

TUGAS AKHIR

ANALISIS KAPASITAS DUKUNG PONDASI DENGAN MENGUNAKAN METODE MEYERHOFF, LUCIANO DECOURT, DAN REESE & WRIGHT (*ANALYSIS OF FOUNDATION SUPPORT CAPACITY USING MEYERHOFF, LUCIANO DECOURT, AND REESE & WRIGHT METHODS*)

(Studi Kasus Gedung Apartement The Padmayana Jakarta Selatan, DKI Jakarta)

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memeroleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Ivanda Oktavia
17511070**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024**

TUGAS AKHIR

ANALISIS KAPASITAS DUKUNG PONDASI DENGAN MENGUNAKAN METODE MEYERHOFF, LUCIANO DECOURT, DAN REESE & WRIGHT (*ANALYSIS OF FOUNDATION SUPPORT CAPACITY USING MEYERHOFF, LUCIANO DECOURT, AND REESE & WRIGHT METHODS*)

Disusun oleh

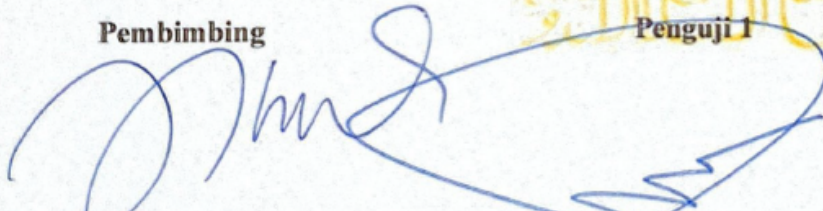
Ivanda Oktavia
17511070

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana
Teknik Sipil

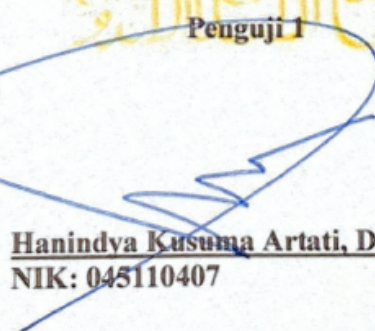
Diuji pada tanggal 23 Agustus 2024

Oleh Dewan Penguji

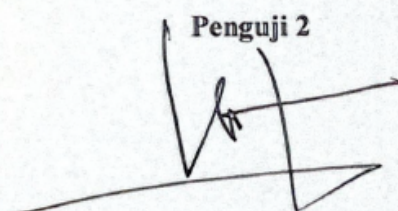
Pembimbing


Anisa Nur Amalina, S.,T M.Eng.
NIK: 215111305

Penguji 1


Hanindya Kusuma Artati, Dr., S. T., M.T.
NIK: 045110407

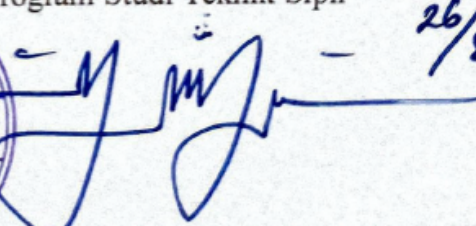
Penguji 2


Lalu Makrup, Dr. Ir., M. T.
NIK: 885110106

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil




Arif Yunalia Muntafi, S.T., M. T., Ph.D. (Eng).,IPM
NIK: 095110101

26/8/2024

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan seyakini-yakinnya bahwa laporan Tugas Akhir yang telah saya susun sebagai syarat penyelesaian program jenjang Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun beberapa bagian pada penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah mencantumkan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau Sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-uandangan yang berlaku.

Yogyakarta, 26 Agustus 2024
Yang membuat pernyataan,



Ivanda Oktavia
(17511070)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillahirabbil'alamiin, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat dan limpahan rahmatnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Kapasitas Dukung Pondasi Dengan Menggunakan Metode Meyerhoff, Luciano Decourt, dan Reese & Wright* pada *Tanah Pasir Berbutir Halus* dengan baik. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini tentunya tidak luput dari segala hambatan yang telah dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik serta dorongan dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Edy Purwanto, Dr. Ir., CES., DEA. dan Ibu Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
2. Ibu Hanindya Kusuma Artati, Dr., S.T., M.T. selaku penguji 1 dan Bapak Lalu Makrup, Dr. Ir., M.T. selaku dosen penguji 2 Tugas Akhir.
3. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM selaku Ketua Prodi Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
4. Bapak Marcello Dicky Wijaya, selaku pegawai PT. Ketira Engineering Consultants dan Bapak Riki yang telah membantu peneliti dalam mengumpulkan data yang dibutuhkan,
5. Orang tua dan kakak tercinta penulis yang telah berkorban begitu banyak, baik material maupun spiritual, hingga selesainya Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari dengan sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman. Akhirnya

Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, 26 Agustus 2024
Penulis,

Ivanda Oktavia
(17511070)

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.1.1 Analisis Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Bor	6
2.1.2 Analisis Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang	8
2.1.3 Analisis Penurunan Tiang Bor	8
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Tanah	12
3.1.1 Sistem Klasifikasi Unified Soil Classification System (USCS)	13
3.1.2 Sistem Klasifikasi American Association of State Highway Transportation Official (AASHTO)	15
3.2 Penyelidikan Tanah	16

3.2.1 Standart Penetration Test (SPT)	17
3.3 Pondasi Tiang Bor	20
3.3.1 Jenis Pondasi Tiang Bor	21
3.3.2 Metode Pelaksanaan Tiang Bor	22
3.4 Kapasitas Dukung Tiang Tunggal Berdasarkan Data SPT	23
3.4.1 Metode Meyerhoff	23
3.4.2 Metode Luciano Decourt	29
3.4.3 Metode Reese & Wright	32
3.5 SAP2000	38
3.5.1 Tahap Pemodelan SAP2000	38
3.5.2 Langkah-langkah Input Data	38
3.5.3 Hasil Keluaran SAP2000 (<i>Output</i>)	39
BAB IV METODE PENELITIAN	41
4.1 Metode Penelitian	41
4.2 Pengumpulan Data	41
4.3 Analisis Data	42
4.3.1 Analisis Pembebanan	42
4.3.2 Analisis Pondasi Tiang Bor	43
4.4 Bagan Alir Penelitian	43
BAB V PEMBAHASAN	46
5.1 Data Proyek	46
5.1.1 Data Umum Proyek	46
5.1.2 Spesifikasi Material	46
5.1.3 Denah Pondasi	47
5.1.4 Data Struktur	47
5.2 Pembebanan Struktur	48
5.2.1 Peraturan Pembebanan	48
5.2.2 Kombinasi Pembebanan	48
5.2.3 Pembebanan	49
5.3 Input dan Output Program SAP2000	56
5.4 Data Karakteristik Tanah	68

5.5	Desain Pondasi Tiang Bor	69
5.5.1	Perhitungan Daya Dukung Aksial Tiang Bor Bulat (<i>Borepile</i>)	72
5.5.2	Perhitungan Elastic Settlement	93
5.6	Pembahasan	105
5.6.1	Perbandingan Daya Dukung	105
5.6.2	Perbandingan Penurunan	107
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		110
6.1	Kesimpulan	110
6.2	Saran	111

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan	9
Tabel 3. 1 Sistem Klasifikasi Tanah Unified	15
Tabel 3. 2 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO	16
Tabel 3. 3 Nilai Koefisien Jenis Tanah	30
Tabel 3. 4 Nilai Koefisien C_p	36
Tabel 3. 5 Angka Poisson (μ)	37
Tabel 3. 6 Modulus Elastis Tanah (E_s)	37
Tabel 5. 1 Analisis Beban Mati Pada Lantai	50
Tabel 5. 2 Pembebanan Dinding Pada Balok	50
Tabel 5. 3 Pembebanan Pada Ramp Dinding Beton	51
Tabel 5. 4 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung	52
Tabel 5. 5 Respon Spektrum Percepatan Periode Pendek	54
Tabel 5. 6 Parameter Percepatan Spektrum Desain	55
Tabel 5. 7 Faktor Koreksi Kerentanan	55
Tabel 5. 8 Pengecekan Gaya Geser Dinamik dan Statik Ekuivalen	56
Tabel 5. 9 Rekapitulasi beban Terbesar	68
Tabel 5. 10 Nilai N' (koreksi) Design Line	69
Tabel 5. 11 Data Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Dimensi 60 Cm	70
Tabel 5. 12 Data Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Dimensi 80 Cm	71
Tabel 5. 13 Perhitungan Tahanan Selimut dan Ujung	86
Tabel 5. 14 Perhitungan Tahanan Selimut dan Ujung	90
Tabel 5. 15 Perbandingan Daya Dukung	105
Tabel 5. 16 Perbandingan Penurunan Tiang	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Penetrasi dengan SPT	18
Gambar 3. 2 Skema Urutan Uji Penetrasi Standar SPT	199
Gambar 3. 3 Jenis-jenis Pondasi <i>Bored Pile</i>	222
Gambar 3. 4 Jarak Antar Tiang	266
Gambar 3. 5 Susunan Tiang Dalam Kelompok Tiang	277
Gambar 3. 6 Tahanan Ujung Ultimit pada Tanah Non Kohesif	333
Gambar 3. 7 Hubungan Tahanan Selimut Ultimit Terhadap N_{SPT}	344
Gambar 4. 1 Bagan Alir Metode Penelitian	455
Gambar 5. 1 Denah Pondasi Gedung Padminaya	47
Gambar 5. 2 Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar Periode Pendek (Ss)	53
Gambar 5. 3 Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar Periode 1 Detik (S1)	54
Gambar 5. 4 Hasil Respon Spektrum	55
Gambar 5. 5 <i>Define Material</i>	57
Gambar 5. 6 <i>Material Property Data</i>	57
Gambar 5. 7 <i>Material Property Design</i>	58
Gambar 5. 8 <i>Frame Section</i>	59
Gambar 5. 9 <i>Frame Section Property Data</i>	59
Gambar 5. 10 <i>Slab Property Data</i>	60
Gambar 5. 11 <i>Wall Property Data</i>	61
Gambar 5. 12 <i>Toolbar</i> Pemodelan Kolom, Balok, Dinding Geser, dan Pelat	62
Gambar 5. 13 <i>Response Spectrum</i>	62
Gambar 5. 14 <i>Response Spectrum ASCE 7-16</i>	63
Gambar 5. 15 <i>ASCE 7-16 Seismic Loading</i>	64
Gambar 5. 16 <i>Load Case Data</i>	64
Gambar 5. 17 <i>Shell Loads</i>	65
Gambar 5. 18 <i>Shell Load Assignment</i>	65
Gambar 5. 19 <i>Frame Load Assignment</i>	66

Gambar 5. 20 <i>Load Combination</i>	67
Gambar 5. 21 Hasil Analisa Gaya Aksial	68
Gambar 5. 23 Kaidah N1 dan N2 untuk Analisa Pondasi	70
Gambar 5. 24 Jenis Tiang Bor Close End	73
Gambar 5. 25 Kelompok Tiang Bor Diameter 60 cm 8 Buah	75
Gambar 5. 26 Jenis Tiang Bor <i>Close End</i>	76
Gambar 5. 27 Kelompok <i>Borepile</i> Diameter 80 cm 6 Buah	79
Gambar 5. 28 Kelompok <i>Borepile</i> Diameter 60 cm 8 Buah	82
Gambar 5. 29 Kelompok Tiang Bor Diameter 80 cm 5 Buah	85
Gambar 5. 30 Kelompok Tiang Bor Diameter 60 cm 20 Buah	89
Gambar 5. 31 Kelompok <i>Borepile</i> Diameter 80 cm 14 Buah	92
Gambar 5. 32 Dimensi Pilecap pada Perhitungan Penurunan Tiang Metode Meyerhoff D60	95
Gambar 5. 33 Dimensi Pilecap pada Perhitungan Penurunan Tiang Metode Meyerhoff D80	97
Gambar 5. 34 Dimensi Pilecap pada Perhitungan Penurunan Tiang Metode Luciano Decourt D60	99
Gambar 5. 35 Dimensi Pilecap pada Perhitungan Penurunan Tiang Metode Luciano Decourt D80	101
Gambar 5. 36 Dimensi Pilecap pada Perhitungan Penurunan Tiang Metode Reese and Wright D60	103
Gambar 5. 37 Dimensi Pilecap pada Perhitungan Penurunan Tiang Metode Reese and Wright D80	105
Gambar 5. 38 Perbandingan Daya Dukung Izin Diameter 0,6 m	106
Gambar 5. 39 Perbandingan Daya Dukung Izin Diameter 0,8 m	107
Gambar 5. 40 Perbandingan Penurunan Kelompok Tiang 0,6 m	108
Gambar 5. 41 Perbandingan Penurunan Kelompok Tiang Diameter 0,8 m	108

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Hasil Uji Laboratorium
Lampiran 2	Denah Tiang Bor Eksisting
Lampiran 3	Denah Lantai hingga Atap

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Ab	= Luas penampang ujung bawah tiang (m^2)
Ap	= Luas penampang tiang (m^2)
As	= Luas selimut tiang (m^2)
B	= Lebar pondasi (m)
Bg	= Lebar kelompok tiang (m)
Lg	= Panjang kelompok tiang (m)
Cp	= Koefisien empiris
Cs	= Konstanta empiris
cu	= Kohesi tanah (kN/m^2)
d	= Diameter tiang (m)
e	= Angka pori
Eg	= Efisiensi kelompok tiang
Ep	= Modulus elastisitas material tiang
Es	= Modulus Elastisitas tanah
fs	= Gesekan selimut tiang per satuan luas (kN/m^2)
H	= Tebal lapisan (m)
kb	= Koefisien permeabilitas arah horizontal
ks	= Koefisien permeabilitas arah vertical
I _{ws}	= Faktor Pengaruh
JHP	= Jumlah hambatan pelekot (kN/m)
L	= Panjang tiang <i>bored pile</i> (m)
Mx	= Momen yang bekerja pada bisnag yang tegak lurus sumbu x (kNm)
My	= Momen yang bekerja pada bisnag yang tegak lurus sumbu y (kNm)
N-SPT	= Nilai N-SPT
Pi	= Keliling tiang (m)
P	= Beban aksial (kN)

P_t	= Beban total (kN)
S	= Jarak antar tiang (m)
S_e	= Penurunan tiang tunggal (cm)
S_g	= Penurunan kelompok tiang (cm)
SPT	= Standard Penetration Test
Q_{all}	= Kapasitas dukung Izin tiang (kN/m ²)
q_c	= Nilai tahanan di ujung tiang (kN/m ²)
Q_g	= Kapasitas dukung kelompok tiang (kN/m ²)
Q_p	= Kapasitas dukung ujung tiang (kN/m ²)
q_p	= Tahanan ujung persatuan luas (kN/m ²)
Q_s	= Kapasitas gesek dinding ultimit (kN/m ²)
q_s	= Tahanan selimut persatuan luas (kN/m ²)
Q_u	= Kapasitas dukung ultimit (kN/m ²)
W_p	= Berat tiang (kN)
W_{pc}	= Berat <i>pile cap</i> (kN)
μ_s	= Angka poisson
α	= Koefisien adhesi antara tanah dan tiang

ABSTRAK

Penelitian dilakukan pada studi kasus Gedung Apartement The Padmayana Jakarta Selatan. Penelitian ini dilakukan guna mengetahui kuat dukung dari pondasi bangunan tersebut yang berdiri dengan ketinggian sekitar 53,2 m dan terdiri dari sebanyak 145 unit. Dengan tujuan untuk mengetahui apakah pondasi aman untuk menopang bangunan yang berada di atasnya. Serta dengan penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar penurunan yang terjadi pada pondasi tiang bor.

