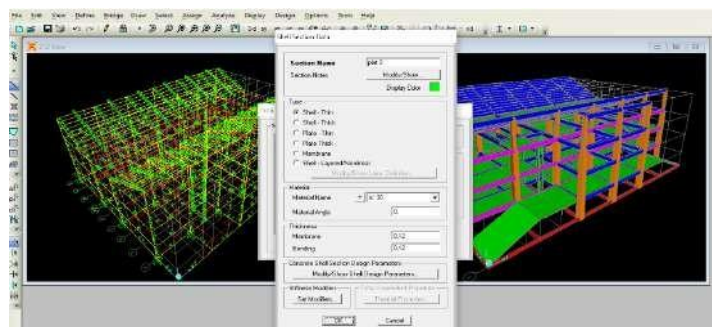
Gambar 3.15 *Input Area Section*

15. Pada *Area Section* pilih *Shell* pada *Select Section Type To Add* kemudian klik *Add New Section*. Lihat pada Gambar 3.16.



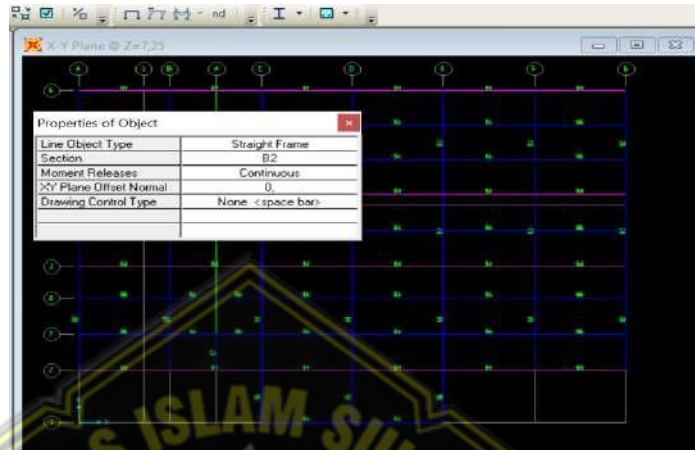
Gambar 3.16 *Area Section*

16. Pada *Section Name* input nama sesuai dengan data plat lantai proyek, pilih *Shell – Thin* pada *Type*, ubah material (mutu pelat) sesuai data proyek dan ubah ketebalan (*Thickness*) sesuai data proyek. Kemudian klik *Modify/Show Shell Design Parameters* ubah material (mutu tulangan pelat). Lihat pada Gambar 3.17.



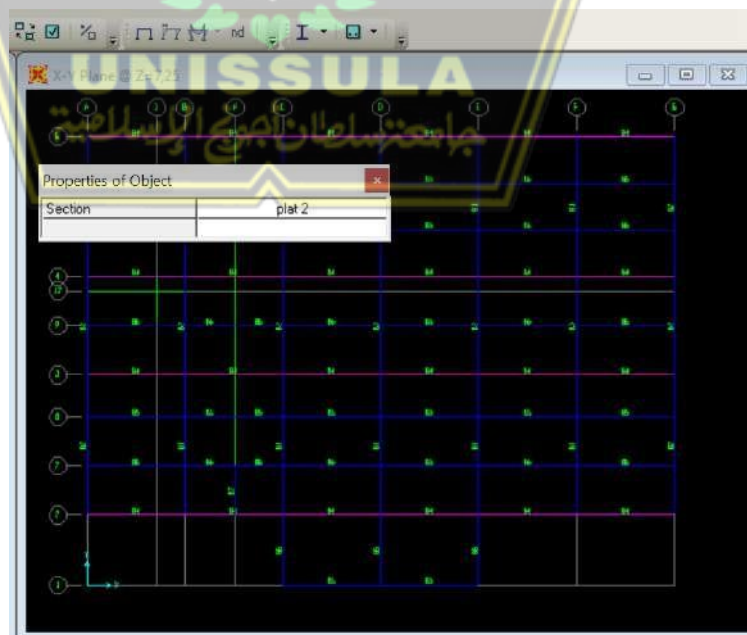
Gambar 3.17 *Shell Section Data*

17. Kemudian memasukkan jenis balok dan kolom, sesuai data proyek pada *grid* yang telah dibuat. Klik ikon *Draw Frame/Cable Element* – pilih *Section* sesuai data proyek – kemudian gambar pada *grid* tiap lantai. Menampilkan balok dan kolom dalam *grid* Lihat Gambar 3.18.



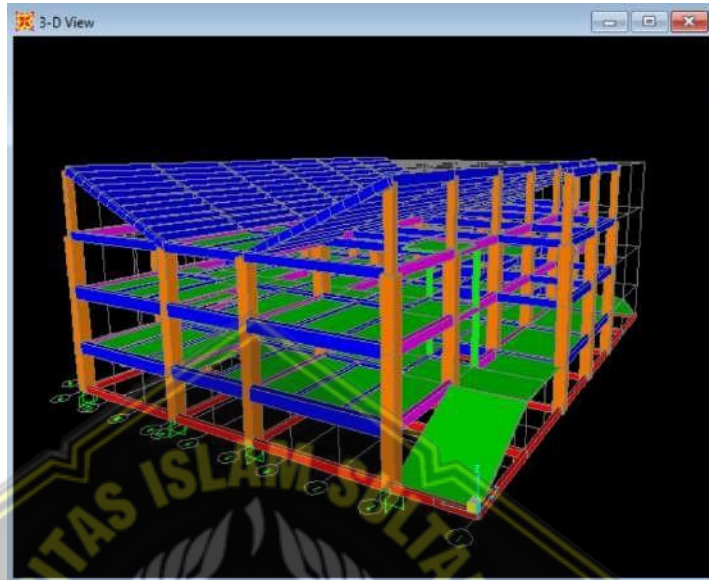
Gambar 3.18 *Input Balok dan Kolom pada Grid*

18. Kemudian memasukkan jenis pelat lantai dan *shear wall*, sesuai data proyek pada *grid* yang telah dibuat. Klik ikon *Draw Rectangular Area Element* – pilih *Section* sesuai data proyek – kemudian gambar pada *grid* tiap lantai. *Input* plat lantai dan *shearwall* Lihat Gambar 3.19.



Gambar 3.19 *Input Pelat Lantai dan Shear Wall pada Grid*

19. Setelah memasukkan data balok, kolom, pelat lantai, dan *shear wall* pada setiap lantai langkah berikutnya adalah memasukkan pembebanan pada permodelan. Hasil permodelan SAP2000 dapat Lihat Gambar 3.20.



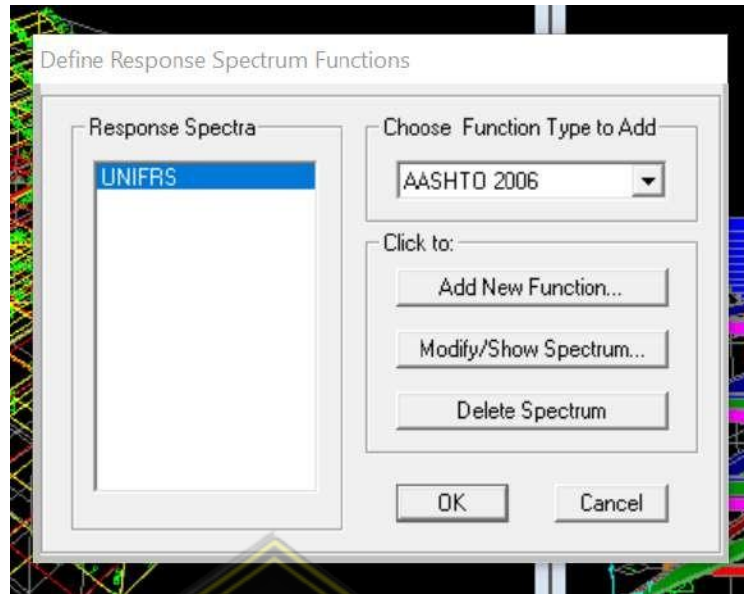
Gambar 3.20 Hasil Pemodelan SAP2000

20. Setelah itu memasukkan data pembebanan dimulai dengan *Response Spectrum* dengan klik *Define – Functions – Response Spectrum*. *Response spectrum* dapat dilihat pada Gambar 3.21.



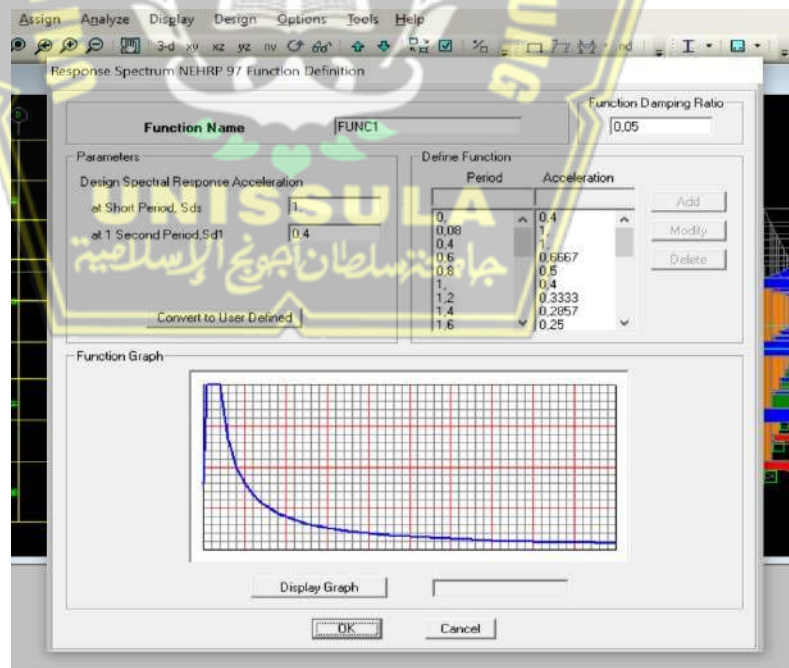
Gambar 3.21 Response Spectrum

21. Pada *Choose Function Type to Add* pilih IBC 2006 kemudian klik *Add New Function*. *Define Response Spectrum Functions* dapat Lihat Gambar 3.22.



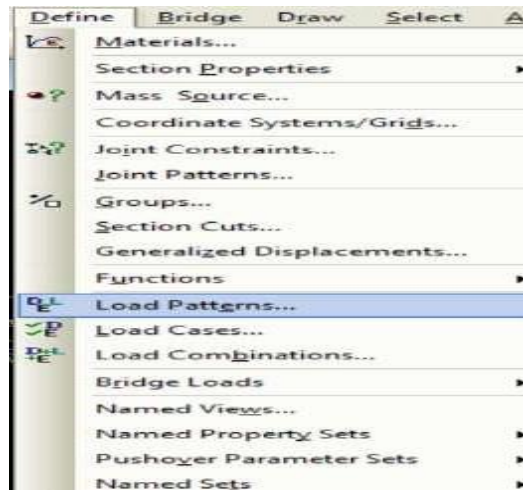
Gambar 3.22 *Define Response Spectrum Functions*

22. Setelah itu, Lalu akan muncul *Response Spectrum Function Definition*, Isi Sds dan Sd1 sesuai dengan wilayah peta gempa yang didapat dari website puskim. Untuk proyek gedung MPP ini terdapat di wilayah Purwodadi. Memasukkan data *Response Spectrum Function Definition* dapat Lihat Gambar 3.23.



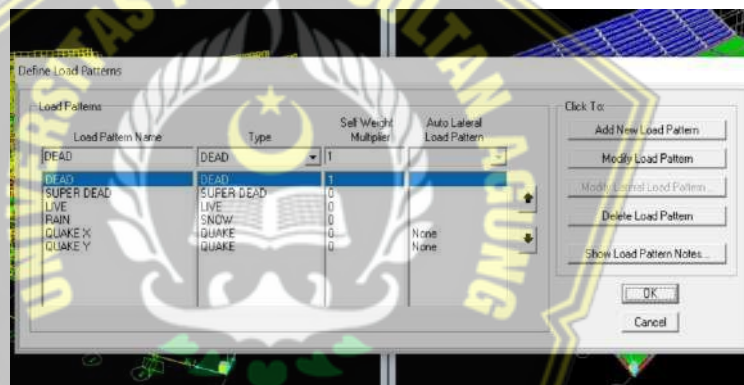
Gambar 3.23 *Response Spectrum Function Definition*

23. Selanjutnya pembebanan, pada menu *Define* klik *Load Patterns*. Menu *load patterns* dapat Lihat Gambar 3.24.



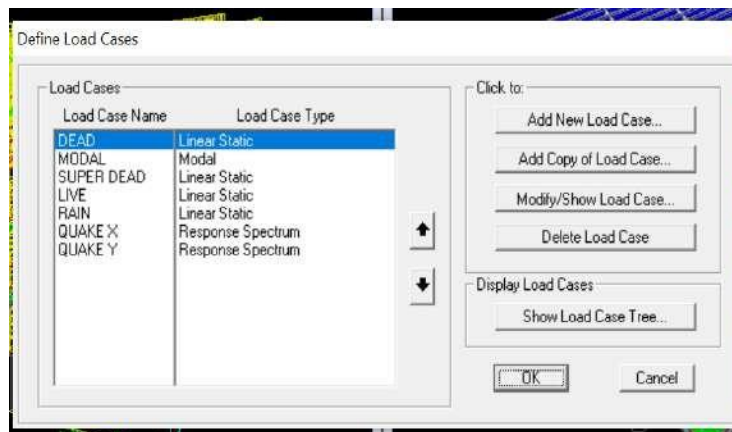
Gambar 3.24 Load Patterns

24. Isi Kolom *Load Pattern Name* sesuai dengan tipe pembebanan, kemudian klik *Add New Load Pattern*. *Define load patterns* dapat Lihat Gambar 3.25.



Gambar 3.25 Define Load Patterns

25. Kemudian atur *Load Cases*, pada menu *Define* klik *Load Cases*. Memasukkan data *load cases* dapat Lihat Gambar 3.26.



Gambar 3.26 Define Load Cases

26. Selanjutnya klik *Add New Load Case*, untuk Beban Gempa ubah menjadi 2 arah yaitu arah X dan arah Y pada *Load Case Name* menjadi QUAKE X dan QUAKE Y. Kemudian pada *Load Case Type* ubah menjadi *Response Spectrum*. Memasukkan *load case data* beban gempa lihat Gambar 3.27. Berikut ketentuan untuk beban gempa arah X dan Y:

a. QUAKE X

- *Load Name* = U1, *scale factor* = $g \times I/R$
- *Load Name* = U2, *scale factor* = 30% dari U1

b. QUAKE Y

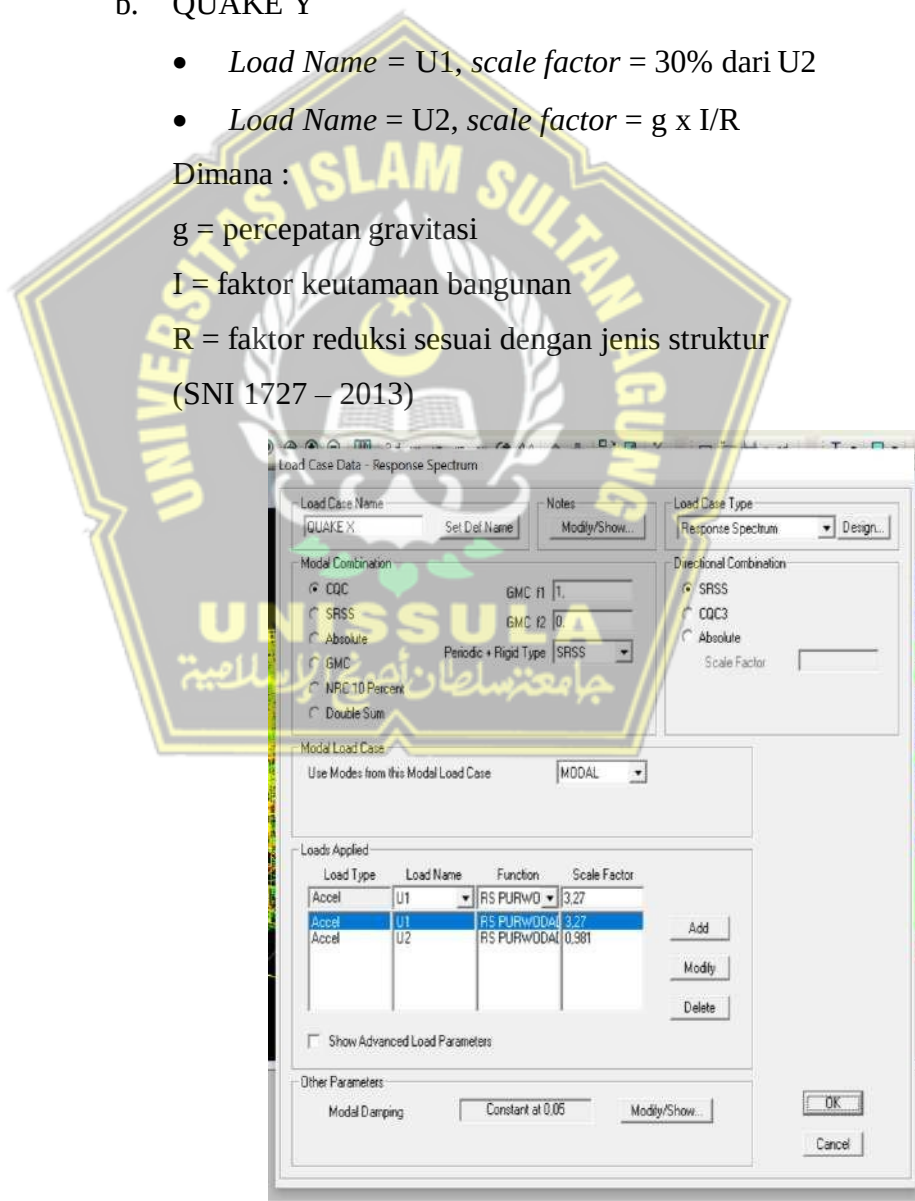
- *Load Name* = U1, *scale factor* = 30% dari U2
- *Load Name* = U2, *scale factor* = $g \times I/R$

Dimana :

g = percepatan gravitasi

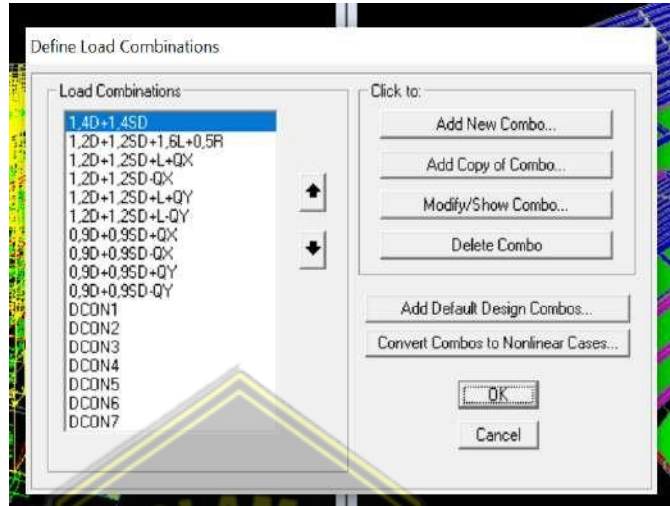
I = faktor keutamaan bangunan

R = faktor reduksi sesuai dengan jenis struktur
(SNI 1727 – 2013)



Gambar 3.27 Load Case Data

27. Setelah *Load Cases*, input *Load Combinations*. Pada menu *Define* klik *Load Combinations* kemudian klik *Add New Combo*. Memasukkan Kombinasi dapat lihat Gambar 3.28.