Pondasi eksisting gedung menggunakan tiang bor berdiameter 0,6 m dan 0,8 m sepanjang 12 m di bawah muka tanah. Peneliti menganalisis pondasi menggunakan tiang bor dengan diameter yang sama dan menggunakan variasi metode. Perhitungan kapasitas dukung pondasi tiang bor menggunakan diameter 0,6 m dan 0,8 m dengan metode Meyerhoff, Luciano Decourt, dan Reese & Wright. Perhitungan dilakukan guna mengetahui perbandingan nilai kapasitas dukung pondasi Tiang Bor dengan menggunakan beberapa metode. Kemudian untuk penurunan akan dilakukan analisis dengan metode Vesic.

Hasil kapasitas dukung kelompok tiang bor (Q_g) menggunakan metode Meyerhoff diameter 0,6 m, 0,8 m, berturut-turut sebesar 17490,65 kN, 18606,45 kN lebih besar dari nilai $P_u = 16548,88$ kN, metode Luciano Decourt diameter 0,6 m, 0,8 m, berturut-turut sebesar 18296,64 kN, 19275,66 kN lebih besar dari nilai P_u , serta metode Reese & Wright diameter 0,6 m, 0,8 m, berturut-turut sebesar 17458,16 kN, 17819,01 kN lebih besar dari nilai P_u . Tiang Bor (desain) diameter 0,8 m dengan metode Luciano Decourt memiliki nilai $Q_g > P_u$ yaitu sebesar 19275,66 kN $> 16548,88$ kN sehingga hasilnya pondasi aman digunakan karena beban mampu ditahan oleh kelompok pondasi tiang.

Kata Kunci : Pondasi Tiang, Diameter, Kapasitas Dukung

ABSTRACT

The research was conducted on a case study of The Padmayana Apartment Building in South Jakarta. This research was conducted to determine the bearing strength of the building foundation which stands at a height of around 53.2 m and consists of 145 units. With the aim of finding out whether the foundation is safe to support the building above it. And with this research was conducted to determine how much subsidence occurred in the bored pile foundation.

The existing foundation of the building uses bored piles with a diameter of 0.6 m and 0.8 m along 12 m below ground level. Researchers analyzed the foundation using piles with the same diameter and using a variety of methods. The calculation of the bearing capacity of the bored pile foundation using a diameter of 0.6 m and 0.8 m using the Meyerhoff, Luciano Decourt, and Reese & Wright methods. The calculation was carried out to determine the comparison of the bearing capacity values of the Bored Pile foundation using several methods. Then for the subsidence, an analysis will be carried out using the Vesic method.

The results of the bearing capacity of the bored pile group (Q_g) using the Meyerhoff method with a diameter of 0.6 m, 0.8 m, respectively are 17490.65 kN, 18606.45 kN greater than the P_u value = 16548.88kN, the Luciano Decourt method with a diameter of 0.6 m, 0.8 m, respectively are 18296.64 kN, 19275.66 kN greater than the P_u value, and the Reese & Wright method with a diameter of 0.6 m, 0.8 m, respectively are 17458.16 kN, 17819.01 kN greater than the P_u value. Bored Pile (design) with a diameter of 0.8 m with the Luciano Decourt method has a Q_g value > P_u , which is 19275.66 kN > 16548.88kN so that the results are safe to use because the load can be supported by the pile foundation group.

Keywords: *Pile Foundation, Diameter, Bearing Capacity*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Suatu konstruksi bangunan pada umumnya dibagi menjadi dua bagian utama yaitu struktur bagian atas dan struktur bagian bawah. Pada struktur bagian bawah biasanya disebut dengan pondasi. Pondasi merupakan struktur bagian bawah suatu konstruksi guna untuk meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beban berat sendirinya untuk disalurkan ke dalam lapis tanah dan batuan yang terletak di bawahnya (Bowles, 1997).

Maka dengan demikian, pondasi harus memiliki nilai aman terhadap beban bangunan yang dipikulnya agar tidak terjadi penurunan berlebih dari batas kemampuannya. Bila pondasi mengalami penurunan yang melebihi batas, maka dapat mengakibatkan keretakan struktur bahkan bangunan dapat mengalami keruntuhan.

Banyak faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan pondasi sesuai dengan kebutuhan. Pemilihan akhir harus didasarkan pada evaluasi dari kelayakan teknis dan perbandingan biaya untuk alternatif yang potensial dengan memperhitungkan faktor keamanan (*safety factor*), kehandalan (*reliability*), kemudahan konstruksi (*constructability*), dan ketahanan didalam tanah. Salah satu aspek dari kelayakan teknis adalah metode konstruksi yang dipilih terhadap dampak pada lingkungan disekitarnya (Rahardjo, 2005).

Jenis pondasi dibagi menjadi dua macam yaitu pondasi dangkal (*shallow foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundation*). Pondasi dangkal digunakan ketika lapis tanah keras lebih kecil atau sama dengan lebar pondasi dan memiliki daya dukung tanah yang baik. Sedangkan pada pondasi dalam, lapis tanah keras terletak lebih dalam agar dapat mendukung beban struktur bangunan.

Menurut Bowles (1997), Penggunaan pondasi dalam sebagai pondasi tanah yang memiliki daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan seluruh beban yang bekerja berada pada lapisan yang sangat dalam dari permukaan tanah dengan kedalaman > 8 meter. Dan menurut Sardjono (1998), pemilihan tipe pondasi tiang didasarkan atas : fungsi bangunan atas (*upper structure*) yang akan dipikul oleh pondasi tersebut, besarnya beban dan beratnya bangunan atas, keadaan tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan, dan biaya pondasi dibandingkan dengan bangunan atas.

Pada pembangunan Gedung Apartement The Padmayana Jakarta Selatan dilakukan penyelidikan tanah yang bertujuan untuk mengetahui keadaan kekompakan atau tingkat kepadatan tanah, struktur perlapisan tanah, jenis tanah, dan sifat-sifat atau parameter fisik dan mekanis tanah. Pekerjaan penyelidikan tanah di lapangan yang telah dilaksanakan adalah sebagai berikut.

1. Pengeboran dengan mesin bor dilaksanakan sebanyak dua titik dengan kedalaman 40,00 m dengan menggunakan mesin bor *hydraulic merk Tone type UD 5*.
2. Uji penetrasi dinamis (Uji SPT) dilakukan pada setiap lubang bor dengan interval setiap 2,00 m. prosedur pelaksanaan pengujian SPT menggunakan Standart SNI 4153-2008. Pengujian penetrasi standard ini dilaksanakan pada tanah dalam keadaan asli dengan menggunakan *Open Standard Split Barrel Sampler*. Hammer yang digunakan mempunyai berat 63,50 kg dengan tinggi jatuh 75 cm. pengujian dilaksanakan dengan menggunakan alat *Automatic Drop Hammer Device* sehingga hammer dapat jatuh bebas tanpa gesekan. Sampler dipukul hingga masuk (menembus) tanah sedalam 45 cm, dimana jumlah pukulan sepanjang 15 cm pertama tidak diperhitungkan.
3. Pengambilan tanah asli (*Undisturbed Sample*) dilaksanakan dengan mempergunakan *Thin Wall Tube* diameter 65 mm. pengambilan tanah asli dimaksudkan untuk penyelidikan laboratoris guna menentukan sifat-sifat pengenalan maupun sifat teknis tanah. Sedangkan tanah terganggu (*Disturbed*

Sample) dilaksanakan sepanjang kedalaman pemboran dan dimaksudkan untuk penentuan klasifikasi tanah.

4. Pengukuran muka air tanah dilaksanakan didalam lubang bor setelah 24 jam pemboran selesai dilaksanakan.
5. Pengamatan di lapangan mengenai kondisi permukaan tanah, kondisi lingkungan, permukaan air tanah, serta berbagai informasi berkaitan dengan pelaksanaan pembangunan proyek ini.

Berdasarkan hasil pengujian di lapangan pada lokasi Proyek Pembangunan Gedung Apartement The Padmayana yang beralamatkan di Jalan Sinabung Raya No.5B, RT.5/RW.5, Gunung, Kecamatan Kebayoran Baru, Kota Jakarta Selatan, didapatkan jenis tanah pada dasar pondasi di dominasi jenis tanah pasir berbutir sedang hingga kasar pada kedalaman 10,00 hingga 16,00 m. lapisan tersebut memiliki nilai N-SPT 60 blows/30 cm penetrasi spoon SPT.

Setelah dilakukan analisis karakteristik tanah, beban struktur atas, maka penulis ingin mencoba melakukan perencanaan ulang pondasi dengan metode yang berbeda namun tetap menggunakan diameter dan kedalam yang sama seperti tiang bor existing. Kemudian, penulis ingin membandingkan kapasitas dukung pondasi existing dengan pondasi tiang bor menggunakan metode Meyerhoff, Luciano Decourt, dan Reese & Wright. Pemilihan metode tersebut didasarkan pada data tanah yang digunakan yaitu dari hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) dan uji bor log.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana kapasitas dukung ultimit pondasi tiang bor pada proyek pembangunan Gedung Apartement The Padmayana Jakarta Selatan berdasarkan metode Meyerhoff, Luciano Decourt dan Reese & Wright ?
2. Bagaimana kapasitas dukung kelompok pondasi tiang bor pada proyek pembangunan Gedung Apartement The Padmayana Jakarta Selatan berdasarkan metode Meyerhoff, Luciano Decourt dan Reese & Wright ?

3. Bagaimana nilai perbandingan kapasitas dukung kelompok pondasi tiang bor antara metode Meyerhoff, Luciano Decourt, dan Reese & Wright ?
4. Bagaimana penurunan pondasi tiang bor berdasarkan metode Meyerhoff, Luciano Decourt, dan Reese & Wright ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kapasitas dukung ultimit pondasi tiang Bor pada proyek pembangunan Gedung Apartement The Padmayana Jakarta Selatan berdasarkan metode Meyerhoff, Luciano Decourt dan Reese & Wright.
2. Mengetahui kapasitas dukung kelompok pondasi tiang Bor pada proyek pembangunan berdasarkan metode Meyerhoff, Luciano Decourt dan Reese & Wright.
3. Mengetahui nilai perbandingan kapasitas dukung kelompok pondasi tiang bor antara metode Meyerhoff, Luciano Decourt, dan Reese & Wright.
4. Mengetahui penurunan pondasi tiang bor berdasarkan metode Meyerhoff, Luciano Decourt, dan Reese & Wright.

1.4 Batasan Penelitian

Mengingat luasnya permasalahan tentang pondasi tiang maka penulis memberi batasan-batasan di dalam penelitian yang dilakukan. Adapun batasan-batasan tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut.

1. Data geoteknik yang digunakan pada penelitian adalah hasil dari penyelidikan tanah yang dilakukan oleh PT. Ketira Engineering Consultans pada Tahun 2017 dari Proyek Pembangunan Gedung Apartement The Padmayana Jakarta Selatan.
2. Struktur bawah (pondasi eksisting) yang digunakan adalah pondasi tiang bor berdiameter 0,6 m dan 0,8 m dengan panjang tiang 12 m.
3. Data hasil penyelidikan tanah yang digunakan dalam analisis perhitungan dilakukan oleh PT. Ketira Engineering Consultans pada Tahun 2017 berdasarkan data SPT.