Gambar 3.28 *Define Load Combinations*

28. Pada *Define Combination of Load Case Results* pada Gambar 3.29, Masukkan kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1729 – 2012 yaitu :

- 1,4 D + 1,4 SD
- 1,2 D + 1,2 SD + 1,6 L + 0,5 R
- 1,2 D + 1,2 SD + L + QX
- 1,2 D + 1,2 SD + L – QX
- 1,2 D + 1,2 SD + L + QY
- 1,2 D + 1,2 SD + L – QY
- 0,9 D + 0,9 SD + QX
- 0,9 D + 0,9 SD – QX
- 0,9 D + 0,9 SD + QY
- 0,9 D + 0,9 SD – QY

Dengan :

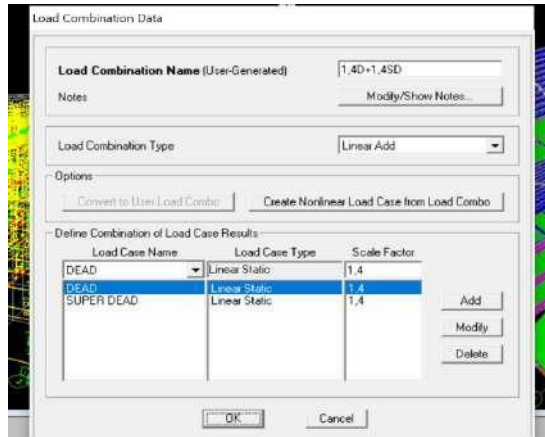
D = Beban Mati

SD= Beban Mati Tambahan

L = Beban Hidup

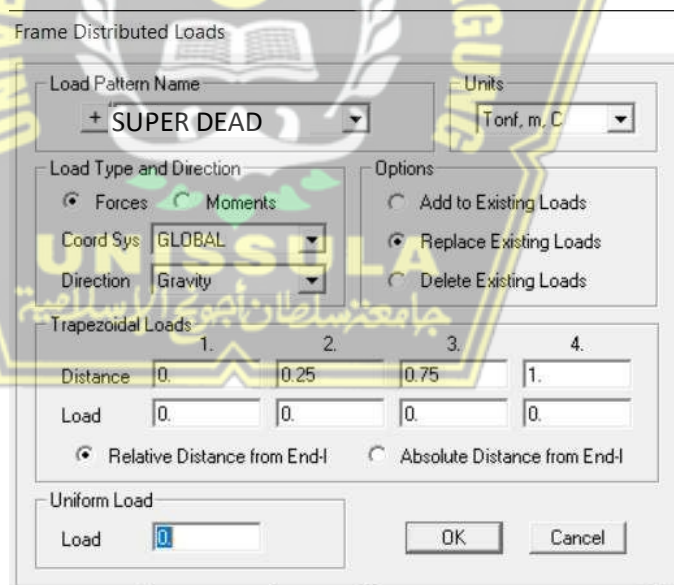
R = Beban Hujan

Q = Gempa Dinamik (*Response Spectrum*)



Gambar 3.29 *Load Combination Data*

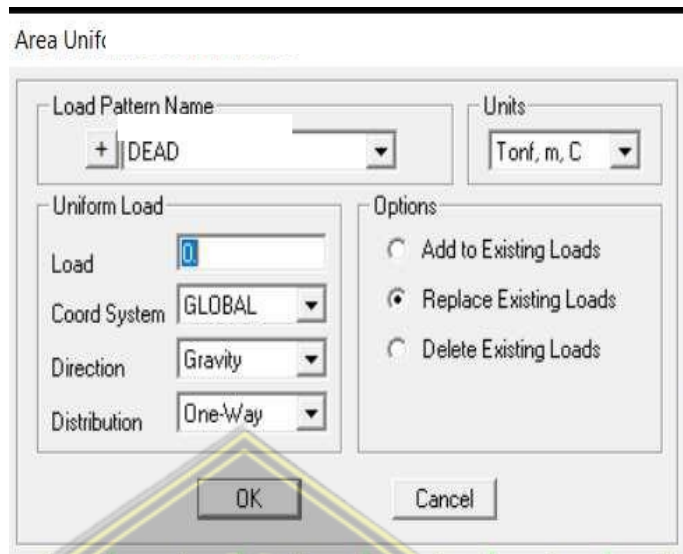
29. Setelah *input* pembebanan, kemudian masukkan beban pada setiap balok dan pelat lantai sesuai dengan SNI 1727 – 2013. Klik Balok yang akan dimasukkan beban, lalu pada menu *Assign* – klik *Frame Loads* – klik *Distributed*. Pilih *Load Pattern Name* - *Dead* – isi beban pada *Uniform Load*. Memasukkan beban mati pada balok dapat Lihat Gambar 3.30.



Gambar 3.30 *Frame Distributed Loads*

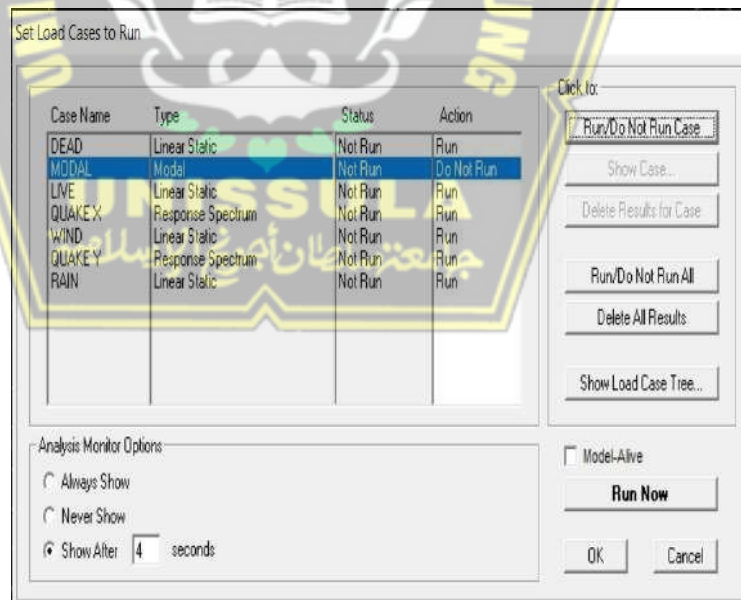
30. Kemudian untuk pembebanan pelat, klik pelat yang akan diberikan beban, selanjutnya pada menu *Assign* – klik *Area Loads* – klik *Uniform (Shell)*. Isi *Load*. Untuk pelat lantai diisi dua jenis pembebanan yaitu *Dead* dan *Live* (menurut SNI 1727 – 2013).

Memasukkan beban mati dan hidup pada plat lantai dapat lihat Gambar 3.31.



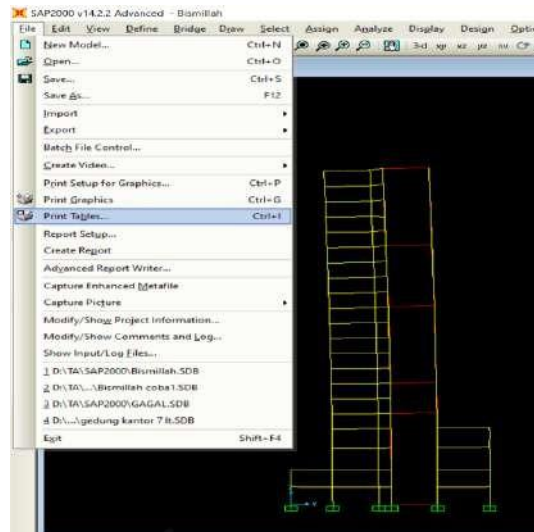
Gambar 3.31 Area Uniform Loads to Frames

31. Setelah semua beban, jenis dan dimensi dimasukkan. Pada menu *Analyze* klik *Run Analysis* – Pada *Set Load Cases to Run* Klik *Modal* – Klik *Run/Do Not Run Case* – Kemudian klik *Run Now*. *Set load cases to run* dapat dilihat pada Gambar 3.32.



Gambar 3.32 Set Load Cases to Run

32. Untuk hasil *output* pada menu *File* – klik *Print Tables*. Hasil *output* berupa tabel dalam bentuk *word*. Hasil *output* pada menu *file* dapat lihat Gambar 3.33.

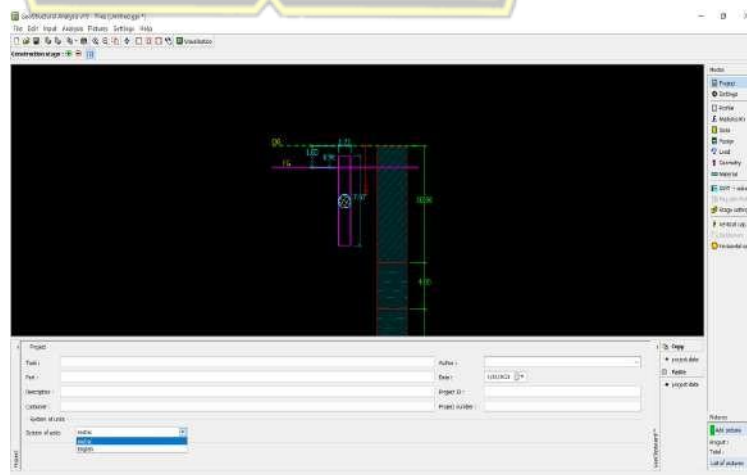


Gambar 3.33 Hasil Output

3.4 Analisa Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang Menggunakan Bentley Geostrotutal Analysis

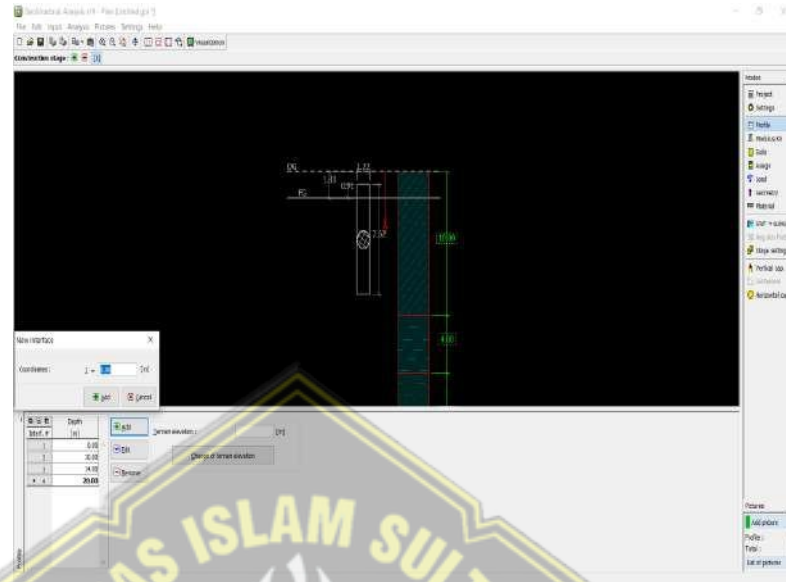
Dalam analisa daya dukung dan penurunan fondasi tiang pancang pada proyek pembangunan Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik) menggunakan program *Bentley Geostrotutal Analysis* sehingga dapat diketahui besarnya daya dukung tiang tunggal dan daya dukung kelompok tiang. Berikut langkah-langkah analisa daya dukung tiang menggunakan *Bentley Geostrotutal Analysis* :

1. Silahkan buka aplikasi *Bentley Geostrotutal Analysis*, lalu pilih Profil dan klik *project* pada kanan atas. Kemudian ubah *system of units* dengan memilih *metric*. Lihat pada Gambar 3.34.



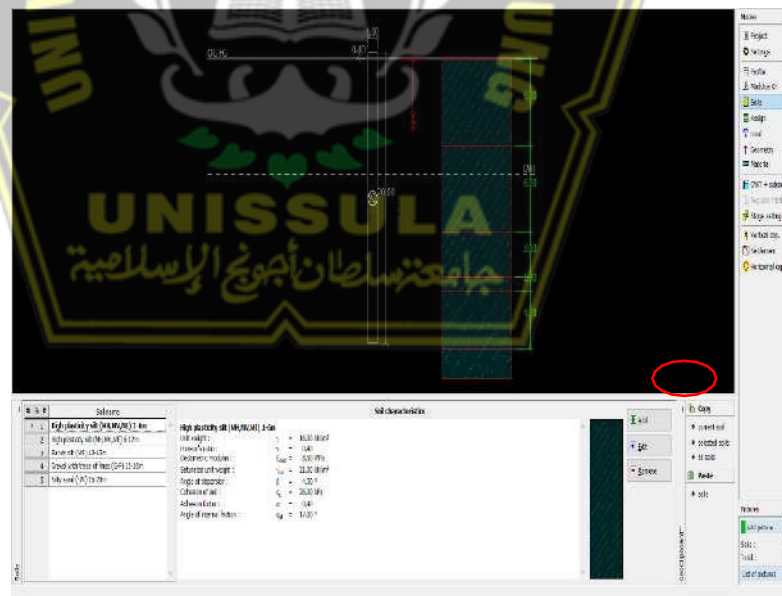
Gambar 3.34 System of units

- Kemudian pada menu sebelah kanan klik *profile* lalu klik *add* guna menambahkan kedalaman setiap lapisan tanah. Lihat pada gambar 3.35.



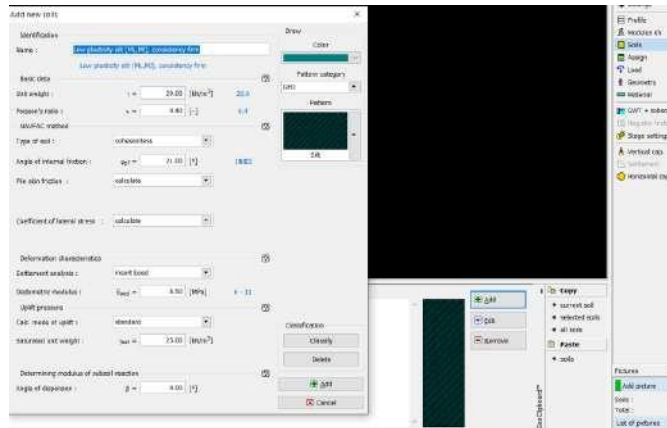
Gambar 3.35 Mengisi kedalaman tiap tanah

- Lalu silahkan pindah ke menu *soils* kemudian klik *add* guna mengisi data setiap lapisan. Lihat pada Gambar 3.36.



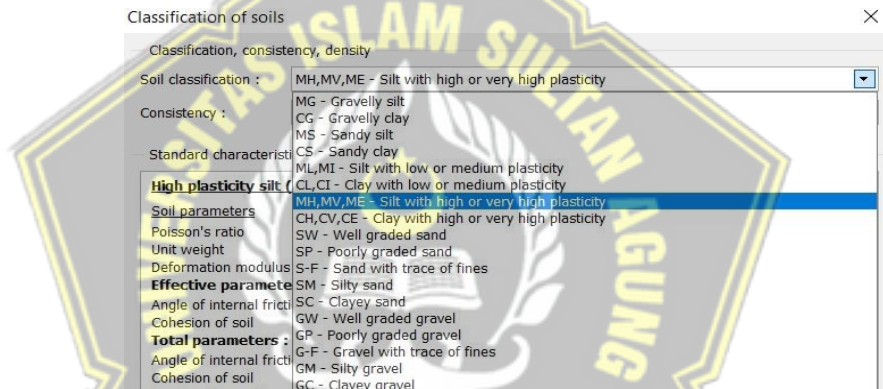
Gambar 3.36 Mengisi data tanah

- Setelah klik *add* di menu *soils* kemudian akan muncul *Add new soils* lalu klik *classify* untuk menentukan klasifikasi tanah. Lihat pada Gambar 3.37.



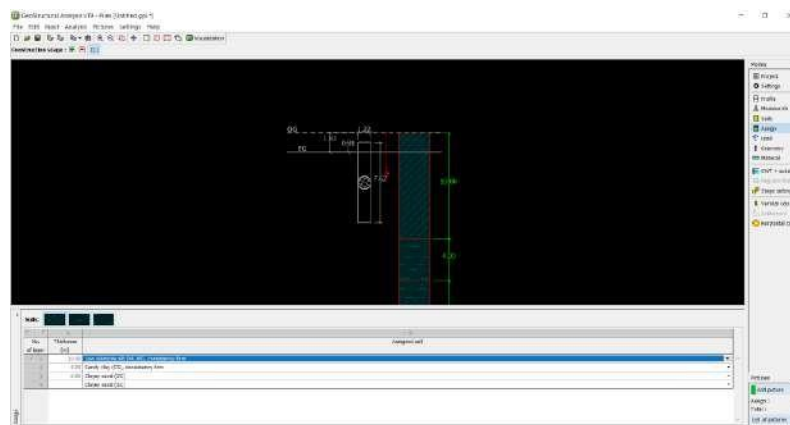
Gambar 3.37 Add new soils

5. Setelah klik *classify* akan muncul *Classification of soils* lalu pilih klasifikasi tanah sesuai data tanah proyek selanjutnya klik ok + assign. Lihat pada Gambar 3.38.



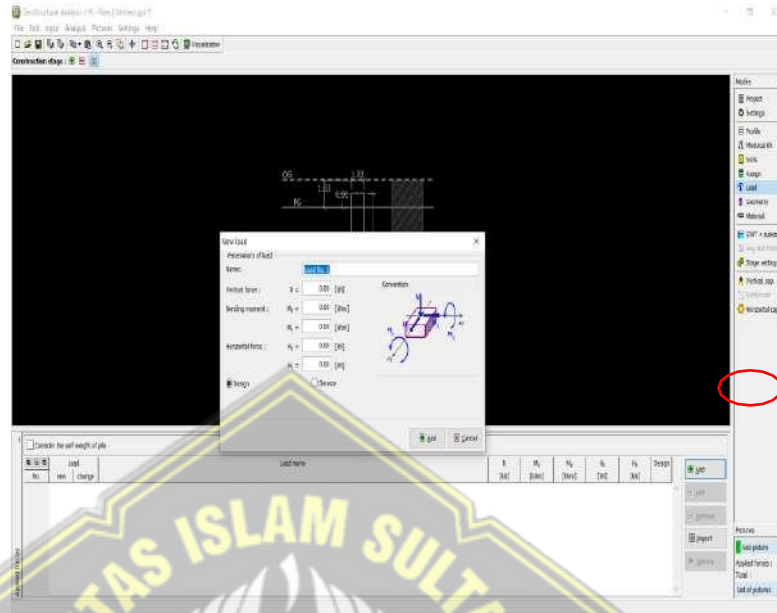
Gambar 3.38 Memasukan data klasifikasi tanah

6. Langkah selanjutnya setelah mengisi klasifikasi tanah sesuai dengan data tanah proyek lalu masukkan klasifikasi tanah sesuai kedalaman pada menu *Assign*. Lihat pada Gambar 3.39.