4. Perencanaan pembebanan sesuai dengan peraturan SKBI 1.3.53.1987 tentang Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung dan SNI 03-1727-2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
5. Perhitungan struktur bangunan Gedung sesuai dengan peraturan SNI 03-2847-2013 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.
6. Peraturan ketahanan gempa menggunakan aturan SNI 03-1726-201 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung
7. Beban gempa yang perhitungkan pada wilayah DKI Jakarta.
8. Analisis pembebanan menggunakan aplikasi SAP2000.
9. Tidak melakukan analisis biaya.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dilakukan adalah mengetahui perbandingan pada masing-masing metode yang dihitung, konsep dasar atau teori, parameter *input* serta prosedur pengerjaannya. Selain itu, dapat memberikan informasi kepada pihak-pihak yang membutuhkan informasi yang dibahas pada tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang menjadi tinjauan pustaka dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

2.1.1 Analisis Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Bor

Hudoyo (2017) melaksanakan analisis tentang kapasitas daya dukung dan penurunan pondasi tiang bor Diameter yang akan digunakan yaitu 0,6 m dan 1,0 m. Metode untuk menentukan kapasitas dukung tiang, digunakan metode berdasar data lapangan dengan menggunakan data SPT. Hasil dari penelitian ini diperoleh besar kapasitas dukung tiang bor pada diameter 0,6 m adalah 204,8 Ton, nilai ini lebih besar dari beban yang harus ditumpu yaitu 173,77 Ton dan besar kapasitas dukung tiang bor pada diameter 1,0 m adalah 652,3 Ton, nilai ini lebih besar dari beban yang harus ditumpu yaitu 241,32 Ton.

Penelitian yang dilakukan oleh Nurmawaty (2017) adalah tentang perencanaan ulang pondasi tiang bor pada pembangunan Gedung Kantor Pelayanan Pajak Daerah (KKPD) Zona A di Kabupaten. Pondasi *bored pile* direncanakan dengan 3 alternatif, yaitu diameter 25cm, 30cm, dan 40cm. Perhitungan kapasitas dukung pondasi menggunakan metode *Meyerhoff*, *Aoki & De Alencar* dan *Reese & Wright*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan nilai kapasitas dukung ultimit (Q_u) tiang bor metode *Meyerhoff* diameter 25 cm, 30 cm, dan 40 cm, diperoleh hasil 3.173,01 kN, 3.517,33 kN, dan 2.973,2 kN lebih besar dari nilai $P = 2.702,4$ kN, *Aoki & De Alencar* diameter 25 cm, 30 cm, dan 40 cm, diperoleh masing-masing sebesar 2.865,81 kN, 2.820,91 kN, dan 2.900,86 kN lebih besar dari nilai $P = 2.702,4$ kN, serta metode *Reese & Wright* diameter 25 cm, 30 cm, dan 40 cm, diperoleh masing-masing sebesar 3.080,24 kN, 3.039,49 kN, dan 3.204,426 kN lebih besar dari nilai $P = 2.702,4$ kN.

Penelitian yang dilakukan oleh Haq (2018) adalah tentang pengaruh variasi dimensi terhadap kapasitas dukung pondasi tiang bor. Penelitian ini dilakukan pada Gedung Kuliah *Twin Building* Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Perhitungan kapasitas dukung pondasi menggunakan metode *Meyerhoff* dan *Reese & Wright*. Diameter yang digunakan yaitu 70 cm, 80 cm, dan 90 cm. berdasarkan penelitian tersebut peneliti mendapatkan hasil kapasitas dukung kelompok tiang bor metode *Meyerhoff* (laboratorium) diameter 70 cm, 80 cm, dan 90 cm, diperoleh hasil masing-masing sebesar 4.309,211 kN, 5.040,323 kN, dan 5.800,312 kN lebih besar dari nilai $P = 2.523,56$ kN, metode *Meyerhoff* (lapangan) diameter 70 cm, 80 cm, dan 90 cm, diperoleh hasil 4.854,89 kN, 5.984,08 kN, dan 6.519,33 kN lebih besar dari nilai $P = 2.523,56$ kN, serta metode *Reese & Wright* diameter 70 cm, 80 cm, dan 90 cm, diperoleh hasil masing-masing sebesar 3.333,08 kN, 4.006,47 kN, dan 4.632,09 kN.

Penelitian yang dilakukan oleh Hidayat Mz (2018) adalah tentang perencanaan ulang pondasi *Bored Pile* pada Gedung White Hotel Sedan. Pondasi tiang bor direncanakan dengan variasi diameter yang berbeda-beda yaitu 60 cm, 70 cm, dan 80 cm. Perhitungan kapasitas dukung pondasi menggunakan metode *Meyerhoff*, *Schmertmann & Nottingham* dan *Reese & Wright*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan nilai kapasitas dukung ultimit (Q_u) tiang bor metode *Meyerhoff* diameter 60 cm, 70 cm, dan 80 cm, diperoleh masing-masing sebesar 4.947,828 kN, 3.244,138 kN, dan 4.098,118 kN lebih besar dari nilai $P = 2.881,653$ kN, metode *Schmertmann & Nottingham* diameter 60 cm, 70 cm, dan 80 cm, diperoleh hasil 3.748,937 kN, 4.799,52 kN, dan 2.881,653 kN lebih besar dari nilai $P = 2.881,653$ kN, serta metode *Reese & Wright* diameter 60 cm, 70 cm, dan 80 cm, diperoleh masing-masing sebesar 3.248,399 kN, 3.922,888 kN, dan 4.635,403 kN lebih besar dari nilai $P = 2.879,682$ kN.

Penelitian yang dilakukan oleh Mutiarasella (2022) tentang analisis daya dukung pondasi tiang bor pada pembangunan Masjid Hajjah Yulianna Kampus Madrasah Muhammadiyah Muallimin Yogyakarta. Pondasi tiang bor direncanakan menggunakan dimensi 0,6 m dengan kedalaman 13 m. Muka air tanah berada di kedalaman 2 meter dari permukaan tanah. Digunakan metode *Meyerhoff* untuk

menghitung daya dukung pondasi dengan berdasarkan hasil pengujian di laboratorium. Hasil analisis didapatkan nilai daya dukung ultimit (Q_u) dan daya dukung ijin (Q_{all}) pada pondasi eksisting (telapak) sebesar 3303,349 kN dan 1321,340 kN. Nilai daya dukung ultimit tiang (Q_u), daya dukung ijin tiang (Q_{all}) dan daya dukung kelompok tiang (Q_g) pada pondasi tiang bor sebesar 6744,230 kN, 2697,692 kN dan 5395,384 kN.

2.1.2 Analisis Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang

Dirgananta (2018) melaksanakan penelitian tentang perencanaan ulang pondasi tiang pancang pada Gedung Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia. Pondasi tiang pancang direncanakan dengan variasi diameter yang berbeda-beda yaitu 0,3 m, 0,4 m dan 0,5 m. Perhitungan kapasitas dukung pondasi menggunakan metode *Meyerhoff*, *Aoki & De Alencar* dan *Luciano Decourt*. Berdasarkan penelitian tersebut diperoleh nilai kapasitas dukung ultimit tiang (Q_u) *existing* (tiang bor) dengan diameter 0,8 m sebesar 1096,06 Ton. Kapasitas dukung ultimit (Q_u) tiang pancang metode *Meyerhoff* diameter 0,3 m, 0,4 m, 0,5 m diperoleh masing-masing sebesar 413,347 Ton, 650,863 Ton, 983,246 Ton, metode *Aoki De Alencar* diameter 0,3 m, 0,4 m, 0,5 m diperoleh masing-masing sebesar 156,163 Ton, 242,674 Ton, 329,619 Ton, serta metode *Luciano Decourt* 0,3 m, 0,4 m, 0,5 m, diperoleh masing-masing sebesar 442,318 Ton, 658,114 Ton, 908,089 Ton.

2.1.3 Analisis Penurunan Tiang Bor

Perhitungan penurunan tiang tunggal menggunakan metode Poulos dan Davis (1980) dan penurunan tiang kelompok menggunakan metode Vesic (1969). Nilai penurunan pondasi eksisting (telapak) dan alternatif (tiang bor) sebesar 12,2 cm, 3,6 cm untuk tiang tunggal dan 6,4 cm untuk tiang kelompok. Nilai dari kedua pondasi tersebut telah memenuhi syarat menurut SNI 8460 – 2017 yaitu kurang dari $0,15 + (D/600)$ sebesar 15,1 cm.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu						Penelitian Sekarang
Penulis	Hudoyo (2017)	Nurmawaty (2017)	Dirgananta (2018)	Haq (2018)	Hidayat (2018)	Mutiarasella (2022)	Oktavia (2024)
Judul Penelitian	Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Tiang Bor pada Proyek Apartemen Vivo Yogyakarta	Perencanaan Ulang Struktur Bawah dengan Pondasi <i>Bored Pile</i>	Perencanaan Ulang Pondasi Tiang Bor dengan Variasi Diameter Menggunakan Metode <i>Meyerhoff</i> , <i>Aoki & De Alencar</i> dan <i>Luciano Decourt</i>	Pengaruh Variasi Dimensi Terhadap Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor Kelompok dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga	Perencanaan Ulang Struktur Bawah dengan Pondasi <i>Bored Pile</i> pada Gedung White Hotel Sedan Yogyakarta	Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Bor pada Gedung Masjid Hajjah Yuliana	Analisis Pondasi Tiang Bor dengan Variasi Diameter Menggunakan Metode <i>Meyerhoff</i> , <i>Luciano Decourt</i> dan <i>Reese & Wright</i>

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu						Penelitian Sekarang
	Hudoyo (2017)	Nurmawaty (2017)	Dirgananta (2018)	Haq (2018)	Hidayat (2018)	Mutiarasella (2022)	Oktavia (2024)
Tujuan Penelitian	Mengetahui seberapa besar kapasitas dukung dan penurunan yang terjadi dengan menggunakan diameter tiang yang berbeda.	Mengetahui seberapa besar kapasitas dukung pondasi, diameter, dan jumlah tiang pondasi tiang bor	Mengetahui perbandingan nilai kapasitas dukung pondasi Tiang Bor dengan pondasi <i>existing (Bored Pile)</i>	Mengetahui seberapa besar pengaruh variasi dimensi terhadap kapasitas dukung pondasi tiang bor dan penurunannya	Mengetahui perbandingan besar kapasitas dukung pondasi dengan tiga metode, diameter dan jumlah tiang	Mengetahui nilai daya dukung pondasi dan penurunan yang terjadi terhadap pondasi alternatif (tiang bor)	Mengetahui kapasitas dukung pondasi <i>bored pile</i> dan penurunan yang terjadi pada pondasi <i>bored pile</i> .
Metode Penelitian	<i>Vesic</i>	<i>Meyerhoff, Aoki & De Alencar dan Reese & Wright dan SAP2000</i>	<i>Meyerhoff, Aoki & De Alencar dan Luciano Decourt</i>	<i>Meyerhoff dan Reese & Wright dan Software Plaxis 2D</i>	<i>Meyerhoff, Schmertmann & Nottingham dan Reese & Wright</i>	<i>Vesic, Poulos dan Davis</i>	<i>Meyerhoff, Luciano Decourt, dan Reese & Wright</i>

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu						Penelitian Sekarang
Penulis	Hudoyo (2017)	Nurmawaty (2017)	Dirgananta (2018)	Haq (2018)	Hidayat (2018)	Mutiarasella (2022)	Oktavia (2024)
Hasil Penelitian	Menggunakan diameter 0,6 m hasil $Q_u = 204,8$ Ton dan 1,0 m hasil $Q_u = 652,3$ Ton	Menggunakan diameter 25cm, 30cm, dan 40cm. P yang diterima pondasi sebesar 2702,4kN, sedangkan Q_g pada pondasi sebesar 2973,2 kN	Menggunakan diameter tiang 0,3 m, 0,4 m dan 0,5 m. P yang diterima pondasi sebesar 903,296 Ton. Q_u pada pondasi <i>existing</i> sebesar 1096,16 Ton, sedangkan Q_u desain pondasi Tiang Bor sebesar 938,246 Ton.	Menggunakan diameter tiang 70 cm, 80 cm dan 90 cm. P yang diterima pondasi sebesar 2523,56 kN, sedangkan Q_g pada pondasi sebesar 6519,33 kN	Menggunakan diameter 60 cm, 70 cm, dan 80 cm. P yang diterima pondasi sebesar 2879,682 kN, sedangkan Q_g pada pondasi sebesar 4098,118 kN	Menggunakan diameter tiang 0,6 m. Hasil (Q_u) adalah 6744,230 kN, dan (Q_g) pada pondasi tiang bor 5395,384 kN.	

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Dalam ilmu teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun yang lainnya (Hardiyatmo, 2010).

Menurut Bowles (1994), tanah merupakan campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut:

1. Berangkal (*boulders*) adalah potongan batuan yang besar, umumnya lebih besar dari 250 hingga 300 mm dan untuk ukuran 150 mm hingga 250 mm, fragmen batuan ini disebut keraakal (*cobbles/pebbles*).
2. Kerikil (*gravel*) adalah partikel batuan yang berukuran 5 mm hingga 150 mm.
3. Pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0,074 mm hingga 5 mm, yang berkisar dari kasar dengan ukuran 3 mm hingga 5 mm hingga bahan halus yang berukuran < 1 mm.
4. Lanau (*silt*) adalah partikel batuan yang berukuran lebih 0,002 mm hingga 0,0074 mm.
5. Lempung (*clay*) adalah partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm yang merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
6. Koloid (*colloids*) adalah partikel mineral yang diam dan berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

Terdapat dua system klasifikasi yang sering digunakan, yaitu *Unified Soil Classification System* dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas.

Klasifikasi tanah dari Sistem *Unified* mula pertama diusulkan oleh Casagrande (1942), kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (*Unified State Bureau of Reclamation*). Dalam bentuk yang sekarang, system ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi konsultan geoteknik. (Hardiyatmo, 2002)

3.1.1 Sistem Klasifikasi Unified Soil Classification System (USCS)

Metode klasifikasi tanah ini cukup banyak digunakan dalam bidang geoteknik. Hadiyatmo (2002) menyatakan Pada sistem *Unified*, tanah diklasifikasikan kedalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomer 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomer 200.