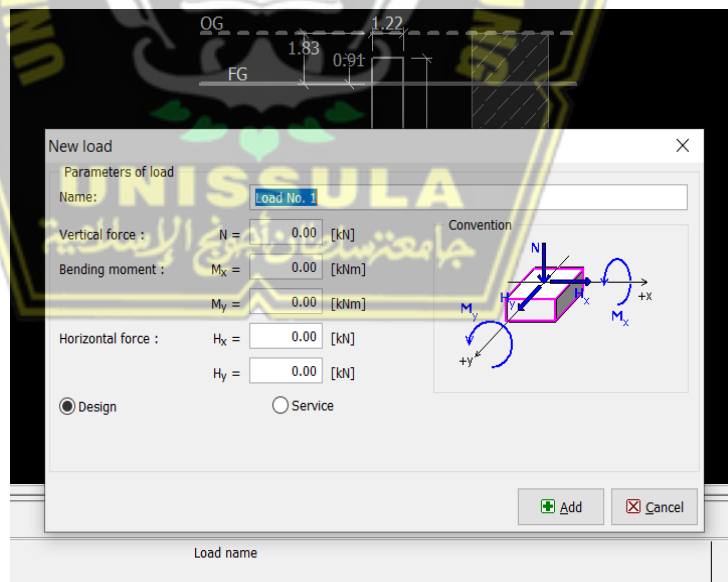
Gambar 3.39 Memasukkan klasifikasi tanah ke tiap kedalaman

7. Selanjutnya pada menu *load* silahkan tambahkan pembebanan dari hasil *output* SAP2000 dengan cara klik *Add*. Lihat pada Gambar 3.40.



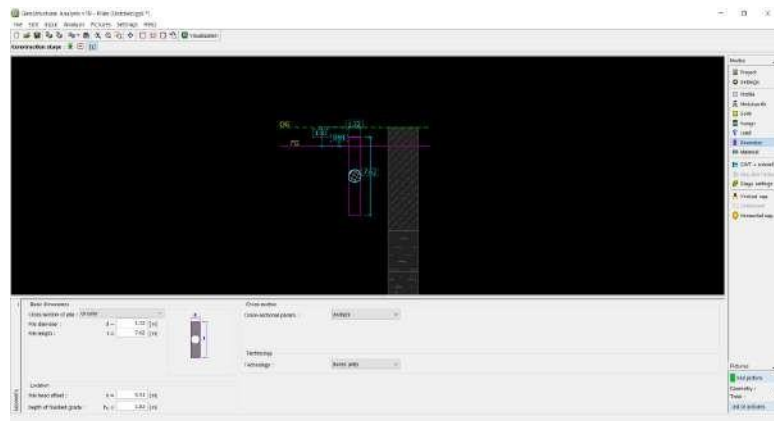
Gambar 3.40 Menu *Load*

8. Kemudian pada *New Load* silahkan isi pembebanan sesuai dengan hasil *output* SAP2000. Lihat pada Gambar 3.41.



Gambar 3.41 Pembebanan *Pile*

9. Selanjutnya yakni pada menu *Geometry* silahkan ubah panjang *pile*, diameter *pile* dan jenis *pile* sesuai dengan perencanaan. Lihat pada Gambar 3.42.



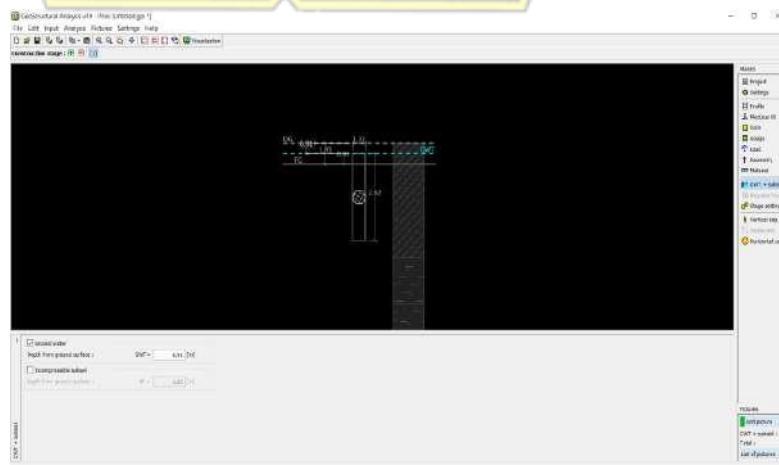
Gambar 3.42 Menu *Geometry*

10. Kemudian pada menu *Materials* silahkan ubah bahan, mutu beton dan mutu tulangan *pile* sesuai dengan perencanaan. Lihat pada Gambar 3.43.



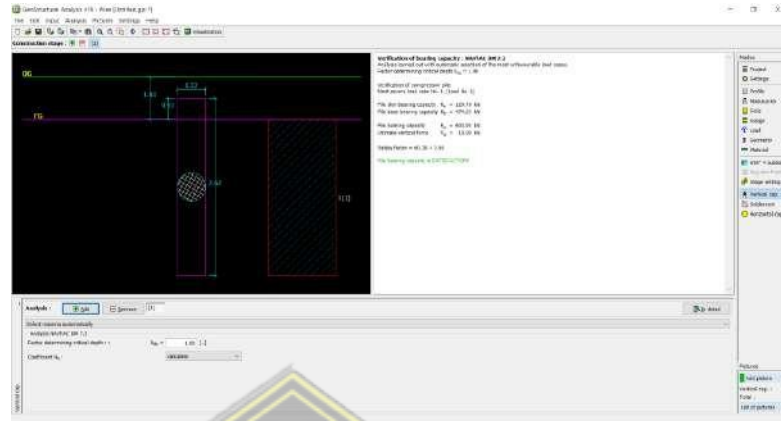
Gambar 3.43 Menu *Material*

11. Setelah itu silahkan masukkan muka air tanah (*ground water table*) pada menu *GWT + Subsoils*. Lihat pada Gambar 3.44.



Gambar 3.44 Memasukkan muka air tanah

12. Setelah semua data dimasukkan, langkah selanjutnya di menu *Vertical cap Settlement*, dan *Horizontal cap* dapat dilihat hasil *Output* perhitungannya. Lihat pada Gambar 3.45.

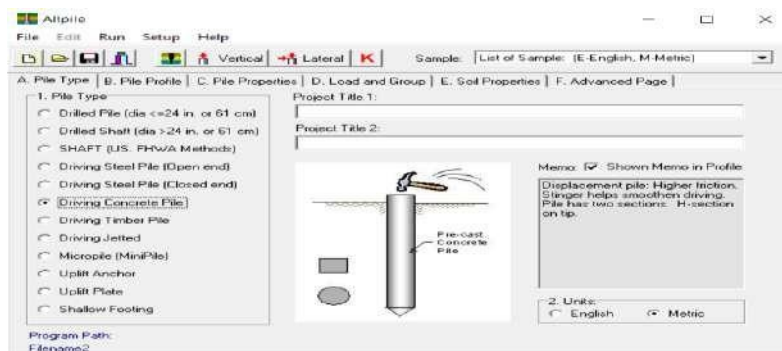


Gambar 3.45 Hasil *Output* menu *Vertical Cap*

3.5 Analisa Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Pancang Menggunakan *Allpile*

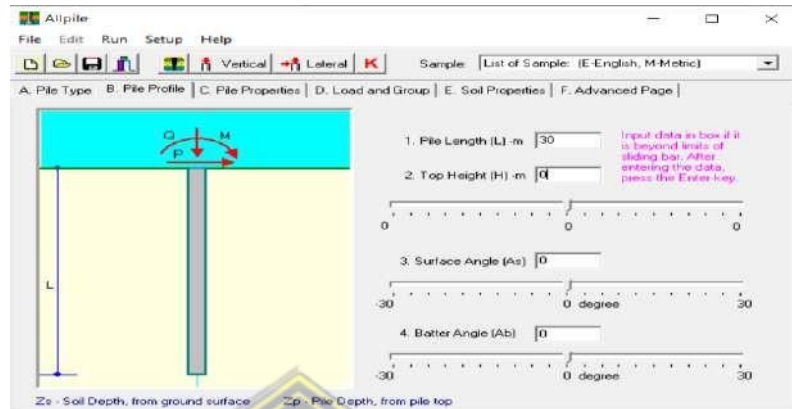
Analisa daya dukung dan penurunan fondasi tiang pancang pada proyek pembangunan Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik) menggunakan program *Allpile* supaya tidak terjadi penurunan yang berlebihan. Selain itu juga untuk membandingkan hasil perhitungan manual dengan perhitungan aplikasi. Berikut langkah-langkah analisa penurunan tiang menggunakan *Allpile* :

1. Silahkan buka Aplikasi *Allpile*, Lalu pilih *driven pile* untuk tiang pancang, kemudian beri nama pancang di *Project Title 1*, ganti *Units* menjadi *Metric* agar satuan menjadi SI. Lihat pada Gambar 3.46.



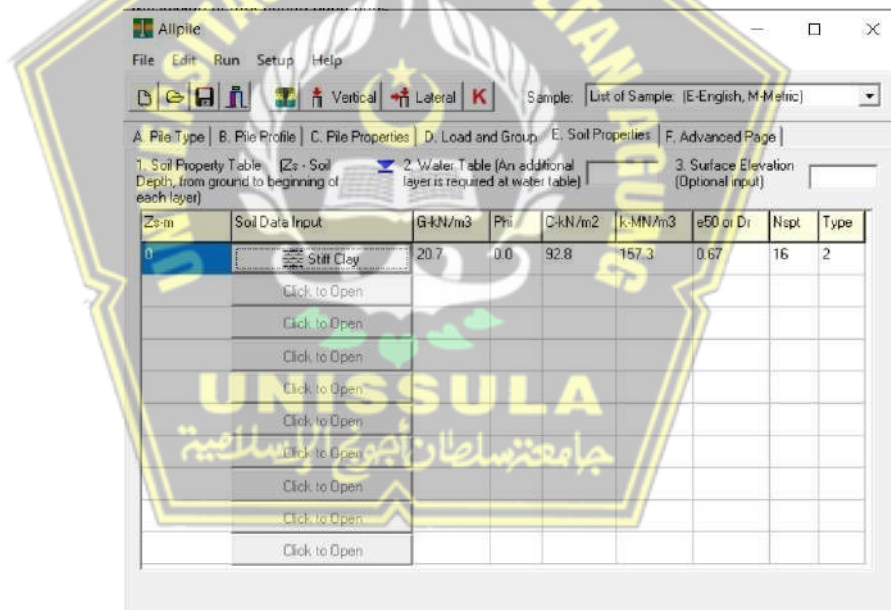
Gambar 3.46 *Pile Type*

2. Lalu klik B. *Pile Profile*, silahkan isi kolom [L] untuk panjang tiang, dan [H] untuk tinggi permukaan tiang pancang terhadap permukaan tanah. Lihat pada Gambar 3.47.



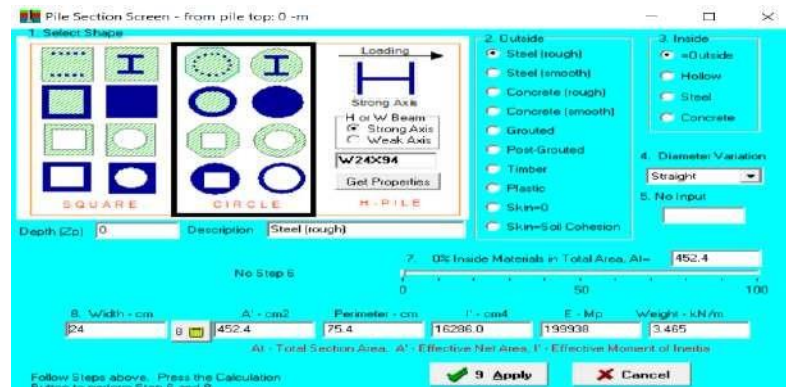
Gambar 3.47 Pile Profile

3. Kemudian klik C. *Pile Properties* selanjutnya silahkan isi *Pile Data Input* dengan *Click to Open*. Lihat pada Gambar 3.48.



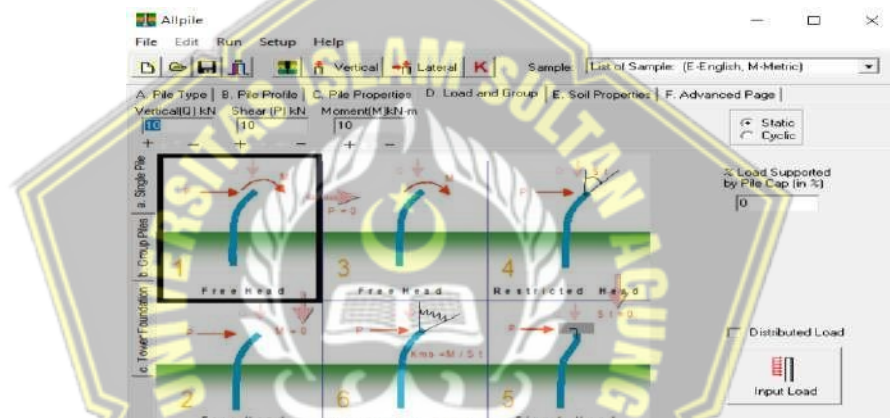
Gambar 3.48 Pile Properties

4. Dari *Click to Open* silahkan pilih 1. *Select Shape* = *CIRCLE*, 2. *Outside* = *Concrete (rough)*, 3. *Inside* = *Concrete*, 8. *Width* – cm (diameter pile dalam satuan cm) lalu klik *calculate* pada kotak no 8 maka kolom yang kosong akan secara otomatis terisi. Lakukan hal yang sama pada ujung bawah tiang (20 m). Lihat pada Gambar 3.49.



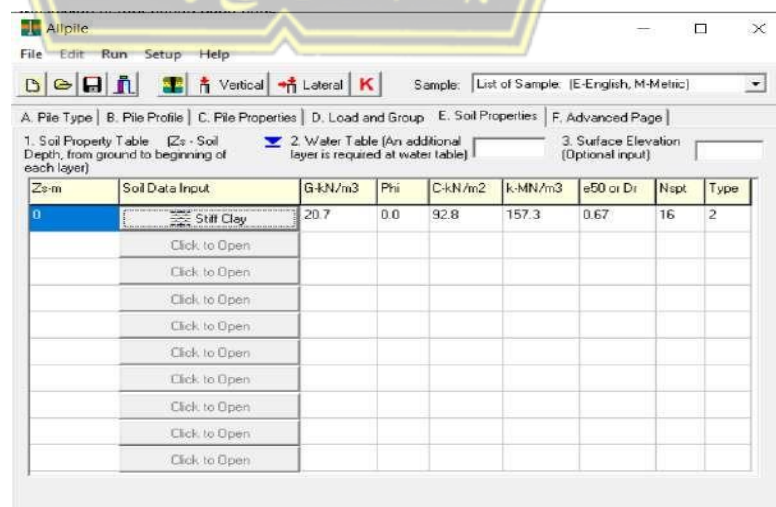
Gambar 3.49 Pile Section Screen

5. Lalu klik D. *Load and Group*, selanjutnya silahkan pilih tipe pembebanan no 1 dan isi kolom (Q), (P), dan (M). Lihat pada Gambar 3.50.



Gambar 3.50 Load and Group

6. Selanjutnya klik E. *Soil Properties*, lalu klik *Soil Data Input* guna mengisi data tanah. Lihat pada Gambar 3.51.



Gambar 3.51 Soil Properties

7. Setelah klik *Soil Data Input* maka silahkan isi 1. *Soil Type* guna tipe tanah, selajutnya isi *Depth* (*Zg*) untuk kedalaman tanah, klik *Links* lalu atur besarnya *N1* (spt) berdasarkan data tanah. Lakukan hal yang sama sampai kedalaman tanah keras. Lihat pada Gambar 3.52.

1. Zero Friction (Non-load zone) and Negative Friction (Downdrag force): Input Soil Depth (Zs)

☐ Zero Friction from to ☐ Negative Friction from to Factor 1

☐ Zero Friction from to ☐ Negative Friction from to Factor 1

2. ☐ Zero Tip Resistance ☐ 3. Tip resistance based on stratum from pile tip extends to 10 of pile diameter (10 recommended)

4. Analysis Parameters:

Parameters: Value [1]: Value [2]	Value [1]	Value [2]
FS for Downward: [1] FS_side, [2] FS_tip	3.0	3.0
FS for Uplift: [1] FS_side, [2] FS_weight	3.0	1.0
Load Factor: [1] Vertical, [2] Lateral P.M.T.	1.0	1.0
(Critical Depth)/(Pile Diameter): [1] Side, [2] Tip	20.0	20.0
Resistance Limits: [1] Side, [2] Tip kN/m ² (No Limit: 9999)	2000.0	2000.0
Allowable Deflection: [1] Vertical, k_allow [2] Lateral, y_allow, cm	10.0	10.0
Group Deduction Factor for Lateral Analysis: [1] Rfront, [2] Rside	1.0	1.0

5. Load - Settlement Relation (t-z curve):
☒ Vesic Method ☐ Reese Method

6. Define p-y, t-z Output Points

Gambar 3.52 Soil Parameter Screen

8. Selanjutnya yakni isi kadalaman muka air tanah. Memasukkan kedalaman muka air tanah dapat dilihat pada Gambar 3.53.

1. Soil Property Table (Zs - Soil Depth, from ground to beginning of each layer)

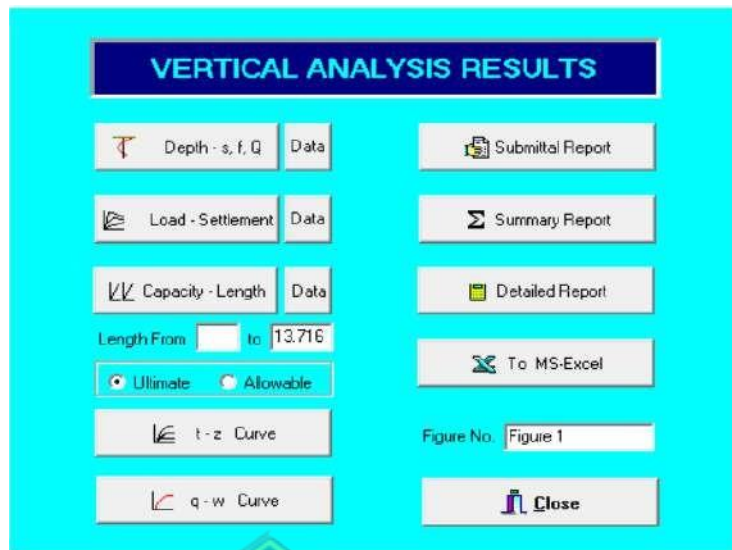
2. Water Table (An additional layer is required at water table) 8

3. Surface Elevation (Optional input)

Zs:m	Soil Data Input	G-kN/m ³	Phi	C-kN/m ²	k-MN/m ³	e50 or Dr	Nspt	Type
0	Siik (Phi + C)	19.6	28.6	15	48.7	1.08	7	3
2	Siik (Phi + C)	3.1	29.0	1130.0	16.1	1.01	8	3

Gambar 3.53 Memasukkan Kedalaman Muka Air Tanah

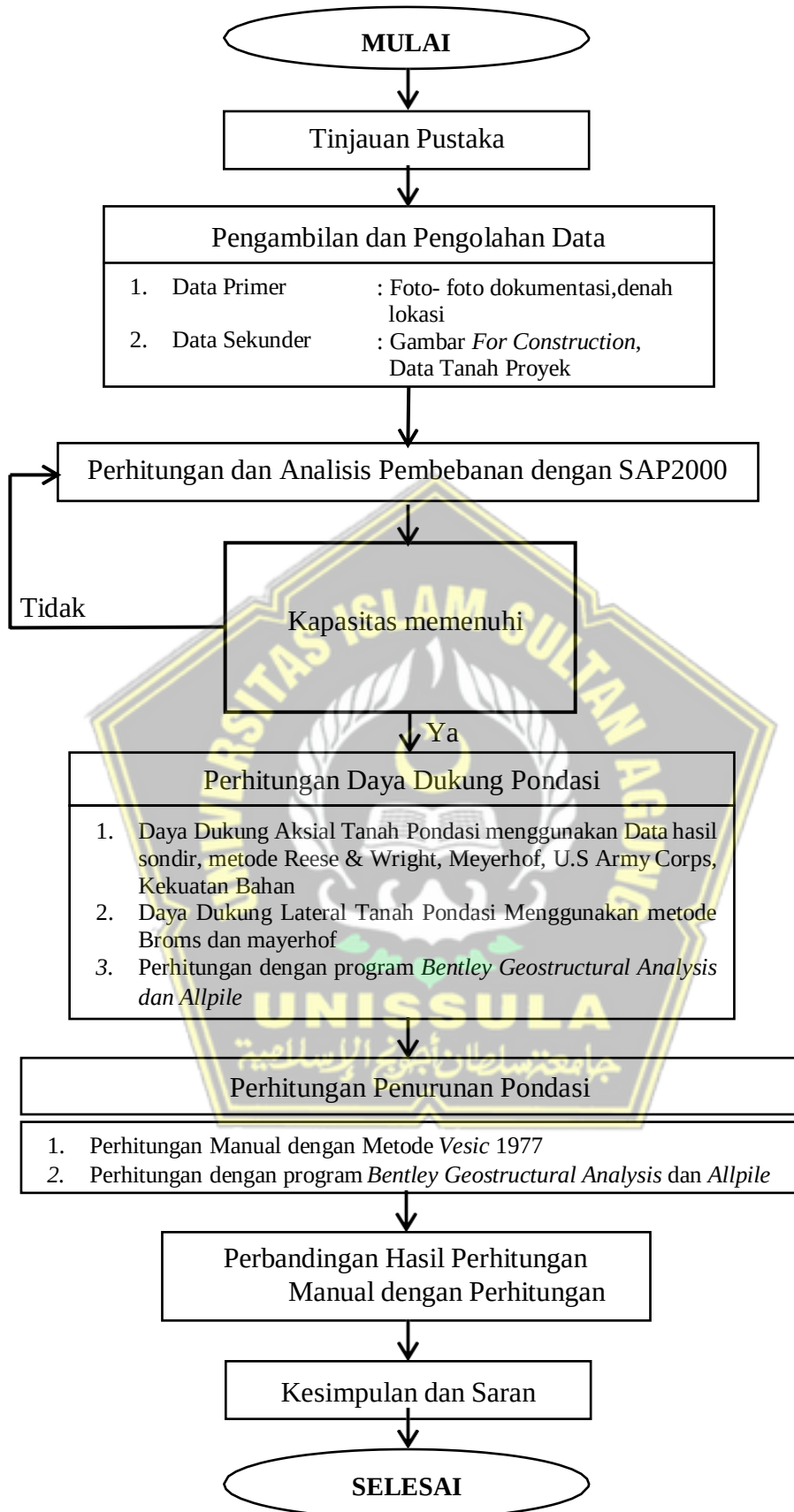
9. Lalu klik *Vertical Analysis* silahkan pilih *output* hasil analisis yang tersedia. *Vertical analysis results* dapat dilihat pada Gambar 3.54.



Gambar 3.54 *Vertical Analysis Results*

3.6 Cara Pengolahan atau Analisa Data

Setelah dilakukan perhitungan daya dukung dan perhitungan penurunan pada satu tiang maupun fondasi tiang kelompok. Dengan metode perhitungan manual dan menggunakan aplikasi *Bentley Geostрукtural Analysis* dan *Allpile*, dapat diketahui daya dukung dan penurunan yang terjadi pada fondasi tersebut. Hasil perhitungan dimasukkan tabel perbandingan antara perhitungan secara manual dan perhitungan menggunakan program *Bentley Geostрукtural Analysis* dan *Allpile*.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum

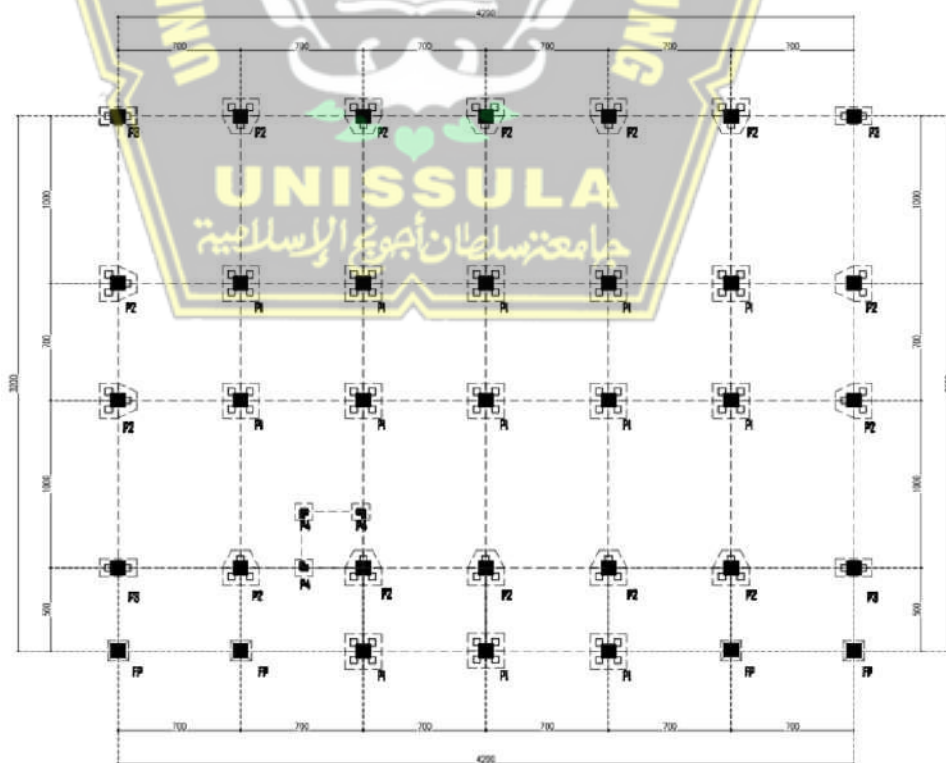
Tahap analisa dan pembahasan pada bab ini adalah hasil analisa data yang diperoleh dari hasil pengolahan data pada pembangunan Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik) yang berada di jl. Paramedis Area Simpang Lima Grobogan, dan pembahasan dari hasil-hasil perhitungan. Pada perencanaan fondasi sebelumnya menggunakan fondasi tiang pancang dengan diameter 40 cm. Untuk perencanaan ulang pada tugas akhir ini, fondasi yang digunakan adalah jenis fondasi *Tiang Pancang*.

Tabel 4.1 Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan fondasi Tiang Pancang.

Perbandingan	fondasi Tiang Pancang
Kelebihan	• Tiang pancang dapat meminimalisir galian. • Berat sendiri tiang pancang lebih ringan. • Pelaksanaan lebih cepat dan praktis. • Dimensi tiang yang lebih presisi dan homogeny
Kekurangan	• Penggembungan permukaan tanah dan gangguan tanah akibat pemancangan dapat menimbulkan masalah • Kepala tiang kadang – kadang pecah akibat pemancangan • Pemancangan sulit, apabila diameter tiang terlalu besar • Pemancangan menimbulkan gangguan suara, getaran, dan deformasi tanah yang dapat menimbulkan kerusakan bangunan di sekitarnya • Banyaknya tulangan dipengaruhi oleh tegangan yang terjadi pada waktu pengangkutan dan pemancangan tiang

Data yang tersedia akan digunakan untuk perhitungan perencanaan fondasi *Tiang Pancang*. Pada perhitungan daya dukung fondasi satu tiang (*single pile*) diambil dari data sondir dan dari data N-SPT dengan menggunakan metode *Reese & Wright 1977*, metode *mayerhoff* dan metode US Army Corps, serta untuk perhitungan daya dukung fondasi kelompok (*Group Pile*) menggunakan metode *Converse-Labarre* dan menggunakan perhitungan aplikasi *Bentley Geostuctural Analysis*. Sedangkan pada perhitungan penurunan menggunakan metode *vesic 1977* serta dilakukan perhitungan menggunakan *Allpile* sebagai pembanding.

Langkah awal yang dilakukan sebelum menghitung daya dukung dan penurunan fondasi adalah menghitung pembebanan dengan menggunakan SAP200 versi 14 yang bertujuan untuk mengetahui besarnya beban yang akan diterima Fondasi, sesuai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012), dan Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013).



Gambar 4.1 Denah Pondasi (CV. Weganda Sri Cahya, 2020)

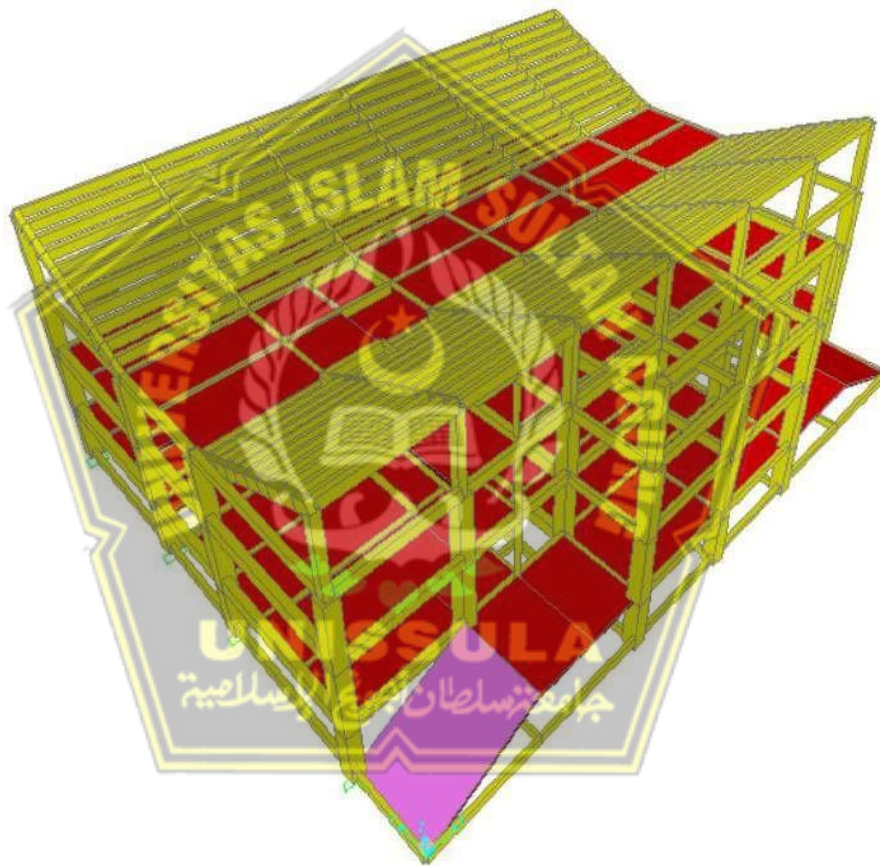
4.2 Permodelan Struktur Atas dengan Program SAP2000

Tahap pemodelan pada struktur bagian atas menggunakan SAP2000 untuk mengetahui gaya – gaya yang bekerja pada struktur bangunan hasil dari pembebanan. Pada balok dan kolom dimodelkan sebagai *shell*.

4.2.1 Data bangunan

Data bangunan pada tugas akhir ini :

1. Nama bangunan = Gedung MPP
2. Lokasi bangunan = jl. Paramedis Area Simpang Lima Grobogan.



Gambar 4.2 Pemodelan Struktur Dengan Program SAP2000

4.2.2 Analisis pembebanan struktur

Menurut Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012), beban – beban diperhitungkan terdiri dari beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Beban – beban tersebut dapat diuraikan seperti di bawah ini :

1. Beban mati (*dead load*)

Beban mati adalah berat seluruh komponen konstruksi yang terpasang terhitung dari lantai, dinding, atap, tangga, bagian arsitektur serta bagian struktur lainnya. Pada pemodelan menggunakan SAP2000 versi 14 berat sendiri material dapat dihitung berdasarkan acuan SNI 1727:2013. Berikut ini adalah beban – beban yang bekerja pada struktur atas :

Pada bangunan ini menggunakan pelat yang mempunyai ketebalan sebesar 0,12 m sehingga beban pelatnya sendiri yaitu $2,88 \text{ kN/m}^2$

➤ Beban mati pelat lantai dasar :

Lantai Dasar				
Beban Mati Pada Plat :	H (m)		$\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)}$	W (kN/m ²)
Berat Pasir 1 cm =	0.01	X	16	0.16
Berat Adukan Semen 3 cm =	0.03	X	21	0.63
Berat Keramik 1 cm =	0.01	X	24	0.24
Berat instalasi ME =				0.25
Berat langit - langit dan penggantung =				0.18
Berat total =				1.46
Beban Mati Pada Balok :				
Beban dinding pasangan bata 1/2 batu =	3.15	X	2.5	7.875

➤ Beban mati pelat lantai 2 :

Lantai 2				
Beban Mati Pada Plat :	H (m)		$\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)}$	W (kN/m ²)
Berat Pasir 1 cm =	0.01	x	16	0.16
Berat Adukan Semen 3 cm =	0.03	x	21	0.63
Berat Keramik 1 cm =	0.01	x	24	0.24

Beban Mati Pada Plat :	H (m)		γ (kN/m ³)	W (kN/m ²)
Berat instalasi ME=				0.25
Berat langit – langit dan penggantung =				0.18
Berat total =				1.46
Beban Mati Pada Balok :				
Beban dinding pasangan bata ½ batu =	4.1	x	2.5	10.25

➤ Beban mati pelat lantai 3 :

Lantai 3				
Beban Mati Pada Plat :	H(m)		γ (kN/m ³)	W (kN/m ²)
Berat Pasir 1 cm =	0.01	x	16	0.16
Berat Adukan Semen 3cm =	0.03	x	21	0.63
Berat Keramik 1 cm =	0.01	x	24	0.24
Berat instalasi ME =				0.25
Berat langit - langit dan penggantung =				0.18
Berat total =				1.46
Beban Mati Pada Balok :				
Beban dinding pasangan bata 1/2 batu =	4	x	2.5	10

➤ Beban mati pelat atap :

Atap				
Plat Atap :	H(		γ (kN/m ³)	W (kN/m ²)
Berat waterproofing =	0.02	X	14	0.28
Berat plafond dan penggantung =				0.2
Berat instalasi ME =				0.25
Berat total =				0.73

2. Beban hidup (live load)

Beban hidup adalah berat yang diakibatkan oleh penggunaan bangunan dimana beban yang bekerja tergantung dari fungsi

masing – masing ruang yang digunakan. Pada acuan (SNI 1727:2013) tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, Menyebutkan berat bangunan mall yaitu sebesar 4 kN/m^2 .

3. Beban gempa

a. Faktor keutamaan struktur (*I*)

Berdasarkan (SNI 1726:2012) untuk bangunan mall mempunyai Faktor Keutamaan Bangunan sebesar 1.0. dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Faktor Keutamaan Struktur

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II

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

(sumber : SNI 1726:2012)

b. Faktor reduksi gempa (*R*)

Berdasarkan (SNI 1726:2012) Faktor Reduksi Gempa untuk perencanaan konstruksi bangunan Mall Pelayanan Publik Kabupaten Grobogan menggunakan sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus untuk $R = 8$. Dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Faktor Reduksi Gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_s (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap lekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^{h,i}	TI ^h	TI ⁱ
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^h	TI ^h	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI

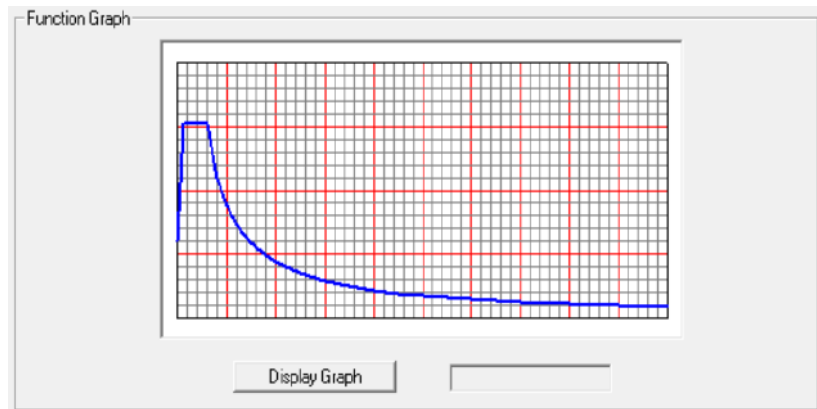
(sumber : SNI 1726:1012)

c. Zona wilayah gempa

Untuk menentukan zona yang akan direncanakan yaitu berdasarkan dari website http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia, sehingga akan didapatkan data – data parameter gempa dan grafik *Response Spectrum*.

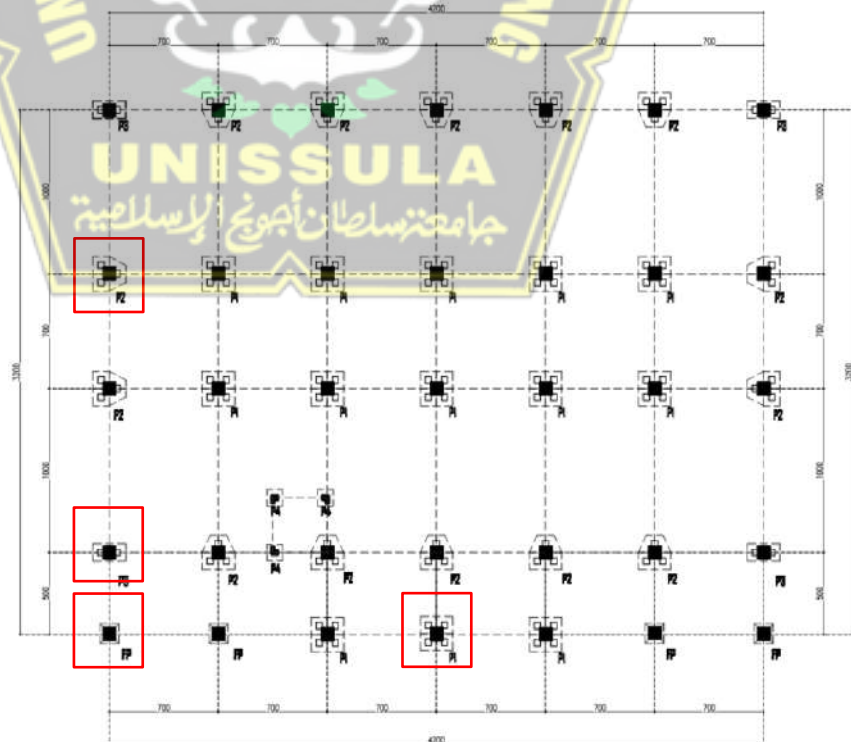
- Percepatan respon *spectral* MCE dari peta gempa pada periode pendek, $SS(g) = 0,764$
- Percepatan respon *spectral* MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, $S1(g) = 0,288$
- Percepatan respon *spectral* MCE dari peta gempa pada periode pendek, $S_{MS}(g) = 0,913$
- Percepatan respon *spectral* MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, $S_{M1}(g) = 0,526$
- Percepatan respon *spectral* MCE dari peta gempa pada periode pendek, $S_{Ds}(g) = 0,609$
- Percepatan respon *spectral* MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, $S_{D1}(g) = 0,351$
- T_0 (detik) = 0,115
- T_1 (detik) = 0,576
- Koefisien Situs, $F_a = 1,22$

➤ Koefisien Situs, $F_v = 1,78$



Gambar 4.3 Respons Spektrum Jenis Tanah Sedang Wilayah Purwodadi (<http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/>. 2019)

Selanjutnya data parameter gempa yang telah didapat di masukkan ke dalam data gempa di *software* SAP2000 versi 14. Setelah seluruh beban dimasukkan pada pemodelan struktur dengan memakai program SAP2000 versi 14, diperoleh hasil *output joint reactions*. Berikut titik *joint* yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 4.4.