Selanjutnya, tanah diklasifikasi dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang dapat dilihat dalam simbol-simbol yang digunakan tersebut adalah :

- G = Kerikil (*gravel*)
- S = Pasir (*sand*)
- C = Lempung (*clay*)
- M = Lanau (*silt*)
- O = Lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*)
- Pt = Tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic soil*)
- W = Gradasi baik (*well-graded*)
- P = Gradasi buruk (*poorly-graded*)
- H = Plastisitas tinggi (*high-plasticity*)
- L = Plastisitas rendah (*low-plasticity*)

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah Sistem Unified adalah sebagai berikut.

1. Tentukan apakah tanah berbutir halus, kasar atau organik tinggi. Hal ini dilakukan secara visual dan/atau dengan cara menyaringnya dengan saringan nomer 200.
2. Jika tanah berupa butiran kasar :
 - a. Saring tanah tersebut dan gambarkan grafik distribusi butiran.
 - b. Tentukan persen butiran lolos saringan no.4. Bila persentase butiran yang lolos kurang dari 50%, klasifikasikan tanah sebagai kerikil, bila persen

butiran yang lolos lebih dari 50%, klasifikasikan sebagai pasir.

- c. Tentukan jumlah butiran yang lolos saringan no.200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5%, pertimbangkan bentuk grafik distribusi butiran dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (bila kerikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) atau SP (bila pasir). Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan no.200 diantara 5 sampai 12%, tanah akan mempunyai symbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (GW-GM, SW-SM, dan sebagainya).
 - d. Jika persen butiran lolos saringan no.200 lebih besar 12% harus dilakukan uji batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Lalu, dengan menggunakan diagram plastisitas, tentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM-GC atau SM-SC).
3. Jika tanah berbutir halus :
- a. Kerjakan uji batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Jika batas cair lebih dari 50, klasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50, klasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah).
 - b. Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh diatas garis A, klasifikasikan sebagai CH.
 - c. Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A dan area yang diarsir, tentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik (OL) atau anorganik (ML) berdasar warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya di dalam oven.
 - d. Jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekita 50, gunakan simbol dobel. Adapun untuk sistem klasifikasi tanah unified dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Sistem Klasifikasi Tanah Unified

Divisi Utama	Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama Jenis
Tanah berbutir kasar 50% butiran lebih dari 4,75 mm	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar terdapat dalam saringan no. 4 (4,75 mm)	GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil atau tidak mengandung butiran halus
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		SP	Pasir gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("lean clays")
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays")
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi
Tanah dengan kadar organik tinggi	P _t		Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi

Sumber: Hadiyatmo (2002)

3.1.2 Sistem Klasifikasi American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)

Metode klasifikasi tanah ini banyak digunakan untuk menentukan kualitas tanah terhadap pekerjaan jalan, yaitu untuk menentukan kualitas tanah lapis dasar (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*), maka diperlukan pengujian agar bisa masuk kedalam klasifikasi tanah yang diinginkan. Dalam metode klasifikasi ini terdapat 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai A-7. Tanah dalam klasifikasi kelompok A-1, A-2, A-3 yaitu tanah berbutir kasar dimana 35% dari atau kurang dari butir tersebut yaitu melalui ayakan no 200. Tanah yang dimana 35% atau lebih melalui ayakan no 200 yaitu diklasifikasikan dalam kelompok tanah A-4, A-5, A-6, A-7. Pengelompokkan tanah berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3. 2 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Klasifikasi umum	Material granuler ($< 35\%$ lolos saringan No.200)							Tanah-tanah lanau-lempung ($> 35\%$ lolos saringan No. 200)			
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5/A-7-6
Analisis saringan (% lolos)											
2,00 mm (no. 10)	50 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (no.40)	30 maks	50 maks	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 mm (no. 200)	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi lolos saringan no. 40											
Batas cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks kelompok (G)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

Sumber: Hardiyatmo (2010)

3.2 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah merupakan suatu upaya yang dilakukan untuk mengetahui daya dukung tanah, sifat dari tanah serta karakteristik tanah. Hasil dari penyelidikan tanah yang dilakukan akan menjadi dasar dalam merencanakan kedalaman, dimensi, serta jenis pondasi yang akan digunakan. Agar bangunan dapat berdiri dengan stabil dan tidak timbul penurunan (*settlement*) yang terlalu besar, maka pondasi dari suatu bangunan harus mencapai lapisan tanah yang cukup padat.

Menurut Gunawan (1983), untuk mengetahui letak/kedalaman lapisan tanah padat dan kapasitas daya dukung tanah (*bearing capacity*) yang diizinkan, maka perlu dilakukan penyelidikan mekanika tanah yang mencakup penyelidikan di lapangan (lokasi rencana bangunan baru) dan penelitian di laboratorium.

Penyelidikan di lapangan dapat berupa uji SPT, pengeboran (*hand boring* maupun *machine boring*), CPT (sondir), *sand cone test* dan *dynamic cone penetrometer*. Sedangkan untuk penyelidikan di laboratorium terdiri dari uji indeks *properties* tanah (*Atterberg limit*, *water content*, *specific gravity*, dan *sieve analysis*) dan uji *engineering properties* tanah (*Direct shear test*, *triaxial test*, *consolidation test*, *permeability test* dan CBR).

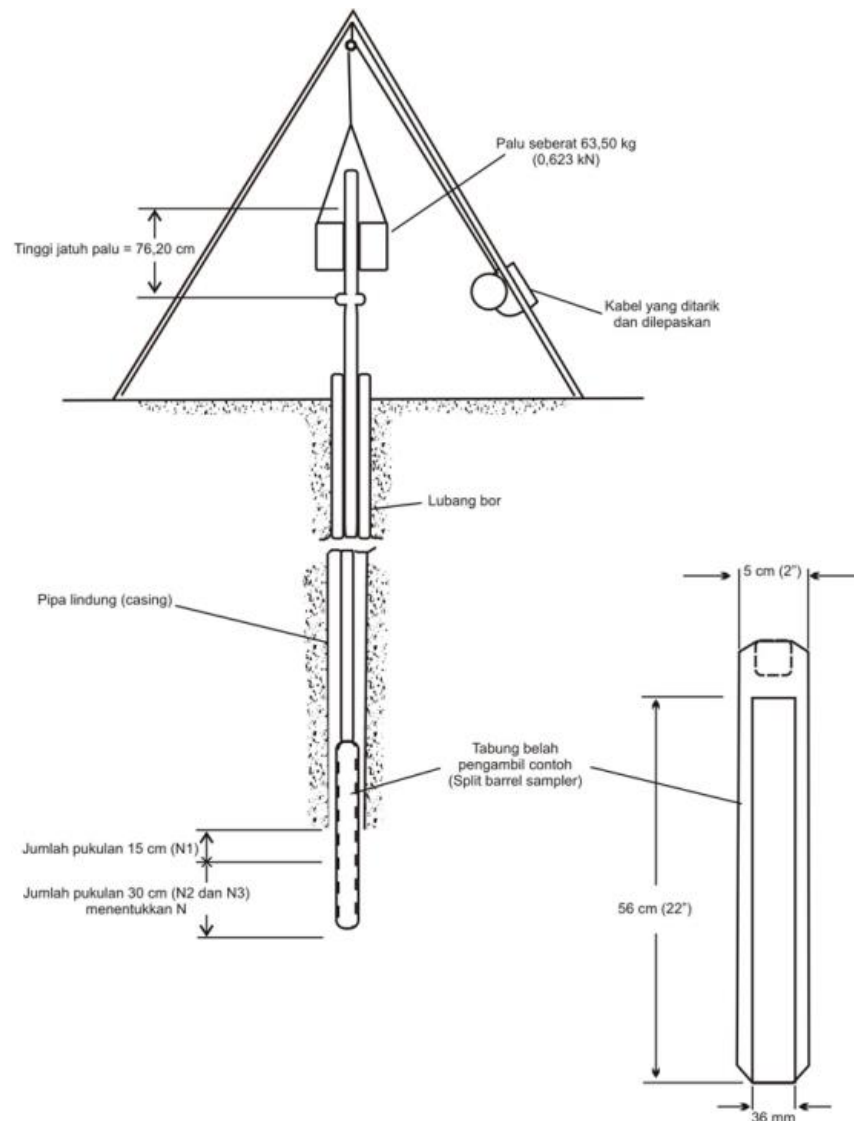
3.2.1 Standart Penetration Test (SPT)

Pengujian penetrasi dinamis atau biasa dikenal dengan sebutan SPT merupakan salah satu jenis penyelidikan tanah yang berasal dari Amerika Serikat dan dikembangkan pada tahun 1927. Pengujian SPT merupakan salah satu uji tanah yang sering dilakukan untuk mengetahui daya dukung tanah di lapangan. Pengujian SPT dilakukan pada setiap 1-2 meter pengeboran atau setiap perubahan lapisan tanah. Pengujian dilakukan dengan memukulkan tabung kedalam tanah sedalam 45 cm, kemudian pada setiap kedalaman mencapai 15 cm dilakukan pencatatan jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk memasukkannya. Sehingga angka SPT dapat diperoleh dengan menjumlah 2 (dua) angka pukulan terakhir pada setiap interval pengujian, kemudian hal tersebut akan dicatat pada lembaran *drilling log*. Pengeboran akan dihentikan pada saat uji SPT N sudah mencapai diatas 60 N berurutan sebanyak 3 (tiga) kali. Setelah pengujian selesai dilakukan, sampel tanah akan dimasukkan ke kantong plastic untuk dilakukan analisis di laboratorium. Pengujian SPT bertujuan untuk mengetahui kepadatan tanah dengan N SPT, serta dapat mengetahui jenis tanah dan sudut geser lapisan tanah. Adapun hal-hal yang harus dilakukan saat pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) yaitu sebagai berikut.

1. Pengeboran dan pemasangan alat uji SPT

- a. Lakukan pengeboran tanah sampai kedalaman yang diinginkan yang dilengkapi pemasangan pipa lindung (*casing*).
- b. Pasang landasan penahan (*knocking block*) pada pipa bor.
- c. Beri tanda pada ketinggian sekitar 75 cm pada pipa bor yang berada di atas penahan.
- d. Bersihkan lubang bor pada kedalaman pengujian dari bekas-bekas pengeboran.
- e. Pasang *split barrel sampler* pada pipa bor dan pada ujung lainnya disambungkan dengan pipa bor yang telah dipasang blok penahan.
- f. Masukkan peralatan uji SPT ke dalam dasar lubang bor atau sampai kedalaman yang diinginkan.

- g. Beri tanda pada batang bor mulai dari muka tanah sampai ketinggian 15 cm, 30 cm dan 45 cm.

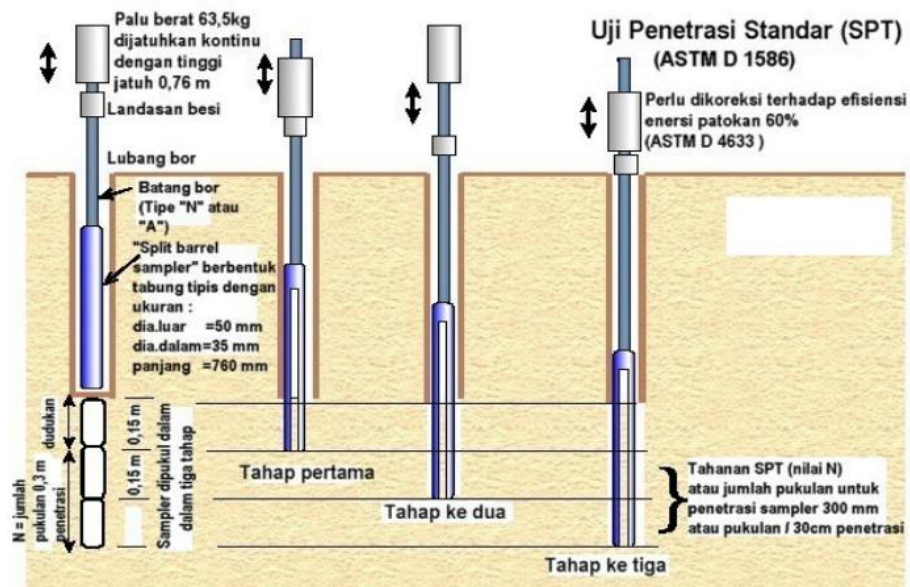


Gambar 3. 1 Penetrasi dengan SPT
(Sumber: SNI 4153:2008)

2. Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT)

- Tarik tali pengikat palu (hammer) sampai pada tanda yang telah dibuat sebelumnya (± 75 cm).
- Lepaskan tali sehingga palu jatuh bebas menimpa penahan. C
- Ulangi a dan b berkali-kali sampai mencapai penetrasi 15 cm.

- d. Hitung jumlah pukulan atau tumbukan N pada penetrasi 15 cm yang pertama.
- e. Ulangi a, b, c dan d sampai pada penetrasi 15 cm yang ke-dua dan ke-tiga.
- f. Catat jumlah pukulan N pada setiap penetrasi 15 cm : 15 cm pertama dicatat N_1 ; 15 cm ke-dua dicatat N_2 ; 15 cm ke-tiga dicatat N_3 .
- g. Jumlah pukulan yang dihitung adalah $N_2 + N_3$. N_1 tidak diperhitungkan karena masih kotor bekas pengeboran.
- h. Bila N lebih besar daripada 50 pukulan, hentikan pengujian dan tambahkan pengujian sampai minimum 6 meter.
- i. Catat jumlah pukulan pada setiap penetrasi 5 cm untuk jenis tanah batuan.