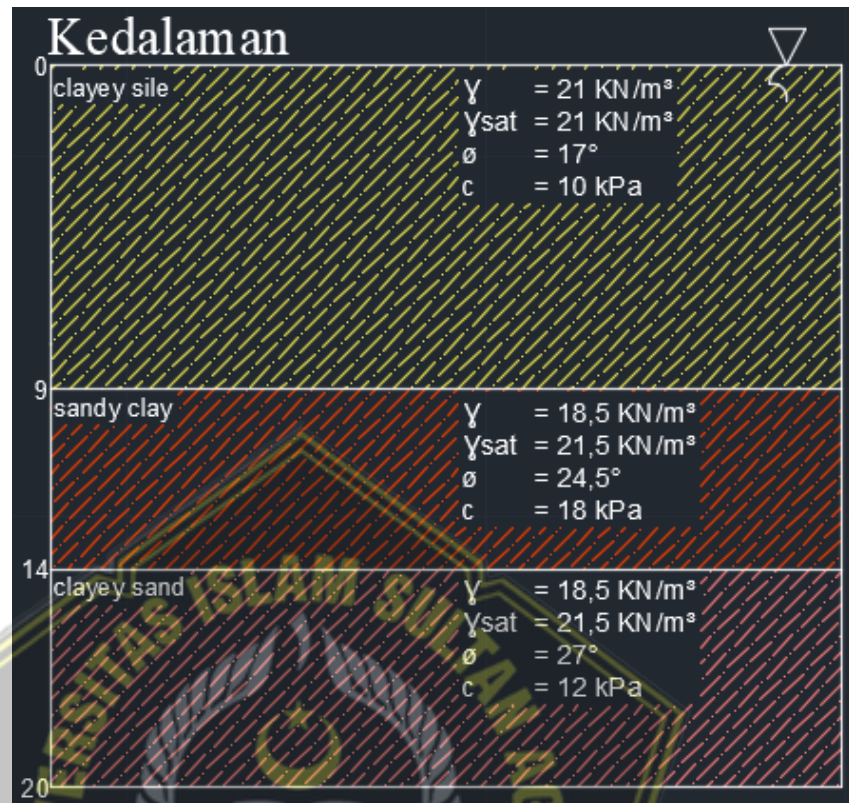
Gambar 4.4 Titik *Joint* yang Direncanakan

Untuk melihat beban struktur atas hasil dari permodelan SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini :

Tabel 4.4 Beban Struktur Atas

Joint	P (kN)			M (kNm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	14.793	-29.723	1007.702	-75.2673	13.4399	-1.1264
2	24.754	107.418	1420.975	-166.305	16.1555	0.509
3	18.364	11.071	1472.499	-104.465	7.9382	3.4628
4	374.019	-102.632	1317.279	-296.66	20.037	183.8095
5	7.048	-78.92	1736.71	-26.9148	15.7815	0.5394
6	19.989	132.897	2342.8	-190.165	22.2461	-1.4073
7	19.788	-12.588	2460.657	-83.3297	19.4858	-3.6071
8	19.397	148.612	2039.719	-285.386	-6.6183	17.0246
11	-17.423	-82.452	1800.55	-23.5457	-7.4485	0.3696
12	-14.327	132.688	2361.615	-189.029	-10.471	-1.8053
13	-18.867	-9.302	2414.216	-104.928	-13.3688	-3.8736
14	-31.064	-132.832	2493.698	-194.76	5.5354	5.8324
15	-8.322	-79.861	1782.919	-26.2058	1.0792	-0.9555
16	8.741	132.852	2324.616	-188.871	11.7517	1.3345
17	4.796	-14.925	2295.942	-76.4469	7.2888	3.0868
18	-2.554	-191.728	2434.133	-237.485	0.9271	-9.8573
19	-9.569	-79.783	1799.276	-27.6855	-0.1203	0.61
20	7.643	136.215	2350.522	-193.782	10.071	-1.4549
21	1.132	-8.544	2348.894	-84.8886	2.5671	-2.7393
22	-2.12	-147.108	2313.686	-233.375	5.4035	14.3169
23	-7.882	-79.47	1830.918	-29.8679	2.2372	-0.9486
24	8.686	137.582	2360.904	-197.509	11.2734	1.1673
25	3.193	-2.844	2404.747	-95.0071	6.1462	2.8917
26	-6.327	139.768	1785.937	-288.302	-3.9792	-12.1218
27	-22.327	-43.244	1175.505	-63.957	0.3895	0.2454
28	-10.135	103.375	1387.742	-164.732	2.4511	-1.3564
29	-16.215	17.562	1454.065	-114.14	-2.6359	-2.3168
31	-365.208	-104.084	1275.604	-320.363	-16.5651	-234.411
32	233.427	40.337	171.22	25.2701	-5.4106	-43.324
33	0	0	23.112	5.0683	-8E-15	0
34	-13.365	3.348	581.393	-1.3678	-18.3603	-5.1609
35	0.758	2.703	754.715	-0.4182	3.8942	4.8897
36	1.274	4.866	569.972	-2.885	12.4716	-6.0927
37	0	0	23.112	5.0683	-8E-15	0
38	-203.698	19.98	161.636	28.8107	12.9171	50.4927

Untuk mengetahui lapis pada tiap tanah dan jenisnya di lapangan lihat **Gambar 4.5** berikut :



Gambar 4.5 pelapisan tanah dan parameter

4.3 Daya Dukung Aksial Tanah Fondasi Satu Tiang (*Single Pile*)

Pada perencanaan ulang proyek Mall Pelayanan Publik Purwodadi, akan direncanakan menggunakan fondasi tiang pancang dengan data sebagai berikut :

- Diameter = 40 cm = 0,4 m
- Kedalaman = 20 m
- Keliling = $S \times 4$
 $= 0,4 \times 4$
 $= 1.6 \text{ m}$
- Luas (A_p) = $S \times S$
 $= 0,4 \times 0,4$
 $= 0,16 \text{ m}^2$
- Berat tiang = $A_p \times B_j \times \text{Kedalaman}$
 $= 0,16 \times 2400 \times 20$

$$= 7680 \text{ kg}$$

$$= 7,68 \text{ ton}$$

$$= 76,8 \text{ kN}$$

4.3.1 Daya dukung tanah fondasi berdasarkan hasil sondir

Menggunakan data sondir 3 proyek Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik) dan persamaan rumus dari *Meyerhof* didapatkan hasil daya dukung sebagai berikut:

a. Daya Dukung Ultimit

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= (q_c \times A_p) + (JHL \times K_{ll}) \\ &= (150 \times 1600) + (3600 \times 160) \\ &= 816000 \text{ kg} \\ &= 8160 \text{ kN} \end{aligned}$$

Keterangan : pada uji hasil sondir kedalaman 20, nilai q_c sudah lebih dari 150, jadi nilai q_c di asumsikan 150

b. Daya Dukung Ijin

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_{ult}}{SF} - W \\ &= \frac{8160}{3} - 76,8 \\ &= 2643,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.3.2 Daya dukung aksial tanah fondasi metode *Reese & Wright*

a. Daya Dukung Ujung Fondasi

$$\begin{aligned} Q_p &= A_p \times \left(7 \times \frac{N_1 + N_2}{2} \right) \text{ (Untuk tanah non kohesif)} \\ Q_p &= A_p \times q_p \text{ (Untuk tanah kohesif)} \end{aligned}$$

Dengan :

Q_p = Daya dukung ujung tiang (kN)

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

q_p = Tahanan ujung tiang (kN/m^2)

Untuk tanah kohesif pada lapisan tanah kedalaman 2 meter berikut ini :

$$q_p = 9 \times c_u \text{ (nilai 9 didapat dari rumus)}$$

$$\begin{aligned} c_u &= N\text{-SPT} \times \frac{2}{3} \times 10 \\ &= 16 \times \frac{2}{3} \times 10 \end{aligned}$$

$$= 106,66 \text{ Jadi } q_p = 9 \times 106,66 \text{ yakni } 960$$

$$\begin{aligned} Q_p &= A_p \times q_p \\ &= 0,16 \times 960 \\ &= 153,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

Untuk tanah non kohesif pada lapisan tanah kedalaman 16 meter berikut ini :

$$\begin{aligned} Q_p &= A_p \times \left(7x \frac{N_1 + N_2}{2} \right) \\ &= 0,16 \times \left(7x \frac{51 + 66}{2} \right) \\ &= 65,52 \text{ kN} \end{aligned}$$

Ket : nilai N1 dan N2 di ambil dari NSPT tabel 4.7 dengan kedalaman 16 dan 18

b. Daya Dukung Gesek Fondasi tiang

Gesekan selimut tiang per satuan luas di pengaruhi oleh jenis tanah dan parameter kuat geser tanah.

$$\begin{aligned} Q_s &= f \times L_i \times p \\ f_{(\text{kohesif})} &= \alpha \times C_u \\ f_{(\text{non kohesif})} &= \alpha \times N\text{-SPT} \end{aligned}$$

Dimana :

Q_s = Daya Dukung Selimut Tiang (kN)

f = Gesekan selimut tiang (kN/m²)

α = Faktor Adhesi

- 0,32 untuk tanah non-kohesif

- 0,55 untuk tanah kohesif

C_u = Kohesi tanah (kN/m²)

Untuk tanah kohesif pada lapisan tanah kedalaman 2 meter berikut ini :

$$\begin{aligned} f_{(\text{kohesif})} &= \alpha \times C_u \\ &= 0,55 \times 106,7 \\ &= 58,7 \text{ kN/m}^2 \\ Q_s &= f \times L_i \times p \\ &= 58,7 \times 2 \times 1,6 \\ &= 187,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

Untuk tanah non-kohefif pada lapisan tanah kedalaman 16 meter berikut ini :

$$f_{\text{(non kohesif)}} = \alpha \times \text{N-SPT}$$

$$= 0,32 \times 51$$

$$= 16,32 \text{ kN/m}^2$$

$$\sum Q_s = (f \times L_i \times P) + \sum Q_s(0 \text{ m} - 14 \text{ m})$$

$$= (16,32 \times 2 \times 1,6) + 1636,22$$

$$= 1688,4 \text{ kN}$$

c. Daya Dukung Ultimit Tiang Tunggal (*Single Pile*)

- Untuk kedalaman 2 meter

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

$$= 153,6 + 187,4$$

$$= 341 \text{ kN}$$

- Untuk kedalaman 16 meter

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

$$= 65,52 + 1688,4$$

$$= 1753,96 \text{ kN}$$

d. Daya Dukung Ijin Tiang Tunggal (*Single Pile*)

- Untuk kedalaman 2 meter

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

$$= \frac{341,33}{3}$$

$$= 113,78 \text{ kN}$$

- Untuk kedalaman 16 meter

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

$$= \frac{1753,96}{3}$$

$$= 584,65 \text{ kN}$$

Untuk perhitungan kedalaman berikutnya, dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perhitungan Daya Dukung Aksial Metode Reese & Wright

JENIS TANAH	Depth (m)	N-SPT	Cu (kN/m ²)	α	f (kN/m ²)	Li (m)	keliling tiang (m)	Qs (kN)		Ap (m ²)	qp (kN/m ²)	Qp (kN)	Qult (kN)	Qall (kN)
								local	cumulative					
KOHESI F	0	0	0	0.55	0	0	1.6	0	0	0.16	0	0.00	0.00	0.00
	2	16	106.67	0.55	58.67	2		187.7333	187.733333	0.16	960	153.60	341.33	113.78
	4	21	140.00	0.55	77.00	2		246.4	434.133333	0.16	1260	201.60	635.73	211.91
	6	23	153.33	0.55	84.33	2		269.8667	704	0.16	1380	220.80	924.80	308.27
	8	25	166.67	0.55	91.67	2		293.3333	997.333333	0.16	1500	240.00	1237.33	412.44
	10	39	260	0.55	143.00	2		457.6	1454.93333	0.16	2340	374.40	1829.33	609.78
	12	53	353	0.55	29.15	2		93.28	1548.21333	0.16	3180	508.80	2057.01	685.67
	14	50	333	0.55	27.50	2		88	1636.21333	0.16	3000	480.00	2116.21	705.40
NON-KOHESI F	16	51	-	0.32	16.32	2		52.224	1688.44	0.16	409.5	65.52	1753.96	584.65
	18	66	-	0.32	21.12	2		67.584	1756.02	0.16	476	76.16	1832.18	610.73
	20	70	-	0.32	22.40	2		71.68	1827.70	0.16	455	72.80	1900.50	633.50

4.3.3 Daya dukung aksial tanah fondasi metode *Mayerhof*

a. Daya Dukung Ujung Tanah Fondasi (*Single Pile*)

- Daya dukung ujung (Q_p) untuk tanah kohesif

$$Q_p = 9 C_u \times A_p$$

Dimana :

C_u = Kohesi tanah (kN/m^2)

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

Untuk tanah kohesif pada lapisan tanah kedalaman 2 meter berikut ini :

$$\begin{aligned} Q_p &= 9 C_u \times A_p \\ &= 9 \times 106,67 \times 0,16 \\ &= 153,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Daya dukung ujung (Q_p) untuk tanah non-kohesif

$$Q_p = 40 N_b \times A_p$$

Dengan :

N_b = Nilai rata-rata dari 8D diatas ujung fondasi dan 4 D dibawah ujung fondasi

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

Untuk tanah non-kohesif pada lapisan tanah kedalaman 16 meter berikut ini :

N-SPT 8D di atas ujung dan di bawah ujung 4D

$$\begin{aligned} \text{N-SPT } 8D &= 0,4 (\text{diameter tiang}) \times 8 \\ &= 3,2 \end{aligned}$$

Jadi N-SPT 8D diatas ujung [20 (panjang tiang pancang) – 3,2] = 16,8

N-SPT 4D di atas ujung dan di bawah ujung 4D

$$\begin{aligned} \text{N-SPT } 4D &= 0,4 (\text{diameter tiang}) \times 4 \\ &= 1,6 \end{aligned}$$

Jadi N-SPT 8D diatas ujung [20 (panjang tiang pancang) – 1,6] = 21,6 (22)

Nilai Nb di peroleh dari rata – rata kedalaman 16 – 22 jadi

$$Nb = \frac{51+66+70+71}{4} = 64,5 \text{ (lihat tabel 4.7) N-SPT.}$$

$$\begin{aligned} Q_p &= 40 Nb \times A_p \\ &= 40 \times 64,5 \times 0,16 \\ &= 412,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Daya Dukung Selimut Tiang

- Daya dukung selimut tiang (Qs) untuk tanah kohesif

$$Q_s = \alpha \times C_u \times p \times L_i$$

Dengan :

α = Faktor adhesi (didapat dari grafik pada Gambar 4.5)

C_u = Kohesi tanah (kN/m^2)

p = Keliling penampang tiang (m)

L_i = Tebal lapisan tanah ke-i (m)

Untuk tanah kohesif pada lapisan tanah kedalaman 2 meter berikut ini :

$$\begin{aligned} Q_s &= \alpha \times C_u \times p \times L_i \\ &= 0,5 \times 106,67 \times 1,6 \times 2 \\ &= 170,672 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Daya dukung selimut tiang (Qs) untuk tanah non-kohesif

$$Q_s = 0,2 \text{ N-SPT} \times p \times L_i$$

Dengan :

p = Keliling penampang tiang (m)

L_i = Tebal lapisan tanah ke-i (m)

Untuk tanah non-kohesif pada lapisan tanah kedalaman 16 meter berikut ini :

$$\begin{aligned} Q_s &= (0,2 \text{ N-SPT} \times p \times L_i) + \sum Q_s (0 \text{ m} - 14 \text{ m}) \\ &= (0,2 \times 51 \times 1,6 \times 2) + 1513,33 \\ &= 1545,97 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Daya Dukung Ultimit Tanah Fondasi Satu Tiang (Qult)

- Untuk kedalaman 2 meter

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= Q_p + \sum Q_s \\ &= 153,6 + 170,672 \end{aligned}$$

$$= 324,272 \text{ kN}$$

- Untuk kedalaman 16 meter

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

$$= 412,8 + 1545,97$$

$$= 1958,77 \text{ kN}$$

d. Daya Dukung Ijin Tanah Fondasi Satu Tiang (Qall)

- Untuk kedalaman 2 meter

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

$$= \frac{260,27}{3}$$

$$= 108,09 \text{ kN}$$

- Untuk kedalaman 16 meter

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

$$= \frac{1958,77}{3}$$

$$= 2020,28 \text{ kN}$$

Untuk kedalaman berikutnya, dapat dilihat pada Tabel 4.6 dibawah ini.



Tabel 4.6 Perhitungan Daya Dukung Aksial Metode *Meyerhof*

JENIS TANAH	Depth (m)	N-SPT	40 Nb	0,2 N-SPT	Cu (kN/m ²)	α	Li (m)	Keliling (m)	Ap (m ²)	Qs		Qp	Qult	Qall
										Local	Cumulative			
KOHESI F	0	0	2580	0.00	0.00	0	0	1.6	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	16	2580	3.20	106.67	0.5	2	1.6	0.16	106.67	106.67	153.60	260.27	86.76
	4	21	2580	4.20	140.00	0.5	2	1.6	0.16	140.00	246.67	201.60	448.27	149.42
	6	23	2580	4.60	153.33	0.5	2	1.6	0.16	153.33	400.00	220.80	620.80	206.93
	8	25	2580	5.00	166.67	0.5	2	1.6	0.16	166.67	566.67	240.00	806.67	268.89
	10	39	2580	7.80	260.00	0.5	2	1.6	0.16	260.00	826.67	374.40	1201.07	400.36
	12	53	2580	10.60	353.33	0.5	2	1.6	0.16	353.33	1180.00	508.80	1688.80	562.93
	14	50	2580	10.00	333.33	0.5	2	1.6	0.16	333.33	1513.33	480.00	1993.33	664.44
NON-KOHESI F	16	51	2580	10.20	340.00	-	2	1.6	0.16	32.64	1545.97	412.80	1958.77	652.92
	18	66	2580	13.20	440.00	-	2	1.6	0.16	42.24	1588.21	412.80	2001.01	667.00
	20	70	2580	14.00	466.67	-	2	1.6	0.16	44.80	1633.01	412.80	2045.81	681.94

4.3.4 Daya dukung aksial tanah fondasi metode *U.S army corps*

a. Menentukan Kedalaman (Z_c)

Menurut *U.S Army Corps* ketentuan Z :

$Z_c \geq 10D$ untuk tanah longgar

$Z_c \geq 15D$ untuk tanah kepadatan sedang

$Z_c \geq 20D$ untuk tanah padat

Pada perencanaan ini menggunakan $Z_c = 20D$ untuk tanah dengan kepadatan tinggi. Sehingga dapat dihitung Tekanan *Overburden* (P_o') sebagai berikut :

- P_o' pada $Z_c = 2$ meter

$$\begin{aligned} P_o' &= Z_c \times \gamma \\ &= 2 \times 20 \\ &= 40 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- P_o' pada $Z_c \geq 8$ meter

$$\begin{aligned} P_o' &= 40 + (6 \times \gamma) \\ &= 40 + (6 \times 20) \\ &= 160 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

b. Daya Dukung Ujung Tanah Fondasi (*Single Pile*)

$$\begin{aligned} Q_b &= A_b \times p_b' \times N_q \\ &= 0,16 \times 160 \times 120 \\ &= 2352 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Daya Dukung Gesek Tanah Fondasi Satu Tiang (*Single Pile*)

Tabel 4.7 Perhitungan $K_d \text{ tg } \delta$ (metode US army)

Depth (m)	N-SPT	ϕ' (°)	K_d	δ (°)	$K_d \text{ tg } \delta$
0	0	0	1	0	0
2	16	33	1	29.7	0.57
4	21	33	1	29.7	0.57
6	23	34	1	30.6	0.59
8	25	34	1	30.6	0.59
10	39	38	1	34.2	0.68
12	53	41	1	36.9	0.75
14	50	41	1	36.9	0.75
16	51	41	1	36.9	0.75

Depth (m)	N-SPT	ϕ' (°)	Kd	δ (°)	Kd tg δ
18	66	43	1	38.7	0.8
20	70	44	1	39.6	0.83

- Untuk kedalaman 0 – 2 meter

$$\begin{aligned}
 Q_s &= \sum A_s \times K_d \times \tan \delta \times P_o' \\
 &= (2 \times 1,6) \times 0,57 \times \frac{1}{2} (0 + 20) \\
 &= 36,48 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

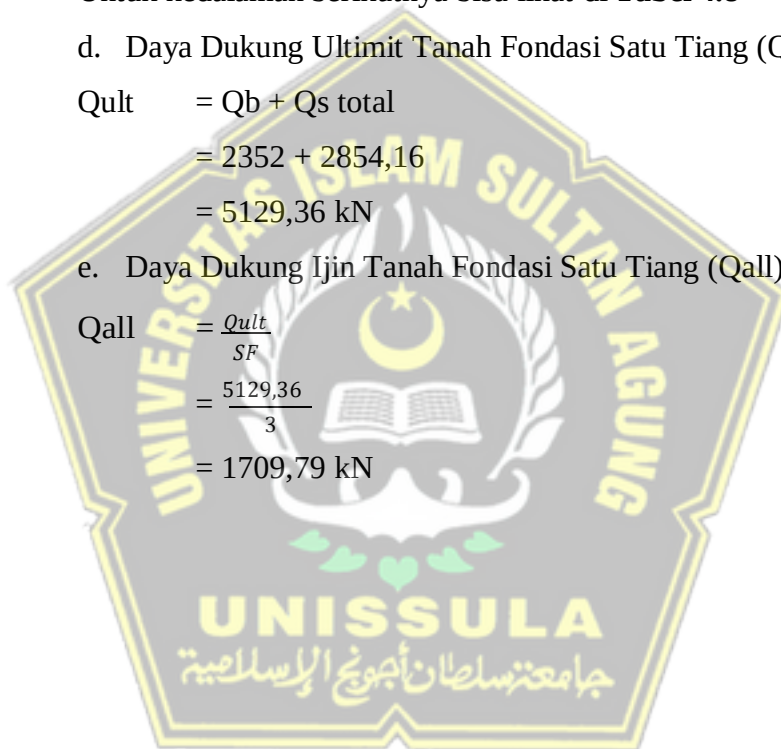
Untuk kedalaman berikutnya bisa lihat di **Tabel 4.8**

d. Daya Dukung Ultimit Tanah Fondasi Satu Tiang (Qult)

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= Q_b + Q_s \text{ total} \\
 &= 2352 + 2854,16 \\
 &= 5129,36 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

e. Daya Dukung Ijin Tanah Fondasi Satu Tiang (Qall)

$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= \frac{Q_{ult}}{SF} \\
 &= \frac{5129,36}{3} \\
 &= 1709,79 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



Tabel 4.8 Perhitungan Daya Dukung Aksial Metode *U.S Army Corps*

JENIS TANAH	Depth (m)	N-SPT	ϕ' (°)	Kd	δ (°)	Kd tg δ	γ (kN/m ³)	Po (kN.m ²)	Po Rerata (kN.m ²)	Li (m)	Keliling (m)	Ap (m ²)	Nq	Qs		Qp	Qult	Qall
														Local	Cumulative			
KOHESI F	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1.6	0.16	1	0	0	0.00	0.00	0.00
	2	16	33	1	29.7	0.57	20	40	20	2	1.6	0.16	30	36.48	36.48	96.00	124.80	41.60
	4	21	33	1	29.7	0.57	20	80	50	2	1.6	0.16	30	91.2	127.68	240.00	352.32	117.44
	6	23	34	1	30.6	0.59	20	120	85	2	1.6	0.16	40	160.48	288.16	544.00	809.12	269.71
	8	25	34	1	30.6	0.59	20	160	122.5	2	1.6	0.16	40	231.28	519.44	784.00	1272.72	424.24
	10	39	38	1	34.2	0.68	18.5	160	122.5	2	1.6	0.16	80	348.16	867.6	1568.00	2397.20	799.07
	12	53	41	1	36.9	0.75	18.5	160	122.5	2	1.6	0.16	90	384	1251.6	1764.00	2969.52	989.84
	14	50	41	1	36.9	0.75	18.5	160	122.5	2	1.6	0.16	90	384	1635.6	1764.00	3345.84	1115.28
NON-KOHESI F	16	51	41	1	36.9	0.75	18.5	160	122.5	2	1.6	0.16	90	384	2019.6	1764.00	3722.16	1240.72
	18	66	43	1	38.7	0.8	18.5	160	122.5	2	1.6	0.16	120	409.6	2429.2	2352.00	4712.08	1570.69
	20	70	44	1	39.6	0.83	18.5	160	122.5	2	1.6	0.16	120	424.96	2854.16	2352.00	5129.36	1709.79

4.3.5 Daya dukung aksial tanah fondasi berdasarkan kekuatan bahan

Kekuatan bahan dalam perencanaan fondasi tiang pancang sangat diperhitungkan untuk menahan beban yang diberikan dari struktur atas. Berikut perhitungan daya dukung aksial ijin tanah fondasi berdasarkan kekuatan bahan :

$$\begin{aligned} P &= (A_p \times T_{bk}) + (A_s \times \tau) \\ &= (0,16 \times 40000) + (0,0000785 \times 240000) \\ &= 6418,84 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.3.6 Hasil perhitungan

Setelah menghitung daya dukung aksial tanah fondasi dengan perhitungan berdasarkan hasil sondir, metode Reese & Wright, metode Meyerhof, dan metode U.S Army Corps. Berikut ini adalah tabel hasil perhitungan dan perbandingan yang dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan dan Perbandingan Daya Dukung Aksial Tanah Fondasi

Metode	Daya Dukung Ujung (kN)	Daya Dukung Selimut (kN)	Daya Dukung Ultimit (kN)	Daya Dukung Ijin (kN)
Hasil Sondir	2400	5760	8160	2643,2
Reese & Wright	72,8	1827	1900,5	633
Meyerhof	412,8	1633,01	2045,81	681,94
U.S Army Corps	2352	2854,16	5129,36	1709,79
Daya dukung yang dipakai	72,8	1827	1900,5	633

Pada tabel 4.9 dapat diambil daya dukung fondasi yang memiliki nilai terkecil untuk dijadikan acuan pada perhitungan berikutnya. Hasil nilai daya dukung fondasi yang terkecil yaitu dari perhitungan menggunakan metode *Reese & Wright* dengan daya dukung ujung sebesar **72,8 kN**, daya dukung selimut sebesar **1827 kN**,

daya dukung ultimit sebesar **1900,5 kN** dan daya dukung ijin sebesar **633 kN**

Untuk perhitungan daya dukung aksial tanah fondasi berdasarkan kekuatan bahan untuk tiang pancang berdiameter 40 cm dengan diameter tulangan Ø10 mm didapatkan daya dukung ijin (P) sebesar 6418,84 kN.

4.4 Daya Dukung Lateral Fondasi Satu Tiang (Single Pile)

4.4.1 Daya dukung lateral ultimit menurut metode Broms

a. Data beban *joint* 32

$$\text{Momen (My)} = 5,5 \text{ kNm}$$

$$D = 0,4 \text{ m}$$

$$\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$$

$$\begin{aligned} K_p &= \text{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right)^\circ \\ &= \text{tg}^2 \left(45 + \frac{27}{2} \right)^\circ \\ &= 2,6 \end{aligned}$$

b. Secara grafis

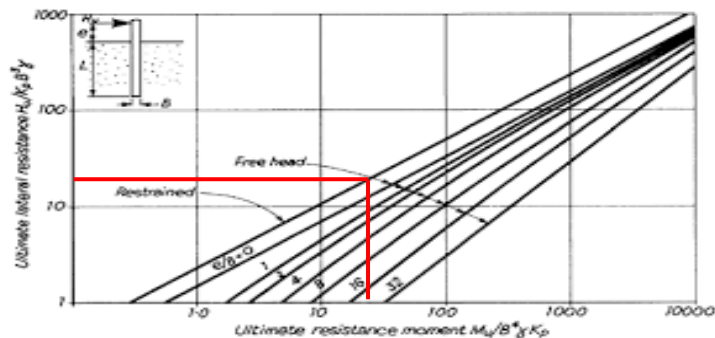
$$\frac{My}{D^4 \gamma K_p} = \frac{5,5}{0,4^4 \times 18,5 \times 2,6} = 24,4$$

Setelah didapatkan hasil di atas, selanjutnya dari Gambar 4.6, dengan interpolasi maka diperoleh nilai :

$$\frac{H_u}{K_p \times D^3 \times \gamma} = 20$$

$$H_u = 2,6 \times 0,4^3 \times 18,5 \times 20$$

$$H_u = 61,568 \text{ kN}$$



Gambar 4.6 Grafik Daya Dukung Lateral Ultimit

4.4.2 Daya dukung lateral ijin menurut metode *Broms*

$$H = \frac{H_u}{SF}$$

$$= \frac{61,568}{3}$$

$$= 20,5 \text{ kN}$$

4.4.3 Daya dukung lateral ultimit menurut metode *Mayerhof*

$$\begin{aligned} \text{Momen (My)} &= 5,5 \text{ kNm} \\ D &= 0,4 \text{ m} \\ L &= 20 \text{ m} \\ \gamma &= 18,5 \text{ kN/m}^3 \\ K_p &= \text{tg}^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)^\circ \\ &= \text{tg}^2 \left(45 + \frac{44}{2} \right)^\circ \\ &= 5,6 \\ K_r &= \frac{E_p I_p}{E_s L^4} \\ &= \frac{(2,059 \times 10^8)(3,269 \times 10^{-3})}{21000 \times 20^4} \\ &= 0,0002 \\ L_e &= 1,65 \times K_r^{0,12} \times L \\ &= 1,65 \times 0,0002^{0,12} \times 20 \\ &= 11,87 \text{ m} \\ H_u &= 0,125 \times \gamma \times D \times L^2 \times K_p \\ &= 0,125 \times 18,5 \times 0,4 \times 11,87^2 \times 5,6 \\ &= 729,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.4.4 Daya dukung lateral ijin menurut metode *Mayerhof*

$$H = \frac{H_u}{SF}$$

$$= \frac{729,8}{3} = 243,3 \text{ kN}$$

4.5 Daya Dukung Fondasi Kelompok Tiang (*Group Pile*)

Berdasarkan pada data perhitungan daya dukung *single pile*, maka untuk perhitungan daya dukung kelompok tiang (*Group Pile*) dapat dihitung

dengan menggunakan persamaan dari metode *Converse – Labbare*. Berikut perhitungan tiap kelompok tiang :

4.5.1 Menentukan jumlah *pile*

$$n = \left(\frac{P}{Q_a} \right)$$

Dengan :

P = Beban bangunan pada joint

Q_a = Q_{allowable}

Tabel 4.10 Perhitungan Jumlah Tiang

Joint	Beban	N	Pembulatan
1	1007.702	1.591946	2
2	1420.975	2.244826	3
3	1472.499	2.326223	3
4	1317.279	1.923032	2
5	1736.71	2.743618	3
6	2342.8	3.701106	4
7	2460.657	3.887294	4
8	1821.719	2.877913	3
11	1800.55	2.844471	3
12	2361.615	3.730829	4
13	2414.216	3.813927	4
14	1838.549	2.904501	3
15	1782.919	2.816618	3
16	2324.616	3.672379	4
17	2295.942	3.627081	4
18	2434.133	3.845392	4
19	1799.276	2.842458	3
20	2350.522	3.713305	4
21	2348.894	3.710733	4
22	1739.932	2.748708	3
23	1830.918	2.892445	3
24	2360.904	3.729706	4
25	2404.747	3.798968	4
26	1785.937	2.821385	3
27	1175.505	1.857038	2
28	1387.742	2.192325	3
29	1454.065	2.297101	3
31	1215.604	1.920385	2
32	171.22	0.27049	1
33	23.112	0.036512	1

Joint	Beban	N	Pembulatan
34	2381.393	3.762074	4
35	1954.715	3.403973	4
36	2269.972	3.586054	4
37	23.112	0.036512	1
38	161.636	0.255349	1

4.5.2 Menentukan jarak tiang

- a. Syarat jarak tiang (as ke as)

$$2,5D < S < 3D$$

$$(2,5 \times 0,4) < s < (3 \times 0,4) = 1 < S < 1,2$$

$$= 1,2 \text{ m}$$

- b. Syarat jarak as tiang ke tepi

$$S < 1,25D$$

$$S < 1,25 \times 0,4 = S < 0,5$$

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

4.5.3 Perhitungan daya dukung kelompok tiang

Kapasitas daya dukung tiang pancang kelompok dihitung berdasarkan faktor efisiensi. Adapun faktor efisiensi dapat dihitung dengan metode *Converse-labarre equation* :

$$E_g = 1 - \left[\frac{(n_1 - 1) \cdot n_2 + (n_2 - 1) \cdot n_1}{90 \cdot n_1 \cdot n_2} \right] \cdot \theta$$

Dimana :

n_1 = jumlah baris tiang

n_2 = jumlah tiang dalam satu baris

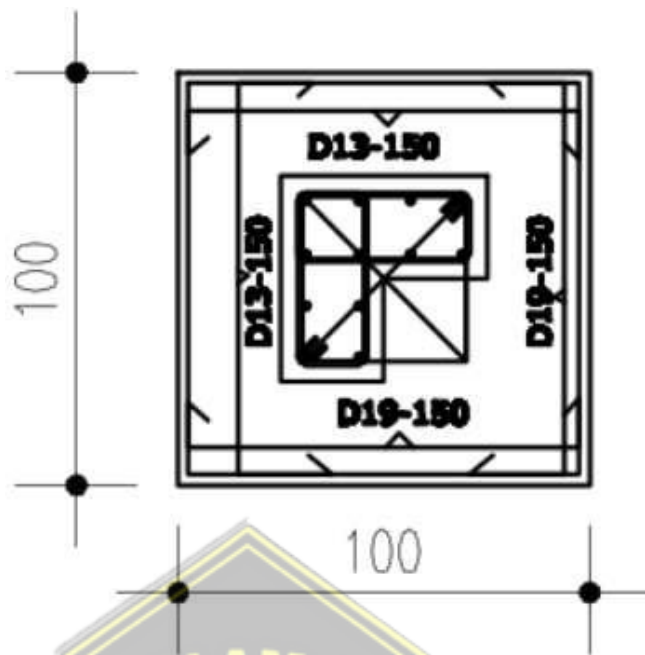
s = jarak antar tiang

D = diameter atau sisi tiang

θ = $\tan^{-1}(D/s)$ ($^{\circ}$)

a. Perhitungan daya dukung kelompok tiang PC 1

Berikut gambar detail fondasi dengan tipe *pile cap* PC.1 dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Detail fondasi PC.1

$$S = 1,2 \text{ m}$$

$$D = 0,4 \text{ m}$$

$$n_1 = 1$$

$$n_2 = 1$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{D}{S} \right)$$

$$= \tan^{-1} \left(\frac{0,4}{1,2} \right)$$

$$= 18,26$$

$$E_g = 1 - \left[\frac{(1 - 1) \cdot 1 + (1 - 1) \cdot 1}{90 \cdot 1 \cdot 1} \right] \cdot 18,26$$

$$= 1$$

$$= 100 \%$$

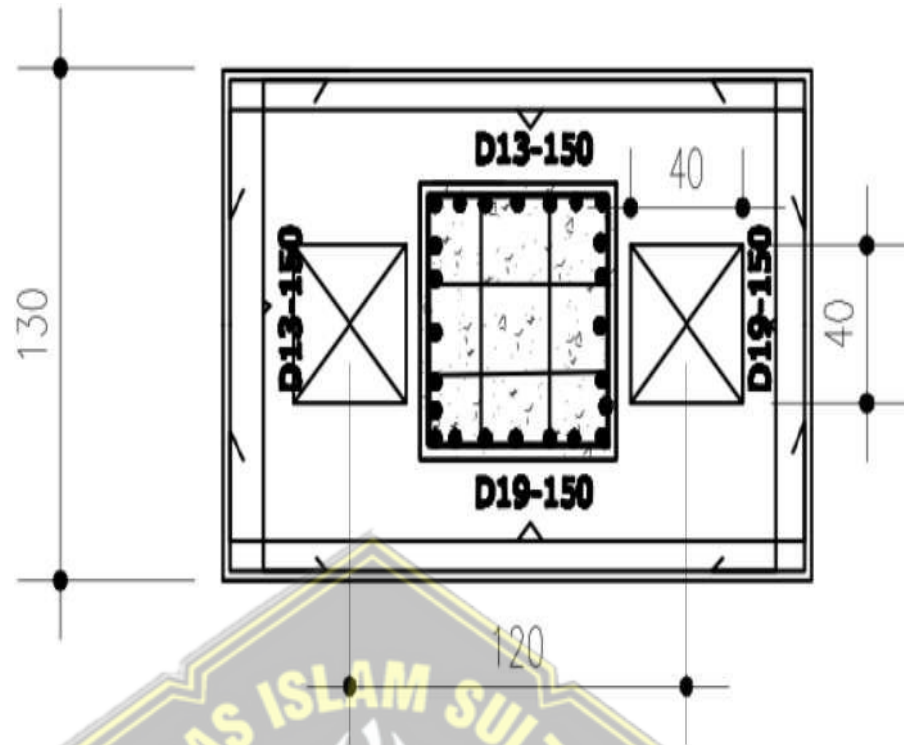
$$Q_{all(group)} = n \times Q_{all(single)} \times E_g$$

$$= 1 \times 633 \times 1$$

$$= 633 \text{ kN}$$

b. Perhitungan daya dukung kelompok tiang PC 2

Berikut gambar detail fondasi dengan tipe *pile cap* PC.2 dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Detail fondasi PC.2

$$S = 1,2 \text{ m}$$

$$D = 0,4 \text{ m}$$

$$n_1 = 1$$

$$n_2 = 2$$

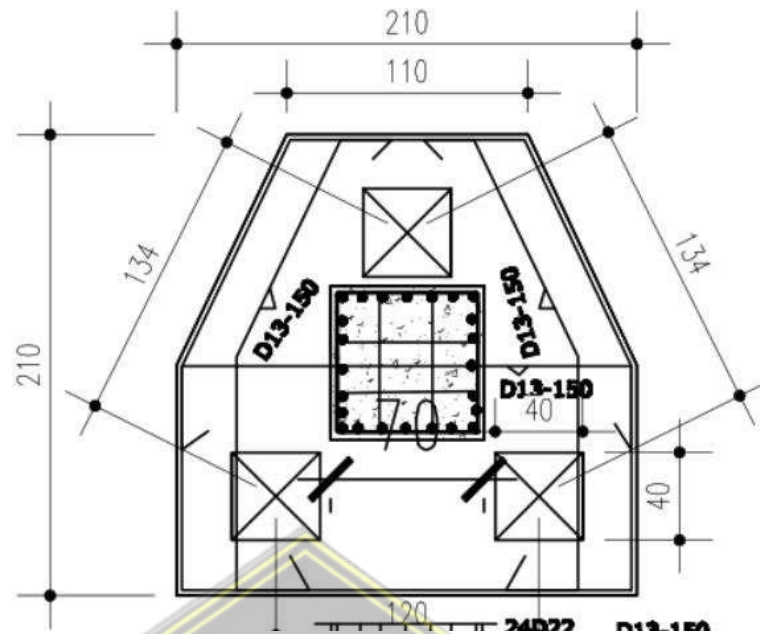
$$\begin{aligned} \theta &= \tan^{-1} \left(\frac{D}{S} \right) \\ &= \tan^{-1} \left(\frac{0,4}{1,2} \right) \\ &= 18,26 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_g &= 1 - \left[\frac{(1 - 1) \cdot 2 + (2 - 1) \cdot 1}{90 \cdot 2 \cdot 1} \right] \cdot 18,26 \\ &= 0,9 \\ &= 90 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{all(group)} &= n \times Q_{all(single)} \times E_g \\ &= 2 \times 633 \times 0,9 \\ &= 1888,45 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Perhitungan daya dukung kelompok tiang PC 3

Berikut gambar detail fondasi dengan tipe *pile cap* PC.3 dapat dilihat pada Gambar 4.9 .