Gambar 3. 2 Skema Urutan Uji Penetrasi Standar SPT

(Sumber: SNI 4153:2008)

3. Laporan Uji *Standard Penetration Test* (SPT)

Hasil uji penetrasi lapangan dengan SPT dilaporkan menjadi satu dengan log bor dari hasil pengeboran dalam bentuk formulir seperti pada Gambar 3.3 yang antara lain memuat hal-hal sebagai berikut.

- a. Nama pekerjaan dan lokasi pekerjaan, dan tanggal pengujian
- b. Nama penguji, nama pengawas, dan nama penanggung jawab hasil uji dengan disertai tanda tangan (paraf) yang jelas

- c. Nomor lubang bor, kedalaman pengeboran, muka air tanah elevasi titik bor dan hasil pengujian SPT
- d. Tipe ujung split barrel yang digunakan, apakah berbentuk konus terbuka atau konus tertutup
- e. Catatan setiap penyimpangan pada waktu pengujian.

3.3 Pondasi Tiang Bor

Menurut Hardiyatmo (2015) Pondasi tiang bor atau *bored pile foundation* adalah pondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah pada awal pengerjaannya. *Bored pile* dipasang ke dalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi tulangan dan dicor beton. Fungsi dari pondasi tiang bor sama dengan fungsi pondasi secara umum, yaitu meneruskan beban bangunan ke tanah atau lapisan batuan yang lebih keras.

Pondasi tiang bor merupakan jenis pondasi yang sangat sering dipakai apabila efek dinamis dari Tiang Bor mengganggu struktur sekitarnya dan jenis tanah yang keras sehingga sulit digunakan Tiang Bor. Pondasi ini tidak menimbulkan bunyi yang bising saat proses pemancangan. Meskipun saat pemasangan menimbulkan getaran tanah, namun tidak akan mengakibatkan kerusakan pada bangunan yang ada disekitarnya.

Adapun kelebihan dari penggunaan pondasi tiang bor (*bored pile*) sebagai berikut ini.

1. tidak berisiko terjadinya kenaikan muka tanah,
2. kedalam tiang bor dapat divariasikan sesuai dengan kondisi lapangan,
3. pemasangan tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran yang membahayakan bangunan sekitarnya,
4. diameter tiang bor memungkinkan untuk diperbesar,
5. tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium,
6. tiang bor dapat dipasang di berbagai lapisan tanah, bahkan dapat dipasang menembus batuan,
7. memiliki ketahanan yang besar terhadap gaya lateral,

8. penulangan tidak dipengaruhi oleh tegangan pada waktu pengangkutan dan pemancangan.

Adapun kelemahan dari penggunaan pondasi tiang bor (*bored pile*) sebagai berikut ini.

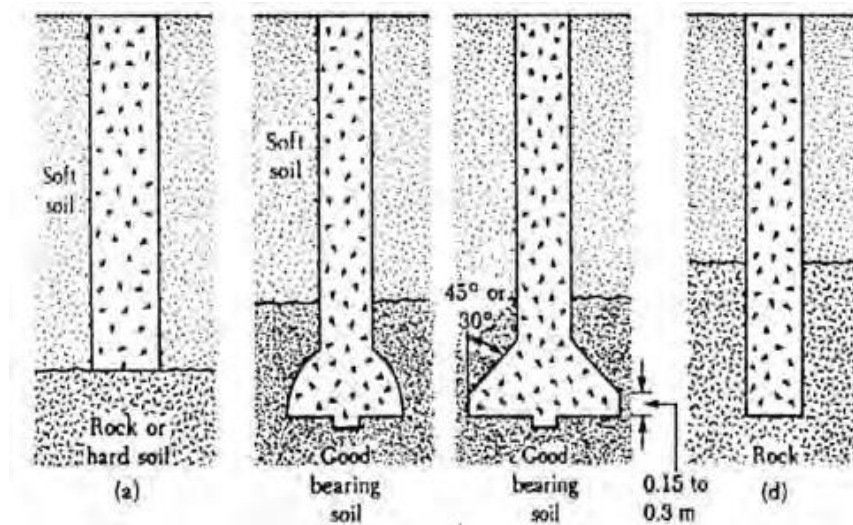
1. Pengecoran tiang bor dipengaruhi oleh kondisi cuaca,
2. Pengecoran beton akan sulit dilakukan bila air tanah tidak terkontrol dengan baik, karena hal tersebut akan mempengaruhi mutu beton rencana,
3. Proses pengeboran tanah dapat mengganggu kepadatan tanah,
4. Dibutuhkan pemasangan *temporary casing* sebagai tindakan pencegahan tanah runtuh (*longsor*),
5. Air yang mengalir kedalam lubang bor dapat mengurangi kapasitas dukung tanah, sehingga diperlukan penghisapan air keluar dan dibuang (*dewatering*),
6. Perlu adanya area untuk pembuangan tanah yang diangkut hasil dari pengeboran,
7. Rentan terkena timbunan pada dasar lubang, sehingga kedalam pondasi tidak stabil,
8. Mutu beton hasil pengecoran bila tidak terjamin keseragamannya di sepanjang badan tiang bor akan mengurangi kapasitas dukung tiang bor, terutama bila tiang bor tertanam cukup dalam.

3.3.1 Jenis Pondasi Tiang Bor

Pondasi tiang bor direncanakan sesuai dengan kebutuhan dan kondisi tanah yang ada di lokasi pelaksanaan pekerjaan. Terdapat beberapa jenis pondasi tiang bor (*bored pile*) sebagai berikut.

1. Tiang bor (*bored pile*) lurus untuk tanah keras.
2. Tiang bor (*bored pile*) yang ujungnya diperbesar berbentuk bel.
3. Tiang bor (*bored pile*) yang ujungnya diperbesar berbentuk trapesium.
4. Tiang bor (*bored pile*) lurus untuk tanah berbatu.

Adapun jenis-jenis pondasi tiang bor (*bored pile*) dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3. 3 Jenis-jenis Pondasi *Bored Pile*

(Sumber: Braja M. Das, 1941)

3.3.2 Metode Pelaksanaan Tiang Bor

Terdapat tiga metode pelaksanaan dalam pembuatan tiang bor (*bored pile*). Adapun penjelasan untuk masing-masing metode sebagai berikut ini.

1. Metode kering (*dry hole methode*)

Metode kering digunakan pada tanah kohesif dengan muka air yang berada pada kedalaman di bawah dasar lubang bor. Metode kering dapat dilakukan pada tanah dibawah muka air tanah jika tanah memiliki permeabilitas yang rendah, sehingga ketika pengeboran dilakukan air tidak masuk ke dalam lubang bor saat lubang masih terbuka. Pada metode kering lubang bor dibuat dengan mesin bor tanpa pipa pelindung (*casing*). Dasar lubang bor dibersihkan dari rontokan tanah dan kemudian tulangan yang telah dirangkai dimasukkan ke lubang bor lalu dicor beton.

2. Metode basah (*wash boring method*)

Metode basah dilakukan apabila pengeboran telah melewati muka air tanah sehingga lubang bor selalu mengalami kelongsoran karena dindingnya tidak ditahan. Oleh sebab itu dilakukan pengisian lubang bor dengan larutan tanah lempung atau larutan polimer (pengeboran dalam kondisi dalam larutan). Setelah mencapai kedalaman yang diinginkan, bersihkan lubang bor dan masukkan tulangan rakit ke lubang bor yang masih berisi cairan bentonite (*polymer*).

Kemudian masukkan adukan beton dalam lubang bor dengan pipa tremie, maka larutan bentonite akan terdesak dan tersangkung ke atas oleh adukan beton. Larutan yang keluar ditampung dan dapat digunakan kembali untuk pengeboran di lokasi lainnya.

3. Metode *casing*

Penggunaan *casing* dibutuhkan karena kelongsoran tanah (*caving*) atau deformasi *lateral* dalam lubang bor kemungkinan dapat terjadi. Untuk menahan agar lubang tidak longsor digunakan pipa selubung baja (*casing*) dilakukan dengan cara memancang, menggetarkan atau menekan pipa baja sampai kedalaman yang ditentukan. Seperti yang telah diketahui bahwa sebelum *casing* dimasukkan, suatu adonan spesi encer (*slurry*) digunakan untuk mempertahankan lubang. Setelah *casing* terpasang, *slurry* dikeluarkan dan sumuran diperdalam hingga kedalaman yang dibutuhkan dalam keadaan kering.

3.4 Kapasitas Dukung Tiang Tunggal Berdasarkan Data SPT

Standart Penetration Test (SPT) merupakan uji penetrasi yang dilakukan secara dinamis dengan tujuan untuk mengetahui daya dukung tanah. Daya dukung tanah dapat dianalisis menggunakan nilai N SPT.

3.4.1 Metode Meyerhoff

1. Kapasitas Dukung Tiang

Menurut Das (1994), kapasitas dukung ujung tiang dapat ditentukan dengan cara Meyerhoff. Perhitungan kapasitas dukung metode Meyerhoff berdasarkan data SPT menggunakan dua persamaan, yaitu pada tanah kohesif dan tanah non kohesif. Tahanan ujung pada tanah non kohesif (pasir) dapat dilihat pada Persamaan 3.1 berikut.

$$Q_p = 40 \times N_{SPT} \times A_p \quad (3.1)$$

dengan :

$$N_{SPT} = \frac{N_1 + N_2}{2}$$

N_1 = Nilai N rata-rata pada kedalaman 4D pada ujung tiang ke bawah

N_2 = Nilai N rata-rata pada kedalaman 8D pada ujung tiang ke atas

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

D = Diameter tiang (m)

Berdasarkan penelitian Livia dan Suhendra (2018) dengan metode Meyerhoff, tahanan ujung tiang pada tanah kohesif (lempung) menggunakan Persamaan 3.2 berikut.

$$Q_p = 20 \times N_{SPT} \times A_p \quad (3.2)$$

dengan :

$$N_{SPT} = \frac{N_1 + N_2}{2}$$

N_1 = Nilai N rata-rata pada kedalaman 4D pada ujung tiang ke bawah

N_2 = Nilai N rata-rata pada kedalaman 8D pada ujung tiang ke atas

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

D = Diameter tiang (m)

Selanjutnya untuk tahanan selimut atau *skin friction*, dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.3 berikut.

$$Q_s = 0,2 N_{SPT} \times A_s \quad (3.3)$$

dengan :

N_{SPT} = Nilai rata-rata SPT sepanjang tiang

A_s = Luas selimut tiang (m^2)

Setelah memperoleh nilai tahanan ujung dan tahanan selimut, maka daya dukung ultimate pondasi tiang dapat diketahui melalui Persamaan 3.4 berikut.

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s \quad (3.4)$$

dengan :

Q_p = Daya dukung ujung (kN)

Q_s = Daya dukung selimut tiang (kN)

2. Kapasitas dukung tiang kelompok

Kelompok tiang yaitu kumpulan tiang yang dipasang dengan jarak yang relatif berdekatan dan umumnya diikat menjadi satu bagian dengan menggunakan N_{cap} . Dalam perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang, ada hal yang perlu diperhatikan. Adapun hal yang perlu diperhatikan, yaitu jumlah tiang dalam satu kelompok, jarak tiang, susunan tiang, dan efisiensi kelompok tiang.

a. Jumlah tiang

Dalam menentukan jumlah tiang yang akan dipasang untuk satu *pile cap* perlu didasari beban yang bekerja pada pondasi dan kapasitas dukung Izin (Q_a). Persamaan yang dapat digunakan dalam perhitungan jumlah tiang dapat dilihat pada Persamaan 3.5 berikut.

$$n = \frac{P}{Q_a} \quad (3.5)$$

dimana :

n = Jumlah tiang (buah)

P = Beban yang bekerja pada pondasi

Q_a = Kapasitas dukung Izin

b. Jarak dan Susunan Tiang

Suryolelono (1994) menyatakan bahwa pada prinsipnya, apabila jarak tiang (S) semakin rapat, maka ukuran N_{cap} semakin kecil dan dengan hal tersebut secara tidak langsung memperkecil biaya yang akan dikeluarkan. Berdasarkan Dirjen Bina Marga Departemen P.U.T.L, jarak antar tiang yang disyaratkan dapat ditentukan dengan syarat sebagai berikut.

$$S \geq 2,5D$$

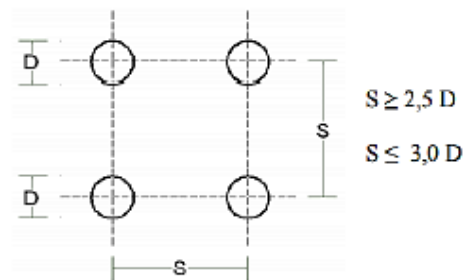
$$S \leq 3D$$

dimana :

S = Jarak pusat tiang satu ke tiang lainnya

D = Diameter tiang

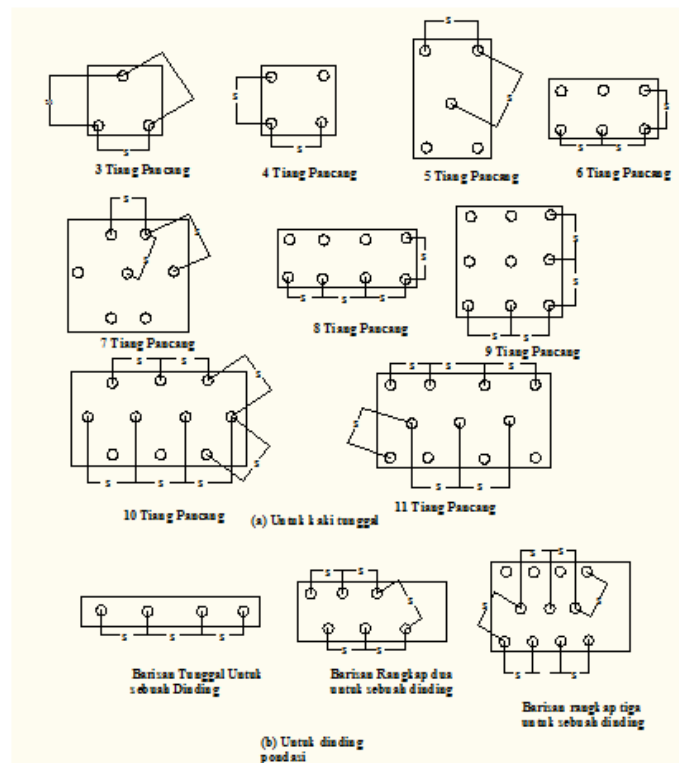
Untuk lebih jelasnya, jarak antar tiang dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3. 4 Jarak Antar Tiang
(sumber : Sardjono, 1988)

Jarak antar dua tiang dalam kelompok disyaratkan minimum 0,60 m dan maksimum 2,00 m. ketentuan tersebut berdasarkan pada pertimbangan apabila $S < 2,5D$ maka ada kemungkinan tanah yang berada disekitar kelompok tiang akan mengalami kenaikan terlalu berlebihan karena adanya desakan dari tiang-tiang yang dibor terlalu berdekatan. Selain itu, adanya kemungkinan terangkatnya tiang-tiang disekitarnya yang telah dibor lebih dahulu. Apabila $S > 3D$ maka tidak ekonomis, karena akan memperbesar dimensi dari *pile cap*.