Gambar 4.9 Detail fondasi PC.3

$$S = 1,2 \text{ m}$$

$$D = 0,4 \text{ m}$$

$$n_1 = 2$$

$$n_2 = 2$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{D}{S} \right)$$

$$= \tan^{-1} \left(\frac{0,4}{1,2} \right)$$

$$= 18,26$$

$$E_g = 1 - \left[\frac{(2-1) \cdot 2 + (2-1) \cdot 2}{90 \cdot 2 \cdot 2} \right] \cdot 18,26$$

$$= 0,79$$

$$= 79 \%$$

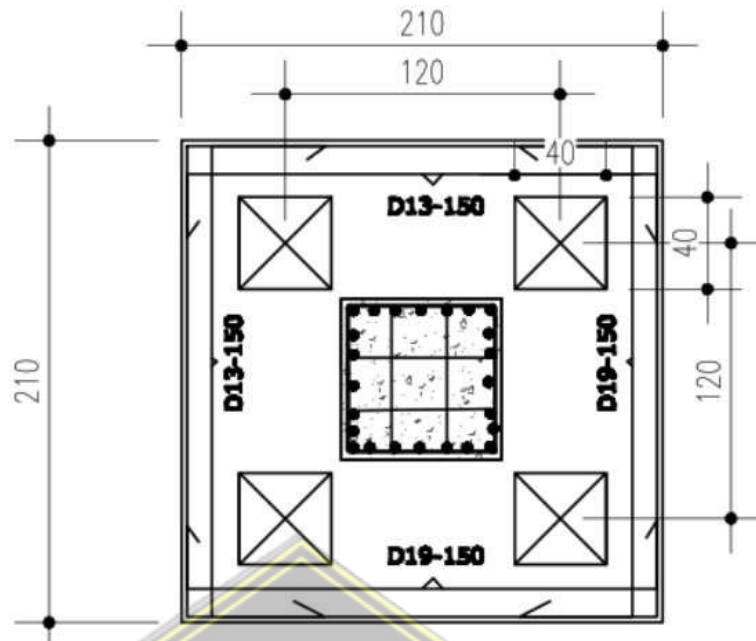
$$Q_{all(group)} = n \times Q_{all(single)} \times E_g$$

$$= 3 \times 633 \times 0,79$$

$$= 1500,21 \text{ kN}$$

d. Perhitungan daya dukung kelompok tiang PC 4

Berikut gambar detail fondasi dengan tipe *pile cap* PC.4 dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Detail fondasi PC.4

$$S = 1,2 \text{ m}$$

$$D = 0,4 \text{ m}$$

$$n_1 = 2$$

$$n_2 = 2$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{D}{S} \right)$$

$$= \tan^{-1} \left(\frac{0,4}{1,2} \right)$$

$$= 18,26$$

$$E_g = 1 - \left[\frac{(2-1) \cdot 2 + (2-1) \cdot 2}{90 \cdot 2 \cdot 2} \right] \cdot 18,26$$

$$= 0,79$$

$$= 79 \%$$

$$Q_{all(group)} = n \times Q_{all(single)} \times E_g$$

$$= 4 \times 633 \times 0,79$$

$$= 2000,28 \text{ kN}$$

Berikut hasil perhitungan daya dukung kelompok tiang dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang Fondasi

Type	Beban (kN)	N	Eg	Qall Group (kN)	Keterangan
PC. 1	171.22	1	1	633	AMAN
PC. 2	1317.279	2	0,9	1888,45	AMAN
PC. 3	1420.975	3	0,79	1500,21	AMAN
PC. 4	1954.715	4	0,79	2000,28	AMAN

4.6 Penurunan Fondasi Tiang Pancang Menggunakan Metode Vesic

Menurut Vesic (1977) terdapat 2 perhitungan penurunan fondasi yaitu penurunan fondasi tiang pancang tunggal dan perhitungan penurunan fondasi kelompok tiang.

4.6.1 Perhitungan penurunan fondasi tiang pancang tunggal (*single pile*)

Menurut Vesic (1977), penurunan elastis di tiang tunggal dapat dihitung dengan rumus seperti di bawah ini :

$$Se = Se_{(1)} + Se_{(2)} + Se_{(3)}$$

Dengan :

Se = Total penurunan tiang pancang

$Se_{(1)}$ = Penurunan elastis tiang pancang

$Se_{(2)}$ = Penurunan tiang pancang dikarenakan beban pada ujung
Tiang

$Se_{(3)}$ = Penurunan tiang pancang dikarenakan beban yang
ditransmisikan sepanjang kulit tiang

- Nilai $Se_{(1)}$ diperoleh dari :

$$Se_{(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p \times E_p}$$

- Untuk nilai $Se_{(2)}$ diperoleh dari :

$$Se_{(2)} = \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p}$$

- Dan untuk nilai $Se_{(3)}$ diperoleh dari :

$$Se_{(3)} = \frac{Q_{ws} \times C_s}{L \times q_p}$$

a. Perhitungan kapasitas dukung fondasi

$$Q_p = 72,8 \text{ kN}$$

$$Q_{wp} = 72,8/3 = 24,26 \text{ kN}$$

$$Q_s = 1827 \text{ kN}$$

$$Q_{ws} = 1827/3 = 609 \text{ kN}$$

$$\xi = 0,67$$

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

$$A_p = S \times S = 0,4 \times 0,4 = 0,16 \text{ m}^2$$

$$E_p = 21 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$$

$$C_p = 0,03 \text{ (Faktor empirik dari tipe tanah dengan tipe tiang pancang)}$$

$$\begin{aligned} C_s &= \text{Konstanta empiris } (0,93 + 0,16 \sqrt{L/D}) \times C_p \\ &= (0,93 + 0,16 \sqrt{20/0,4}) \times 0,03 \\ &= 0,06 \end{aligned}$$

$$D = 0,4 \text{ m}$$

$$q_p = Q_{wp} / A_p = 24,26 / 0,16 = 151,62 \text{ kN/m}^2$$

b. Perhitungan penurunan elastis tiang tunggal

$$\begin{aligned} Se_{(1)} &= \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p \times E_p} \\ &= \frac{(24,26 + 0,67 \times 609)20}{0,16 \times 21 \times 10^6} \\ &= 0,0025 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Se_{(2)} &= \frac{Q_{wp} \times C_p}{D \times q_p} \\ &= \frac{24,26 \times 0,03}{0,4 \times 151,62} \\ &= 0,00249 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Se_{(3)} &= \frac{Q_{ws} \times C_s}{L \times q_p} \\ &= \frac{609 \times 0,06}{20 \times 151,62} \\ &= 0,02508 \text{ m} \end{aligned}$$

Total penurunan :

$$Se = Se_{(1)} + Se_{(2)} + Se_{(3)}$$

$$= 0,0025 + 0,00249 + 0,02508$$

$$= 0,03 \text{ m} = 30 \text{ mm}$$

c. **Penurunan yang diijinkan (S_{ijin}) menurut Terzaghi (1969) :**

$$S_{ijin} = 10\% \times D$$

$$= 10\% \times 0,4$$

$$= 0,04 \text{ m} = 40 \text{ mm}$$

Jadi penurunan tiang tunggal lebih kecil dari syarat yang diijinkan yaitu $30 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$, sehingga syarat penurunan tersebut terpenuhi.

4.6.2 Perhitungan penurunan kelompok tiang fondasi tiang pancang (group pile)

Menurut Vesic (1977), penurunan elastis di tiang kelompok dapat dihitung dengan rumus seperti di baah ini :

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

Dengan :

S_g = Penurunan fondasi pada tiang kelompok (m)

B_g = Lebar kelompok tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

a. Fondasi PC 2

Diketahui :

$$S_e = 0,03 \text{ m}$$

$$B_g = 1,3 \text{ m}$$

$$D = 0,4 \text{ m}$$

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

$$= 0,03 \times \sqrt{\frac{1,3}{0,4}}$$

$$= 0,05 \text{ m} = 50 \text{ mm}$$

Jadi penurunan yang terjadi pada fondasi PC 2 adalah 50 mm.

b. Fondasi PC 3

Diketahui :

$$S_e = 0,03 \text{ m}$$

$$B_g = 2,1 \text{ m}$$

$$D = 0,4 \text{ m}$$

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

$$= 0,03 \times \sqrt{\frac{2,1}{0,4}}$$

$$= 0,07 \text{ m} = 70 \text{ mm}$$

Jadi penurunan yang terjadi pada fondasi PC 3 adalah 70 mm.

c. Fondasi PC 4

Diketahui :

$$S_e = 0,03 \text{ m}$$

$$B_g = 2,1 \text{ m}$$

$$D = 0,4 \text{ m}$$

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

$$= 0,03 \times \sqrt{\frac{2,1}{0,4}}$$

$$= 0,07 \text{ m} = 70 \text{ mm}$$

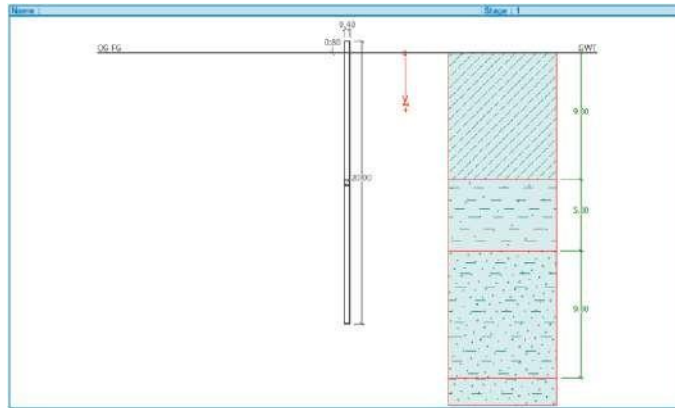
Jadi penurunan yang terjadi pada fondasi PC 4 adalah 70 mm.

4.7 Hasil Perhitungan Menggunakan Aplikasi

Pada perencanaan fondasi proyek pembangunan Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik) untuk perhitungan daya dukung dan penurunan menggunakan aplikasi *Bentley Geostuctural Analysis* dan *Allpile*. Berikut hasil *output* perhitungan menggunakan aplikasi.

4.7.1 Hasil *output Bentley geostuctural analysis* tiang tunggal (*single pile*)

Berikut hasil permodelan fondasi tiang pancang tunggal pada aplikasi *Bentley geostuctural analysis* dapat dilihat pada Gambar 4.11.



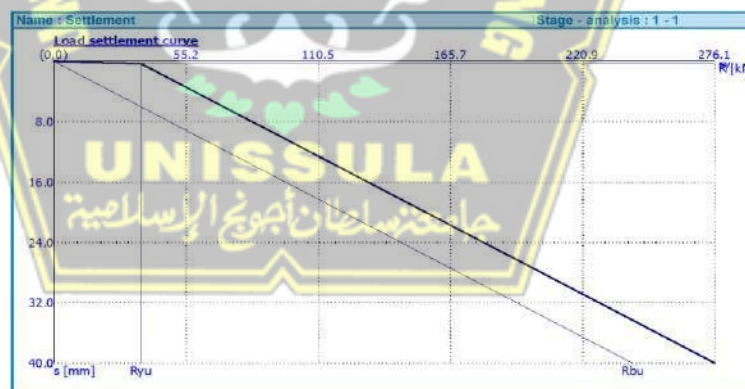
Gambar 4.11 Permodelan Bentley Geostructural Analysis

a. Daya dukung tiang tunggal *single pile*

- Q_b (daya dukung ujung tiang) = 339,76 kN
- Q_s (daya dukung selimut tiang) = 34,44 kN
- Q_{ult} (daya dukung ultimit) = 374,2 kN
- Q_{all} (daya dukung ijin) = 187,1 kN

b. Penurunan fondasi satu tiang (*single pile*)

Berikut grafik penurunan fondasi tiang pancang tunggal pada aplikasi Bentley *geostructural analysis* dapat dilihat pada Gambar 4.12.

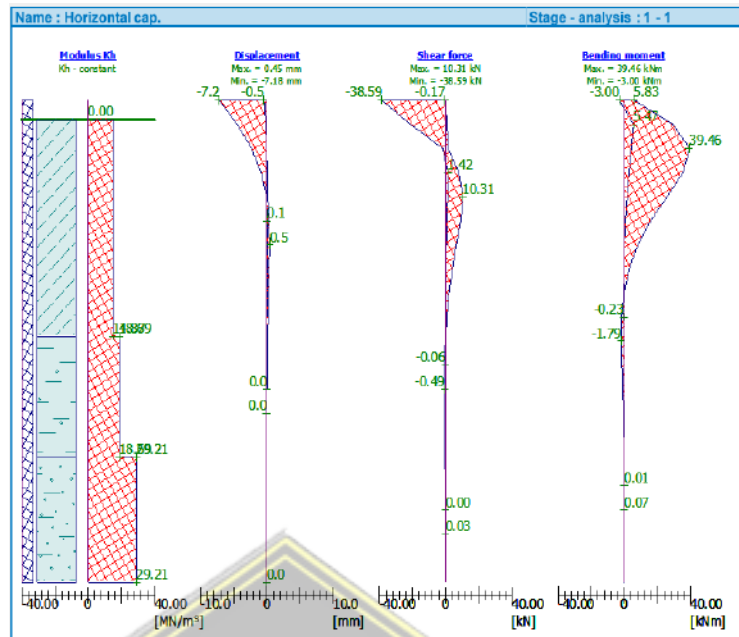


Gambar 4.12 Grafik Penurunan Segera

- Beban = 171,22 kN
- Penurunan segera setelah pembebanan (s_y) = 0.3 mm

c. Daya dukung lateral satu tiang (*single pile*)

Berikut hasil perhitungan daya dukung lateral fondasi tiang pancang tunggal pada aplikasi Bentley *geostructural analysis* dapat dilihat pada Gambar 4.13.



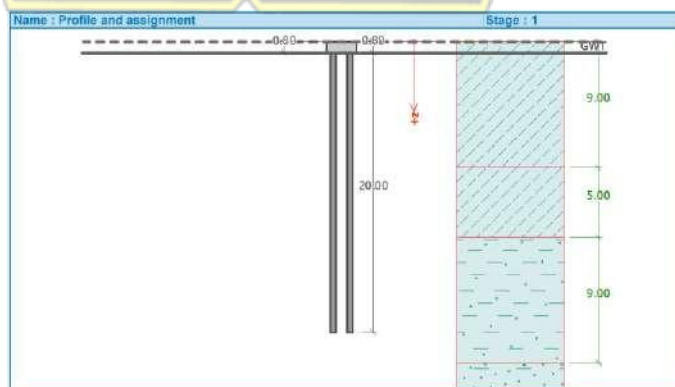
Gambar 4.13 Hasil output daya dukung lateral fondasi tiang pancang tunggal

- *Maximum pile displacement* = 7,2 mm
- *Maximum shear force* = 38,59 mm
- *Maximum moment* = 39,46 kNm

4.7.2 Hasil output *Bentley geostructural analysis* kelompok tiang (*group pile*)

a. *Pile cap* tipe PC 2

Berikut hasil permodelan fondasi tiang pancang tipe PC.2 pada aplikasi *Bentley geostructural analysis* dapat dilihat pada Gambar 4.14.



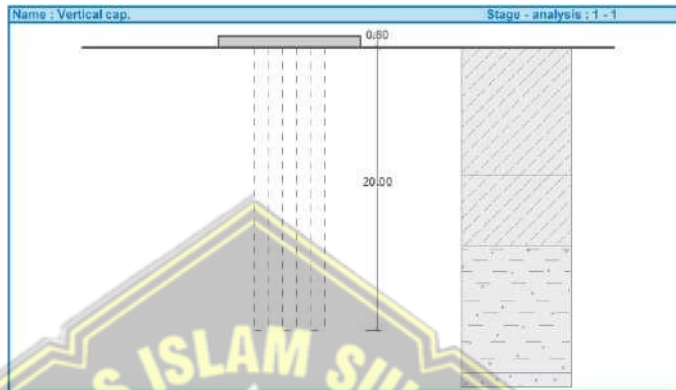
Gambar 4.14 Permodelan *pile cap* tipe PC.2

- Qult (daya dukung ultimit kelompok tiang) = 8222,5 kN

- Qall (daya dukung ijin kelompok tiang) = 4111,25 kN
- Penurunan fondasi kelompok tiang = 74,6 mm

b. *Pile cap* tipe PC 3

Berikut hasil permodelan fondasi tiang pancang tipe PC.3 pada aplikasi *Bentley geostructural analysis* dapat dilihat pada Gambar 4.15.

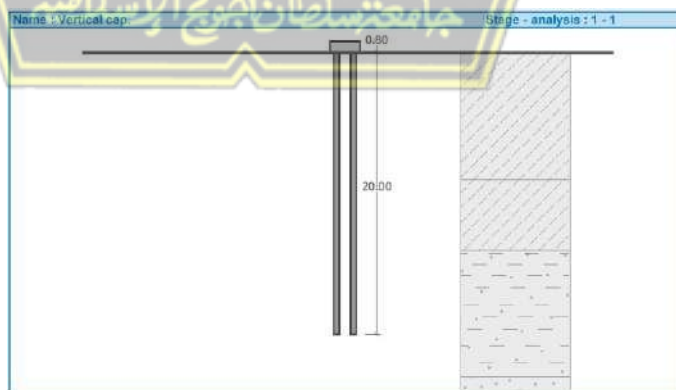


Gambar 4.15 Permodelan *pile cap* tipe PC.3

- Qult (daya dukung ultimit kelompok tiang) = 13915,56 kN
- Qall (daya dukung ijin kelompok tiang) = 6957,78 kN
- Penurunan fondasi kelompok tiang = 54,8 mm

c. *Pile cap* tipe PC4

Berikut hasil permodelan fondasi tiang pancang tipe PC.4 pada aplikasi *Bentley geostructural analysis* dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Permodelan *pile cap* tipe PC.4

- Qult (daya dukung ultimit kelompok tiang) = 10384,5 kN
- Qall (daya dukung ijin kelompok tiang) = 5192,25 kN

- Penurunan fondasi kelompok tiang = 65,4 mm

4.7.3 Hasil output *Allpile*

a. Hasil output untuk fondasi tunggal (*single pile*)

Pada perhitungan menggunakan aplikasi *Allpile* untuk perhitungan daya dukung dan perhitungan penurunan fondasi tunggal (*single pile*) didapatkan hasil sebagai berikut :

- Pembebanan = 171,2 kN
- Qult = 703,8 kN
- Qall = 234,6 kN
- Penurunan = 3,1 mm

b. Hasil output untuk *Pile cap* tipe PC.2

Pada perhitungan menggunakan aplikasi *Allpile* untuk perhitungan daya dukung dan perhitungan penurunan fondasi kelompok tiang (*group pile*) tipe PC.2 didapatkan hasil sebagai berikut :

- Pembebanan = 1317 kN
- Qult = 2695 kN
- Qall = 686 kN
- Penurunan = 64,9 mm

c. Hasil output untuk *Pile cap* tipe PC.3

Pada perhitungan menggunakan aplikasi *Allpile* untuk perhitungan daya dukung dan perhitungan penurunan fondasi kelompok tiang (*group pile*) tipe PC.3 didapatkan hasil sebagai berikut :

- Pembebanan = 1420 kN
- Qult = 2695 kN
- Qall = 1796 kN
- Penurunan = 80,2 mm

d. Hasil output untuk *Pile cap* tipe PC.4

Pada perhitungan menggunakan aplikasi *Allpile* untuk perhitungan daya dukung dan perhitungan penurunan fondasi

kelompok tiang (*group pile*) tipe PC.4 didapatkan hasil sebagai berikut :

- Pembebanan = 1954 kN
- Qult = 3463 kN
- Qall = 2309 kN
- Penurunan = 89,8 mm

4.8 Perbandingan Hasil Perhitungan Manual dengan Aplikasi

Setelah melakukan perhitungan manual dan aplikasi dapat diketahui beberapa perbedaan dari hasil perhitungan baik manual atau aplikasi. Berikut perbandingan hasil perhitungan manual dan aplikasi :

4.8.1 Perbandingan hasil perhitungan daya dukung aksial dengan cara manual dan aplikasi

a. Untuk fondasi tiang pancang tunggal (*single pile*)

Pada Tabel 4.12 dapat dilihat hasil perhitungan manual dan hasil perhitungan aplikasi.

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal secara Manual dan Aplikasi

Jenis Perhitungan	Daya Dukung Ultimit (kN)	Daya Dukung Ijin (kN)
Manual	1900,5	633
Bentley Geosturctural Analysis	373,4	187,1
Allpile	703,8	234,6

Dari perbandingan di atas dapat disimpulkan demikian, pada perhitungan Bentley, Allpile, manual memiliki hasil yang berbeda.

b. Untuk pondasi kelompok tiang pancang (*group pile*)

Pada Tabel 4.13 dapat dilihat hasil perhitungan manual dan hasil perhitungan aplikasi untuk fondasi kelompok tiang.

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Daya Dukung Aksial Kelompok Tiang secara Manual dan Aplikasi

Tipe Pile Cap	Daya Dukung Ijin (kN)		
	Manual	Bentley Geosttructural Analysis	Allpile
PC.2	1888,45	4111,25	686
PC.3	1500,21	6957,78	1796
PC.4	2000,28	5192,25	2309

Dari perbandingan hasil perhitungan daya dukung ijin fondasi tiang kelompok di atas dapat disimpulkan demikian, pada perhitungan manual, Bentley, Allpile memiliki hasil yang tidak jauh berbeda.

4.8.2 Perbandingan hasil perhitungan penurunan fondasi dengan cara manual dan aplikasi

Untuk perhitungan penurunan secara manual dan aplikasi didapat perbedaan pada penurunan fondasi tiang tunggal (*single pile*) dan penurunan fondasi kelompok tiang.

a. Untuk penurunan fondasi tiang pancang tunggal (*single pile*)

Pada Tabel 4.14 dapat dilihat hasil perhitungan manual dan hasil perhitungan aplikasi untuk penurunan fondasi tiang tunggal (*single pile*).

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan Penurunan Tiang Tunggal secara Manual dan Aplikasi

Jenis Perhitungan	Penurunan / <i>Settlement</i> (mm)
Manual	30
Bentley Geosttructural Analysis	0,3
Allpile	3,1

Dari tabel 4.14 pada penurunan di atas dapat disimpulkan demikian, pada perhitungan manual, Bentley, Allpile memiliki hasil yang berbeda.

b. Untuk penurunan fondasi kelompok tiang (*group pile*)

Pada Tabel 4.15 dapat dilihat hasil perhitungan manual dan hasil perhitungan aplikasi untuk penurunan fondasi tiang tunggal (*single pile*).

Tabel 4.15 Hasil perhitungan penurunan kelompok tiang secara manual dan aplikasi

Tipe Pile Cap	Penurunan / <i>Settlement</i> (mm)		
	Manual	Bentley Geosturctural Analysis	Allpile
PC.2	50	74,6	64,9
PC.3	70	54,8	80,2
PC.4	70	65,4	89,7

Dari perbandingan hasil perhitungan penurunan tiang kelompok di atas maka dapat disimpulkan bahwa perhitungan penurunan menggunakan cara manual dan menggunakan *Allpile* memiliki hasil yang tidak jauh berbeda.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan pada proyek pembangunan Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik) Kab. Grobogan, bisa disimpulkan sebagai berikut :

- a. Bahwa beban aksial dan lateral struktur atas pada perencanaan fondasi tiang pancang Proyek Pembangunan Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik) menggunakan Program SAP2000 yakni PC. 1 dengan hasil 171.22 kN, PC.2 dengan hasil 1317.279 kN, PC.3 dengan hasil 1420.975 kN, PC.4 dengan hasil 1954.715 kN dengan keterangan aman.
- b. Untuk daya dukung aksial tanah fondasi dari hasil Sondir didapatkan daya dukung ultimit (Q_{ult}) 8160 kN dan daya dukung ijin (Q_{all}) sebesar 2643,2 kN
- c. Untuk kapasitas daya dukung aksial tanah fondasi tiang pancang berdasarkan perhitungan manual dengan metode *Reese & Wright* daya dukung ujung (Q_b) 72,8 kN, daya dukung selimut (Q_s) 1827 kN, daya dukung ultimit (Q_{ult}) 2045,81 kN, daya dukung ijin (Q_{all}) 633 kN.
- d. Untuk kapasitas daya dukung aksial tanah fondasi tiang pancang berdasarkan perhitungan manual dengan metode *Mayerhof* daya dukung ujung (Q_b) 412,8 kN, daya dukung selimut (Q_s) 1633,01 kN, daya dukung ultimit (Q_{ult}) 1900,5 kN, daya dukung ijin (Q_{all}) 681,94 kN.
- e. Untuk kapasitas daya dukung aksial tanah fondasi tiang pancang berdasarkan perhitungan manual dengan metode *US Army Corps* daya dukung ujung (Q_b) 2352 kN, daya dukung selimut (Q_s) 2854,16 kN, daya dukung ultimit (Q_{ult}) 5129,36 kN, daya dukung ijin (Q_{all}) 1709,79 kN.
- f. Untuk kapasitas daya dukung aksial tanah fondasi tiang pancang berdasarkan perhitungan manual dengan program Bentley yakni PC.1

dengan hasil 187,1 kN, PC.2 dengan hasil 4111,25 kN, PC.3 dengan hasil 6957,78 kN, PC.4 dengan hasil 5192,25 kN.

- g. Untuk perhitungan daya dukung aksial tanah fondasi berdasarkan kekuatan bahan untuk tiang pancang berdiameter 40 cm dengan diameter tulangan $\varnothing 10$ mm didapatkan daya dukung ijin (P) sebesar 6418,84 kN.
- h. Untuk perhitungan daya dukung lateral tanah fondasi menurut metode Broms didapat daya dukung ijin (H) sebesar 20,5 kN sedangkan untuk perhitungan manual metode Mayerhof diperoleh daya dukung ijin (H) sebesar 243,3 kN.
- i. Untuk besarnya penurunan (*Settlement*) yang terjadi pada fondasi tiang pancang berdasarkan perhitungan manual yakni single pile dengan hasil 30, PC.2 dengan hasil 50, PC.3 dengan hasil 70, PC.4 dengan hasil 70.
- j. Untuk besarnya penurunan (*Settlement*) yang terjadi pada fondasi tiang pancang berdasarkan perhitungan dengan program *Allpile* yakni single pile dengan hasil 3,1, PC.2 dengan hasil 64,9, PC.3 dengan hasil 80,2, PC.4 dengan hasil 89,2.
- k. Untuk perbandingan penurunan (*Settlement*) yang dihitung dengan manual dan program *Allpile* di peroleh hasil yang tidak terlalu jauh berbeda.

5.2 Saran

Dari penelitian tugas akhir yang dilakukan, terdapat beberapa saran sebagai berikut :

- a. Diperlukan adanya perbandingan hitungan manual dan *software*, sehingga akan didapat hasil yang lebih akurat.
- b. Ketika memasukkan data dalam perhitungan daya dukung dan penurunan baik perhitungan manual atau perhitungan *software* harus sesuai dengan data tanah dan kondisi lapangan.
- c. Pada perencanaan fondasi diperlukan pengalaman dan keahlian dalam bidang tersebut, sehingga dapat mengambil keputusan dan menghasilkan perencanaan yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Annizaar, Rizqi, Suroso, Harimurti, *Perencanaan Pondasi Tiang Pancang dan Tiang Bor pada Pekerjaan Pembuatan Abutment Jembatan Labuhan Madura*, Universitas Brawijaya
- Bowles, J. E, 1986, *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, Erlangga, Jakarta
- Das, Braja M. 2011. *Mekanika Tanah Jilid 2*. Erlangga. Jakarta
- Das, Braja M. 2011. *Principle Of Foundation Engineering. Edition 7*. Cengage Learning. Stamford. USA.
- Dirgananta, Muhammad Fahri, 2018, "Perencanaan Ulang Pondasi Tiang Pancang dengan Variasi Diameter Menggunakan Metode Mayerhoff, Aoki & De Alencar, dan Luciano De Court", Fakultas Teknik, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2003, *Mekanika Tanah II*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2018, *Analisis dan Perancangan Fondasi*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Hendarsin, Shirley L. 2000. *Perencanaan Teknik Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil*. Politeknik Negeri Bandung.
- Kawengian, Sabrina, Sjachrul Balamba, Alva N. Sarajar, 2018, *Analisis Daya Dukung Lateral Pada Tiang Pancang Kelompok di Dermaga Belang*. Universitas Sam Ratulangi Manado. Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.9 September 2018 (683-692) ISSN : 2337 – 6732
- Lestari, Dwi Fajar dan Ikhdha Roziqotul Aula, 2019, "Perencanaan Pondasi Spun Pile pada Hotel Quest Semarang menggunakan ETABS Versi 6.2 dan Plaxis 8.6", Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang
- Mayerhof G.G. 1965. *Shallow Foundation*, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE.
- Mayerhof, G. G. 1976. *Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations*, Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, Vol.102, No. GT3, pp. 197–228.
- Mayerhof, G.G., 1956. *Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils*. JSMFD, ASCE, Vol.82, SM 1, pp. 1-19.xxvi

Pamungkas, Anugrah, dan Erny Harianti, 2013, *Desain Pondasi Tahan Gempa*, ANDI, Yogyakarta

Pratikso. 2009. *Mekanika Tanah 1*. UNISSULA Press. Semarang

Setyanto. 1999. *Rekayasa Pondasi I*. Universitas Lampung. Lampung

SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

SNI 2847-2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.

Sosrodarsono, dan Nakazawa, 1990, *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, PT Pradnya Paramita, Jakarta

Titi, H.H, dan Farsakh M.A.Y. 1999. *Evaluation Of Bearing Capacity Of Piles From Cone Penetration Test*. Louisiana Transportation Research Center. USA.

Trisnawati, Eka dan Oktavia Nurcahyati. 2019, “*Perencanaan Pondasi Bored Pile pada Proyek Transmart Majapahit*”, Fakultas Teknik. Universitas Islam Sultan Agung, Semarang

Verhoef, P.N.W. 1994. *Geologi untuk Teknik Sipil*. Erlangga. Jakarta

Vesic, Aleksandar S. 1977. *Design Of Pile Foundations*. Transportation Research Board National Academy Of Sciences. Washington DC.

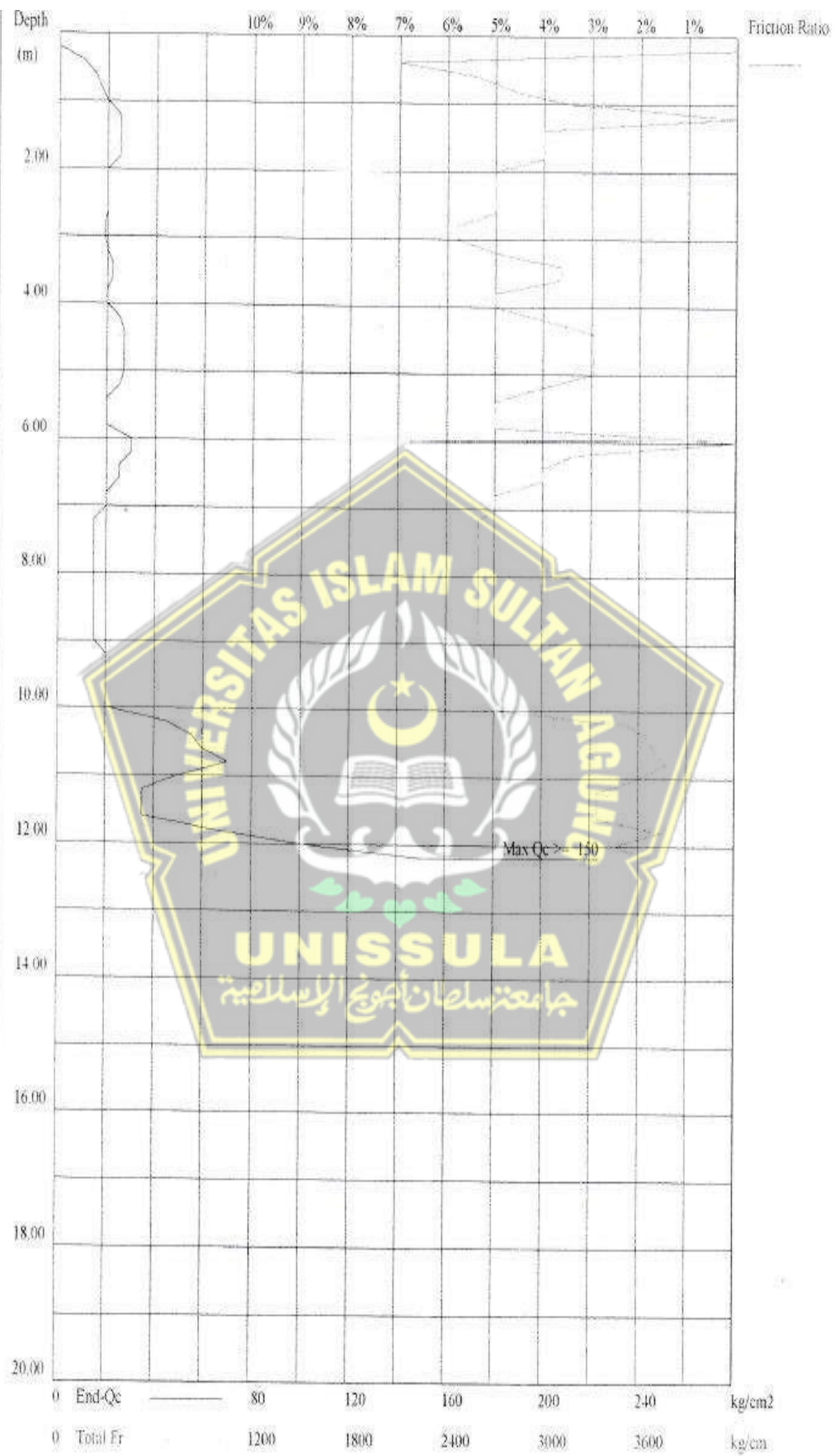
Yusti, Andi, dan Ferra Fahriani, 2014, *Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Diverifikasi dengan Hasil Uji Pile Driving Analyzer Test dan Capwab (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel di Pangkalpinang)*. Universitas Bangka Belitung. Vol 2 Nomor 1. Januari – Juni 2014.

LAMPIRAN



[illegible]

[illegible]





YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

**DOSEN PENGUJI
SEMINAR TUGAS AKHIR**

Hari
Tanggal
Jam

Kamis
29 Juli 2021
08.00 WIB

Judul Tugas Akhir

Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Pada Proyek Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik) Kab. Grobogan

1	Lukman Mustika Atmaja	30201604432	1	

NO	NAMA	TANDA TANGAN
1	Dr. Abdul Rochim,ST,MT	
2	Dra. Hj. Nafiah,Msi	2
3	Lisa Fitriyana,ST,M.Eng	3



Samarang, 29 Juli 2021
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Agus Ahyar,ST,M.Eng
210216089



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)

Jl. Raya Kaligawe Km. 4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax. (024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

Nomor : 07 / A.2 / SA - T / VII / 2021

Pada hari ini, Kamis Tanggal 29 Juli 2021 telah dilaksanakan

Seminar Tugas Akhir, dengan peserta sebagai berikut :

1 Nama	Lukman Mustika Atmaja	30201604432
2 Nama	0	0

Judul TA Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Pada Proyek Gedung MPP (Mall Pelayanan Publik) Kab. Grobogan

Dengan Hasil

Ok dengan beberapa revisi

Demikian Berita Acara Seminar Tugas Akhir ini dibuat untuk diketahui dan penggunaan seperlunya.

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dosen Pembimbing

Dr. Abdul Rochim, ST, MT

Dra. Hj. Nafiah, Msi

Lisa Fitriyana, ST, M ✓

Mengetahui ,

Ketua Program Studi

Teknik Sipil



M. Rusli Anyar, ST, M.Eng



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM

Hari / Tanggal

Judul TA

hukuman murka Al-ma'fu/30201604432

Kamis 29-07-2021

Perencanaan Pondasi Arang Pancang
pada Proyek Gedung MPP Rob Grobogan.

NO	
1	- Diagram chart aprbarki
2	- Penambahan laporan Sunde & SPT
3	- Perbaikan kemampuan kawai dan tyman
4	
5	

DOSEN PENGUJI

Lisa Fitriyana S. M



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax (024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM

Hari / Tanggal

Judul TA

Lukman Nurhika Akunja / 30201604432

29 - 07 - 2021 kelas

Perencanaan Pondasi Rancang pondasi
pada Proyek Gedung RUPP Kab. Grobogan

NO	
1	
2	
3	
4	
5	

UNISSULA
جامعة سلطان أبو الفتح الإسلامية

DOSEN PENGUJI

Dra. Idris. Nubillah, Msi



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax: (024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM

Hari / Tanggal

Judul TA

Lukman Nurhika Azma / 30201604432
Kamis, 29-Juli-2021
Perencanaan Pondasi Ring-Pancang
pada Proyek Gedung MPP Kab. Grobogan

NO	
1	
2	
3	
4	
5	

DOSEN PENGUJI

Dr. Abdul Rochman, S. MS

PERENCANAAN FONDASI TIANG PANCANG PADA PROYEK GEDUNG MPP (MALL PELAYANAN PUBLIK) KAB. GROBOGAN

ORIGINALITY REPORT

10%	9%	1%	5%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Submitted to Sultan Agung Islamic University Student Paper	3%
2	repository.its.ac.id Internet Source	1%
3	123dok.com Internet Source	<1%
4	Repository.ummy.ac.id Internet Source	<1%
5	text-id.123dok.com Internet Source	<1%
6	Submitted to Politeknik Negeri Bandung Student Paper	<1%
7	idoc.pub Internet Source	<1%
8	eprints.radenfatah.ac.id Internet Source	<1%
9	sir.stikom.edu Internet Source	<1%



16/08/2021

Pr. Abdul Rochim