Menurut Suryolelono (1994), susunan tiang sangat mempengaruhi luas denah *pile cap*, sehingga hal tersebut otomatis sangat bergantung pada jarak tiang. Apabila jarak kurang teratur atau terlalu besar, maka luas *pile cap* akan menjadi besar. Kemudian hal tersebut akan berakibat terhadap volume beton yang juga akan ikut membesar. Contoh susunan pondasi tiang dalam kelompok tiang dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3. 5 Susunan Tiang Dalam Kelompok Tiang
(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

c. Efisiensi Kelompok Tiang

Menurut Coduto (1994) dalam buku *Analisis dan Perancangan Pondasi II*, (Hardiyatmo, 2010) menyatakan bahwa efisiensi kelompok tiang bergantung pada beberapa faktor sebagai berikut ini.

- 1) Jumlah tiang, panjang, diameter, pengaturan dan terutama jarak antara as tiang.
- 2) Model transfer beban (gesek selimut atau tahanan ujung).
- 3) Prosedur pelaksanaan pemasangan (tiang bor atau tiang pancang)
- 4) Urutan pemasangan tiang.
- 5) Jenis tanah.
- 6) Waktu setelah pemasangan.
- 7) Interaksi antara pelat penutup (*pile cap*) dengan tanah,
- 8) Arah dari brban yang bekerja.

Adapun persamaan untuk menghitung efisiensi kelompok tiang menggunakan metode *Convere-Labarre formula* dapat dilihat pada Persamaan 3.6 berikut.

$$E_g = 1 - \Theta \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90 mn'} \quad (3.6)$$

dimana:

E_g = Efisiensi kelompok tiang

m = Jumlah baris tiang

n = Jumlah tiang dalam satu baris

Θ = arc tg d/S , dalam derajat

S = Jarak pusat ke pusat tiang

d = Diameter tiang

Berdasarkan hasil pengujian pada tanah non kohesif atau pasir yang dinyatakan oleh Brown, dkk (2010), nilai efisiensi kelompok tiang 1,0 atau lebih dapat diperoleh dengan jarak antar tiang $2,5D - 3D$ (Paulus, 2016).

d. Persamaan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

Kapasitas ultimit kelompok tiang dengan memperlihatkan faktor efisiensi tiang dinyatakan dengan Persamaan 3.7 berikut ini.

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_a \quad (3.7)$$

dimana :

Q_g = Beban maksimum kelompok tiang yang mengakibatkan keruntuhan

E_g = Efisiensi kelompok tiang

n = Jumlah tiang dalam kelompok

Q_a = Kapasitas dukung Izin tiang

3. Penurunan pondasi tiang bor

Berdasarkan hasil N-SPT didapatkan rumus seperti Persamaan 3.8 dan Persamaan 3.9 berikut.

$$S_g = 2 q \sqrt{\frac{B_g \cdot I}{N}} \quad (3.8)$$

$$I = \left[1 - \frac{L}{8 \cdot B_g} \right] > 0,5 \quad (3.9)$$

dengan:

S_g = penurunan kelompok tiang

q = *overburden pressure*, tekanan pada dasar pondasi (kg/cm^2)

B_g = lebar terluar kelompok tiang (m)

L = Panjang tiang (m)

N = harga rata-rata N pada kedalaman $\pm B_g$ di bawah kaki pondasi tiang

3.4.2 Metode Luciano Decourt

1. Kapasitas Dukung Tiang

Salah satu metode yang dapat berlaku umum untuk jenis apapun adalah metode Luciano Decourt (1982). Metode ini merupakan hasil dari penyempurnaan metode yang sebelumnya yaitu metode *Meyerhoff*. Dimana dalam metode Luciano Decourt memiliki nilai yang lebih akurat. Besarnya daya dukung tiang ultimit (Q_u) dapat dilihat pada Persamaan 3.10.

Pada metode *Luciano Decourt* (Dirgananta 2018) dibutuhkan nilai koefisien yang bergantung dari jenis tanah yang akan digunakan, nilai koefisien dapat dilihat pada Tabel 3.3.

$$Q_u = (A_p \times N_p \times K \times \alpha) + (A_s \times (\frac{N_s}{3} + 1)) \times A_s \times \beta \quad (3.10)$$

dimana :

Q_u = Daya dukung ultimit tiang (ton)

A_p = Luas penampang ujung tiang (m^2)

N_p = nilai rata-rata SPT mulai 4D di bawah ujung tiang hingga 4D di atas ujung tiang

K = Koefisien yang tergantung jenis tanah

- α = Faktor koreksi pada ujung tiang = 1
 β = Faktor koreksi pada ujung selimut tiang = 1
 A_s = Luas selimut tiang
 N_s = Nilai SPT rata-rata lapisan tanah sepanjang tiang yang ditinjau

Tabel 3. 3 Nilai Koefisien Jenis Tanah

Jenis Tanah	K (t/m ²)
Lempung	12
Lanau berlempung	20
Lanau berpasir	25
Pasir	40

(Sumber: Dirgananta 2018)

2. Kapasitas dukung tiang kelompok

a. Jumlah tiang

Jumlah tiang yang dibutuhkan sebagai berikut.

$$\text{Jumlah tiang} = \frac{V}{E_k \times Q_d} \quad (3.11)$$

b. Gaya yang bekerja pada tiang

$$P_i = \frac{\sum V}{n} \pm \frac{M_x Y_1}{\sum_{i=1}^n Y_1^2} \pm \frac{M_y X_1}{\sum_{i=1}^n X_1^2} \quad (3.12)$$

Dimana:

- P_i = Beban aksial pada tiang ke-i
 V = Jumlah beban vertikal yang bekerja pada pusat kelompok tiang
 M_x = Momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu x
 M_y = Momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu y
 n = Banyaknya tiang bor dalam kelompok tiang bor (*pile group*)
 x_i, y_i = Absis atau jarak ke pusat berat kelompok tiang ke tiang ke-i
 $\sum x^2$ = Jumlah kuadrat absis-absis tiang bor.
 $\sum y^2$ = Jumlah kuadrat ordinat-ordinat tiang bor.

c. Faktor efisiensi dalam kelompok, berdasarkan *Converse Labarre*

$$E_g = 1 - \frac{B}{L} \times \frac{D}{\pi \cdot S \cdot m} \left[m \cdot (n - 1) + n(m - 1) + \sqrt{2(m - 1)(n - 1)} \right] \quad (3.13)$$

dimana:

E_g = Efisiensi kelompok tiang

m = Jumlah baris tiang

n = Jumlah tiang dalam satu baris

d. Kapasitas dukung kelompok tiang

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_a \quad (3.14)$$

dimana:

E_g = Efisiensi kelompok tiang

n = Jumlah tiang dalam kelompok

Q_a = Kapasitas dukung Izin tiang

3. Penurunan pondasi tiang bor

Dasar-dasar penurunan konsolidasi dan analisa penyebaran tegangan dapat digunakan metode Analisa sebagai berikut.

$$\Delta p_i = \frac{Q_g}{(B_g + Z_i)(L_g + Z_i)} \quad (3.15)$$

dengan:

Δp_i = Tegangan pada lapisan i

L_g = Panjang dari tiang kelompok

B_g = Lebar dari tiang kelompok

Penurunan dari tiap lapisan yang disebabkan peningkatan penyebaran tegangan, dirumuskan sebagai berikut.

$$\Delta S_i = \left[\frac{\Delta e(i)}{1 + e_{o(i)}} \right] H_i \quad (3.16)$$

dengan:

ΔS_i = Penurunan konsolidasi pada lapisan i

Δe_i = Void ratio yang disebabkan oleh penyebaran tegangan pada lapisan i

e_o = Void ratio pada lapisan I (sebelum pondasi didirikan)

H = Tebal lapisan tanah i

$$\Delta S_i = \left[\frac{\Delta e(i)}{1+e_{o(i)}} \right] \log \left[\frac{P_o(i) + \Delta P(i)}{P_o(i)} \right] \quad (3.17)$$

dengan:

$P_o(i)$ = Tegangan pada lapisan i

ΔP = Total tegangan

Jadi, total penurunan konsolidasi kelompok tiang sebagai berikut

$$\Delta S_g = \sum \Delta S_i \quad (3.18)$$

3.4.3 Metode Reese & Wright

1. Kapasitas Dukung Tiang

Reese & Wright (1977) menyatakan bahwa kapasitas dukung pada ujung tiang bor dapat dinyatakan seperti Persamaan 3.19 berikut.

$$Q_p = q_p \cdot A_p \quad (3.19)$$

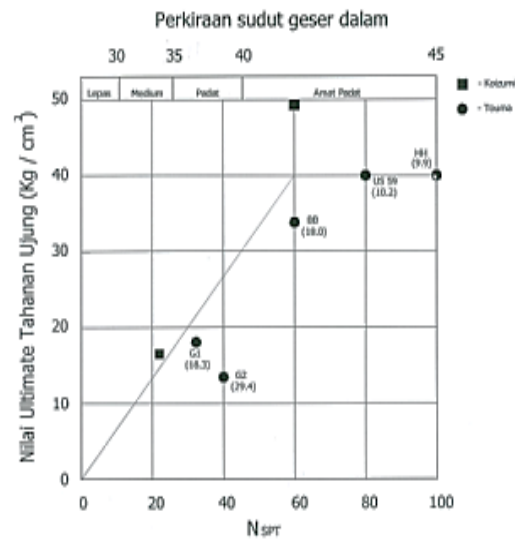
dimana :

Q_p = kapasitas dukung ujung tiang (kN)

q_p = tahanan ujung per satuan luas (kN/m²)

A_p = luas penampang tiang bor (m²)

Pada tanah kohesif (lempung), besar tahanan ujung per satuan luas dapat diambil sebesar 9 kali kuat geser tanah ($9 \cdot C_u$). Sedangkan untuk tanah non kohesif (pasir), Reese & Wright mengusulkan hubungan antara q_p dengan N_{SPT} seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3. 6 Tahanan Ujung Ultimit pada Tanah Non Kohesif
(Sumber: Reese & Wright, 1997)

Kemudian untuk tahanan selimut (*skin friction*), nilainya dapat dilihat pada Persamaan 3.20 berikut.

$$Q_s = f_s \cdot L \cdot p \quad (3.20)$$

dimana :

Q_s = daya dukung ultimit selimut beton (ton)

f = gesekan selimut tiang persatuan luas (kN/m²)

L = panjang tiang bor (m)

p = keliling penampang tiang (m)

Bila tiang bor terletak pada tanah yang berlapis, maka digunakan Persamaan 3.21 sebagai berikut.

$$Q_s = \sum_{i=1}^n f_s \times l_i \times p \quad (3.21)$$

dimana :

Q_s = kapasitas dukung ultimit selimut tiang (kN)

f_s = besarnya kapasitas gesek maksimum dari lapisan tanah dengan memperhitungkan gesekan selimut (kn/m²)

l_i = tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan gesekan selimut (m)

p = keliling penampang tiang (m)

Gesekan selimut tiang per satuan luas daapt dipengaruhi oleh jenis tanah dan parameter kuat geser tanah.

- a. Tanah Kohesif Gesekan selimut tiang dapat ditentukan dengan Persamaan 3.22 berikut.

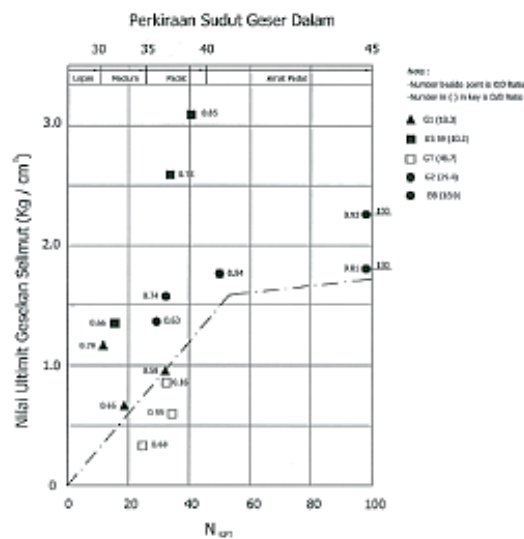
$$f_s = \alpha \times c_u \quad (3.22)$$

dimana :

α = faktor adhesi (diambil 0,55)

c_u = kohesi tanah pada kondisi undrained

- b. Tanah Non-Kohesif besarnya nilai f_s dapat diperoleh dari korelasi langsung dengan N_{SPT} menggunakan grafik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7 berikut.



Gambar 3. 7 Hubungan Tahanan Selimut Ultimit Terhadap N_{SPT}
(Sumber: Reese & Wright, 1977)

Kapasitas dukung ultimit (Q_u) dapat dicari dengan digunakan Persamaan 3.23 berikut.

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (3.23)$$

dimana :

Q_u = Kapasitas dukung ultimit (kN)

Q_p = Kapasitas dukung ujung tiang (kN)

Q_s = Kapasitas dukung selimut tiang (kN)

2. Kapasitas dukung tiang kelompok

a. Efisiensi kelompok tiang

Berikut adalah metode menurut *Converse-Labarre Formula* yang digunakan dalam perhitungan:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90 mn'} \quad (3.24)$$

dimana:

- E_g = Efisiensi kelompok tiang
- m = Jumlah baris tiang
- n = Jumlah tiang dalam satu baris
- θ = $\tan^{-1} \frac{d}{s}$ dalam derajat
- s = jarak ke pusat tiang
- d = diameter tiang

b. Kapasitas izin kelompok tiang

$$Q_g = E_g \times n \times Q_{all} \quad (3.25)$$

dimana:

- Q_g = Kapasitas izin kelompok tiang
- E_g = Efisiensi kelompok tiang
- n = Jumlah tiang
- Q_{all} = Daya dukung izin

3. Penurunan pondasi tiang bor

a. Penurunan pada tiang tunggal

Rumus perhitungan penurunan tiang sebagai berikut.

$$S = S_s + S_p + S_{ps} \quad (3.26)$$

$$S_s = \frac{(Q_p + \alpha \cdot Q_s)L}{A_p \cdot E_p} \quad (3.27)$$

$$S_p = \frac{C_p \cdot Q_p}{D \cdot q_p} \quad (3.28)$$

$$S_{ps} = \left(\frac{Q_p}{p \cdot L} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) \cdot I_{ws} \quad (3.29)$$

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} \quad (3.30)$$

dimana:

S	= Penurunan total pondasi tiang
Ss	= Penurunan akibat deformasi aksial tiang tunggal
Sp	= Penurunan akibat beban pada ujung tiang
Sps	= Penurunan akibat beban pada sepanjang tiang
Qp	= Daya dukung ujung tiang
Qs	= Daya dukung selimut tiang
L	= Panjang Tiang
Ap	= Luas Ujung tiang bawah
Ep	= Modulus elastisitas material tiang
α	= 0,5 untuk distribusi gesekan seragam atau parabolik sepanjang tiang sedangkan untuk distribusi berbentuk segitiga nilai $\alpha = 0,33$.
Cp	= Koefisien empiris
D	= Diameter Tiang
qp	= Daya dukung batas ujung tiang
P	= Keliling penampang tiang
Es	= Modulus Elastisitas tanah
μ_s	= Angka poisson
I_{ws}	= Faktor Pengaruh

Tabel 3. 4 Nilai Koefisien Cp

Jenis Tanah	Tiang Bor	Tiang Bor
Pasir	0,02-0,04	0,09-0,18
Lempung	0,02-0,03	0,03-0,06
Lanau	0,03-0,05	0,09-0,12

Tabel 3. 5 Angka Poisson (μ)

Jenis Tanah	m
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir padat	0,2 – 0,4
Pasir kasar (Angka pori, $e = 0,4 - 0,7$)	0,15
Pasir halus (Angka pori, $e = 0,4 - 0,7$)	0,25
Batu (tergantung dari jenisnya)	0,1 – 0,4
Loose	0,1 – 0,3

Tabel 3. 6 Modulus Elastis Tanah (E_s)

Jenis tanah	E_s (kN/m ²)
Lempung	
Sangat lunak	300 – 3000
Lunak	2000 – 4000
Sedang	4500 – 9000
Keras	7000 – 20000
Berpasir	30000 – 42500
Pasir	
Berlanau	5000 – 20000
Tidak padat	10000 – 25000
Padat	50000 – 100000
Pasir dan Kerikil	
Padat	80000 – 200000
Tidak padat	50000 – 140000
Lanau	2000 – 20000
Loess	15000 – 60000
Serpilh	140000 - 1400000

b. Penurunan pada tiang kelompok

$$S_g = S \sqrt{\frac{B}{D}} \quad (3.31)$$

dimana:

S = penurunan total pondasi tiang tunggal (m)

B = Lebar kelompok tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

3.5 SAP2000

SAP2000 dikembangkan sekitar tahun 1975 oleh Prof. Edward L. Wilson, guru besar University of California. Prinsip utama dalam program ini adalah pemodelan struktur, eksekusi analisis dan pemeriksaan atau optimasi desain. Output yang dihasilkan dapat berupa model struktur, grafik serta spreadsheet. Analisis yang digunakan pada SAP2000 merupakan *finite element method* sehingga dapat digunakan untuk analisis statis maupun dinamis.

3.5.1 Tahap Pemodelan SAP2000

Tahapan dalam pemodelan dan analisis struktur pada SAP2000 dapat dijabarkan sebagai berikut.

1. Menentukan *grid system* sebagai batas pemodelan struktur.
Pembuatan dilakukan dengan memasukkan jumlah baris struktur beserta jaraknya sesuai arah x, y dan z. sehingga titik-titik struktur termodelkan dengan tepat.
2. Menentukan nilai dan material struktur.
Penentuan material struktur meliputi mutu beton (f'_c), modulus elastisitas, tegangang leleh (f_y) dan tegangan putus (f_u).
3. Menentukan dimensi penampang struktur (*frame sections*) berupa balok, kolom, dan pelat.
4. Menentukan pembebanan dan kombinasi beban yang bekerja pada struktur, meliputi beban mati (DL), beban hidup (LL) dan beban gempa (E_x , E_y)
5. Melakukan analisis sesuai yang dibutuhkan.

3.5.2 Langkah-langkah Input Data

Adapun langkah-langkah input data pada program aplikasi SAP2000 adalah sebagai berikut:

1. engidentifikasian *joint*, *frame*, *restraint*, dan *constrait*,
2. pendefinisian karakteristik material dan *frame section*,
3. pendefinisian beban (*load*), yaitu beban mati (*dead*), beban hidup (*live*), dan beban kombinasi (*combo*),

4. pemberian beban terhadap struktur, meliputi beban mati (qd), beban hidup (ql), dan beban gempa (berupa gaya lateral ekuivalen), dan
5. analisis struktur dengan *run analysis*.

3.5.3 Hasil Keluaran SAP2000 (*Output*)

Hasil analisis SAP2000 dapat ditampilkan dengan cara memilih menu *Display – Show Tables – Pilih item Output – Select Load Cases – Klik OK*. Adapun beberapa hasil yang didapat antara lain sebagai berikut.

1. Tabel pergeseran (*Joint Displacement*)

Adapun nilai yang didapatkan pada tabel pergeseran yaitu sebagai berikut:

U1 = nilai translasi arah sumbu lokal 1 *joint*

U2 = nilai translasi arah sumbu lokal 2 *joint*

U3 = nilai translasi arah sumbu lokal 3 *joint*

R1 = nilai rotasi memutar sumbu lokal 1 *joint*

R2 = nilai rotasi memutar sumbu lokal 2 *joint*

R3 = nilai rotasi memutar sumbu lokal 3 *joint*

Output yang lazim digunakan adalah nilai bacaan pada kolom U1 dan U2 yang merupakan pergeseran horizontal *joint* dan kolom U3 merupakan lendutan vertikal, dengan catatan arah sumbu lokal *joint* tidak di ubah-ubah. Nilai positif untuk U1 dan U2 berarti translasi searah sumbu *Global X* dan *Y*, sedangkan untuk U3 berarti searah sumbu *Z* (arah ke atas), demikian pula sebaliknya.

2. Tabel reaksi tumpuan (*Joint Reaction*)

Adapun nilai yang didapatkan pada tabel reaksi tumpuan yaitu sebagai berikut:

F1 = gaya reaksi searah sumbu lokal 1 *joint*

F2 = gaya reaksi searah sumbu lokal 2 *joint*

F3 = gaya reaksi searah sumbu lokal 3 *joint*

M1 = momen tumpuan memutar sumbu lokal 1 *joint*

M2 = momen tumpuan memutar sumbu lokal 2 *joint*

M3 = momen tumpuan memutar sumbu lokal 3 *joint*

Pada Gedung bacaan *output* yang lazim dipakai adalah reaksi gaya vertikal yaitu F3 dan momen kearah memanjang dan melintang (M1 dan M2). Jika arah sumbu

lokal *joint* tidak di ubah-ubah, maka momen M1 adalah momen kea rah sumbu *Global Y* (memutari X) dan M2 ke arah sumbu *Global X* (memutari Y). perlu diperhatikan untuk nilai F3 positif berarti kea rah sumbu Z (ke atas) yang menandakan pada pondasi terjadi tekan dan sebaliknya bila bernilai negative maka berarti pada pondasi terjadi Tarik.

3. Tabel gaya-gaya pada batang (*Frame Force*)

Adapun nilai yang didapatkan pada tabel gaya-gaya pada batang yaitu sebagai berikut:

- P = gaya aksial pada batang
- V2 = gaya geser pada arah sumbu lokal 2
- V3 = gaya geser pada arah sumbu lokal 3
- T = torsi/punter pada batang
- M2 = momen lentur memutari sumbu lokal 2
- M3 = momen lentur memutari sumbu lokal 3

Bacaan *output* yang lazim dipakai pada elemen balok antara lain adalah nilai V2 (gaya geser arah sumbu 2) dan nilai M3 (momen lentur memutari sumbu 3). Sedangkan untuk kolom, *output* yang lazim dibaca adalah nilai P(gaya aksial), M2 dan M3 untuk perencanaan tulangan utaam, serta nilai V2 dan V3 untuk perencanaan sengkang.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan sebuah cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan kegunaan tertentu. Cara ilmiah yang dimaksud yaitu kegiatan penelitian tersebut didasarkan pada ciri-ciri keilmuan yang rasional, empiris, dan sistematis (Darmadi, 2013). Metode penelitian bertujuan mengembangkan data untuk dipahami dan menemukan solusi yang tepat untuk proses penelitian. Tahapan sistematis dalam metode penelitian yaitu peneliti melakukan proses indentifikasi masalah dan merumuskan masalah utama yang akan menjadi fokus penelitian. Kemudian, penyusunan kerangka berpikir, mulai dari perjabaran masalah, metode yang digunakan hingga tahapan dalam menggunakan metode tersebut. Langkah terakhir dalam penelitian yaitu memberikan kesimpulan dan saran atas penelitian yang dikerjakan. Suatu penelitian akan bermanfaat untuk satu sama lain, karena penelitian yang dilakukan sekarang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya dengan metode yang hampir sama, bahkan akan lebih baik bila menggunakan metode pemecahan yang berbeda, agar lebih bervariasi dalam menyelesaikan permasalahan tersebut.

4.2 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, pengumpulan data berasal dari proyek Pembangunan Gedung Apartement The Padmayana. Adapun data yang diperoleh sebagai berikut.

1. Data geoteknik

Data tanah yang digunakan merupakan hasil penyelidikan tanah pada Gedung Apartement The Padmayana yang dikerjakan oleh PT. Ketira Engineering Consultants, Jakarta. Pada uji penyelidikan yang dilakukan meliputi pekerjaan lapangan dan laboratorium.

a. Pekerjaan lapangan

Dalam hal ini pekerjaan lapangan yang dimaksud yaitu pengeboran tanah dan pekerjaan sondir. Pengeboran tanah dilakukan pada dua titik yaitu DB-1 dan DB-2 dengan kedalaman 40 meter dari permukaan tanah. Pengujian SPT dilakukan saat pengeboran berlangsung setiap interval 2 meter. Pengambilan sampel tak terganggu dilakukan pada satu titik kedalaman untuk masing-masing titik bor. Untuk pekerjaan sondir, dilakukan pada 8 (delapan) titik sampai kedalaman dimana tekanan konus $> 150 \text{ kg/cm}^2$. Pelaksanaan pekerjaan sondir berdasarkan standar ASTM D3341-75T.

b. Laboratorium

Kegiatan laboratorium yang dilakukan meliputi kadar air alami, batas plastis, berat volume, berat jenis, analisis saringan, *Atterberg Limits*, *Unconfined Compression Strength Test*, *Triaxial Compression Test*, dan *Consolidation Test*.

2. Data teknis bangunan

Data teknis bangunan yang diperoleh meliputi gambar denah bangunan dan gambar detail struktur (detail balok, kolom, pelat dan tulangan).

4.3 Analisis Data

Metode analisis data adalah metode atau cara yang digunakan untuk menyederhanakan dan mempermudah dalam memahami data yang diperoleh. Data yang didapatkan kemudian dianalisis berdasarkan tahap pengerjaannya. Pada penelitian ini, tahap-tahapnya adalah sebagai berikut.

4.3.1 Analisis Pembebanan

Untuk mengetahui nilai beban yang bekerja pada pondasi maka dilakukan analisis pembebanan. Dalam penelitian ini analisis pembebanan menggunakan bantuan aplikasi SAP2000 dan *Microsoft Excel 2019*. Analisis dimulai dengan memasukkan data struktur bangunan gedung meliputi data balok, kolom, pelat, serta beban yang bekerja berupa beban mati, beban hidup dan beban gempa. Dari data tersebut nantinya akan diperoleh gaya-gaya yang bekerja pada kolom seperti gaya aksial, geser dan momen yang akan digunakan pada analisis pondasi.

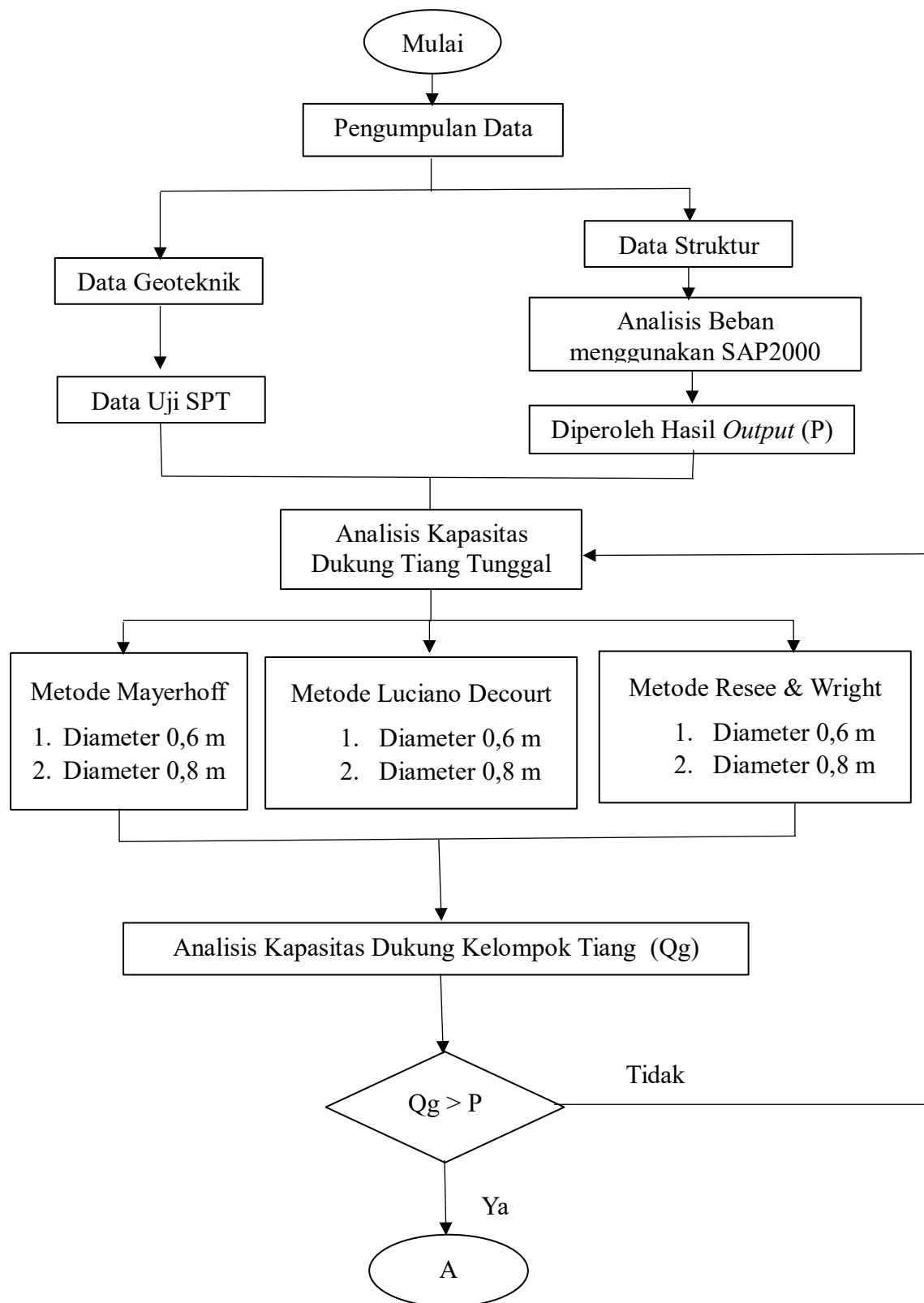
4.3.2 Analisis Pondasi Tiang Bor

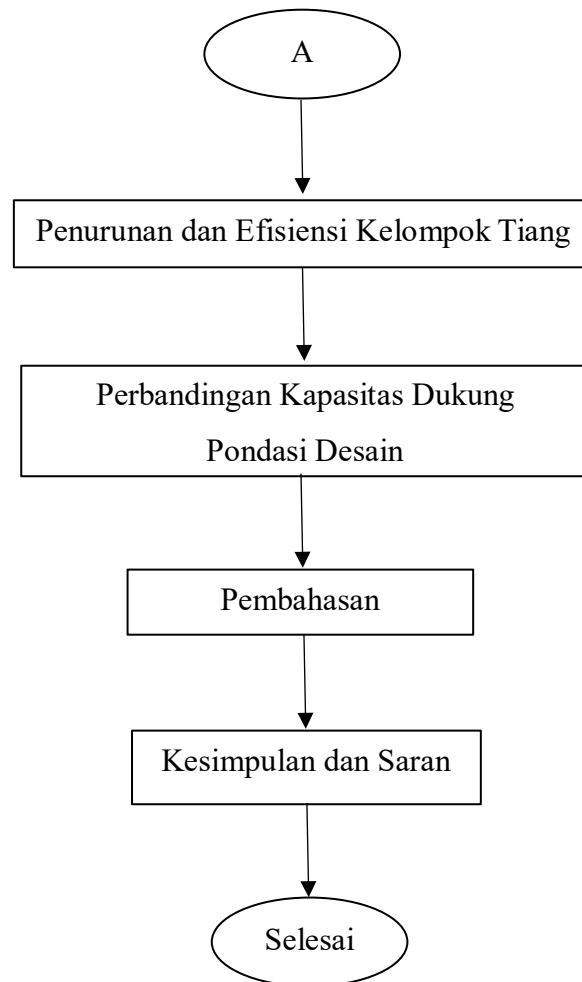
Hasil dari *output* analisis SAP2000 akan digunakan dalam menganalisis kapasitas dukung pondasi tiang bor dengan diameter 0,6 m, dan 0,8 m. Analisis pondasi tiang dapat dijabarkan sebagai berikut.

1. Perhitungan kapasitas dukung tiang tunggal metode Mayerhoff, Luciano Decourt dan Reese&Wright.
2. Perhitungan kapasitas dukung tiang kelompok.
3. Perhitungan penurunan pondasi tiang bor.
4. Perhitungan efisiensi dan jumlah tiang.

4.4 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian merupakan tahapan-tahapan yang dilakukan selama proses penelitian. Bagan alir membantu peneliti dalam melakukan evaluasi terhadap prosedur penelitian. Adapun bagan alir dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.





Gambar 4. 1 Bagan Alir Metode Penelitian

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Data Proyek

Pada penelitian ini digunakan data sekunder yang didapatkan dari Proyek Gedung Apartemen The Padmayana yang terletak di wilayah Jakarta Selatan. Pembangunan gedung dimanfaatkan sebagai tempat hunian apartemen bagi warga di Kota Jakarta Selatan. Data yang diperoleh dari proyek ini berupa gambar rencana dan parameter tanah pegujian N-SPT dan laboratorium.

5.1.1 Data Umum Proyek

Adapun data proyek Gedung Apartemen Padmayana adalah sebagai berikut.

1. Nama Proyek : Gedung Apartemen The Padmayana
2. Pemilik Proyek : PT.Adhi Persada Properti
3. Lokasi : Jalan Sinabung Raya, Kebayoran Baru Jakarta Selatan
4. Luas Tapak : 4.437 m²
5. Luas Bangunan : 1.765 m²
6. Jumlah unit : 145
7. Tinggi bangunan : 53,2 meter
8. Konsultan konsep Arsitektur : AECOM
9. Konsultan Desain Interior Gedung : AECOM
10. Konsultan Sipil dan Struktur : Ketira Engineering
11. Konsultan Mekanikal dan Elektrikal: Duta Pratama Engineering
12. Kontraktor Utama : PT.Adhi Persada Gedung
13. Waktu Pelaksanaan : 5 April 2020 – 19 Oktober 2020

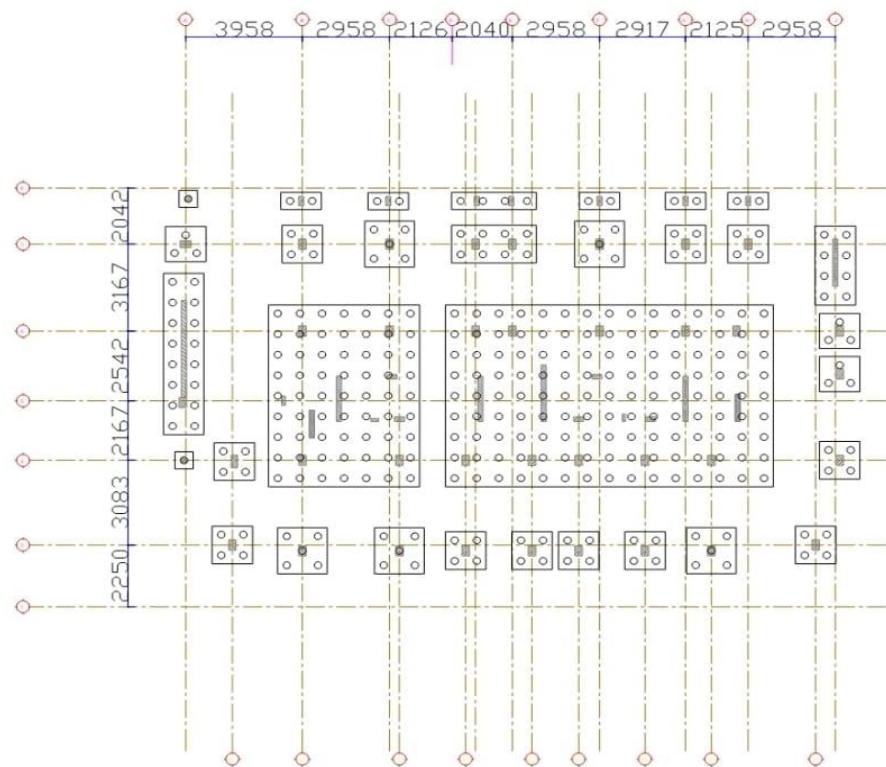
5.1.2 Spesifikasi Material

Material yang digunakan pada pembangunan gedung Padmayana yaitu sebagai berikut.

1. Mutu beton sebesar 30 Mpa
2. Mutu baja sebesar 420 Mpa

5.1.3 Denah Pondasi

Denah pondasi gedung Padmayana dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5. 1 Denah Pondasi Gedung Padmayana

5.1.4 Data Struktur

Struktur utama gedung merupakan struktur atas beton bertulang dan struktur bawah yaitu bored pile. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kapasitas dukung yang ada pada fondasi bangunan Gedung Padmayana. Pada struktur bagian atas pada proyek terdiri dari kolom, balok, pelat serta atap.

1. Kolom

Kolom adalah komponen yang berdiri tegak vertikal sebagai pemikul beban balok. Pembangunan gedung Padmayana digunakan beton bertulang dengan mutu $f'_c = 30 \text{ Mpa}$

2. Balok

Balok adalah komponen struktur bangunan horizontal yang berguna sebagaiudukan lantai dan pengikat kolom lantai atas. Pembangunan gedung Padmayana menggunakan balok $f'c = 30 \text{ Mpa}$

3. Pelat

Pelat ialah struktur bangunan yang memiliki fungsi pemberi dukungan secara vertikal dan sisi – sisinya didukung oleh balok dalam hal ini gedung Padmayana menggunakan balok $f'c = 30 \text{ Mpa}$

5.2 Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur bagian atas berupa beban mati, hidup, dan beban gempa yang dilakukan analisis dengan menggunakan SAP2000.

5.2.1 Peraturan Pembebanan

Peraturan pembebanan yang digunakan sesuai acuan perhitungan adalah sebagai berikut.

1. SNI 03-2847-2013 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung
2. SNI 03-1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung
3. SNI 1727 – 2013 tentang Pedoman Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain

5.2.2 Kombinasi Pembebanan

Dalam perhitungan pembebanan digunakan dua jenis kombinasi pembebanan yaitu kondisi beban tetap dan beban gempa. Kombinasi pembebanan digunakan adalah sebagai berikut.

1. Comb 1 = $1,4 D$
2. Comb 2 = $1,2 D + 1,6 L$
3. Comb 3 = $(1,2 + 0,2 Sds) D + 1,0 L + 1,3 R_{sx} + 0,3 R_{sy}$
4. Comb 4 = $(1,2 + 0,2 Sds) D + 1,0 L + 1,3 R_{sx} + 0,39 R_{sy}$
5. Comb 5 = $(1,2 + 0,2 Sds) D + 1,0 L - 1,3 R_{sx} + 0,39 R_{sy}$
6. Comb 6 = $(1,2 + 0,2 Sds) D + 1,0 L - 1,3 R_{sx} - 0,39 R_{sy}$

7. Comb 7 = $(1,2 + 0,2 \text{ Sds}) D + 1,0 L + 0,39 R_{sx} + 1,3 R_{sy}$
8. Comb 8 = $(1,2 + 0,2 \text{ Sds}) D + 1,0 L + 0,39 R_{sx} - 1,3 R_{sy}$
9. Comb 9 = $(1,2 + 0,2 \text{ Sds}) D + 1,0 L - 0,39 R_{sx} + 1,3 R_{sy}$
10. Comb 10 = $(1,2 + 0,2 \text{ Sds}) D + 1,0 L - 0,39 R_{sx} - 1,3 R_{sy}$
11. Comb 11 = $(0,9 - 0,2 \text{ Sds}) D + 1,3 R_{sx} + 0,39 R_{sy}$
12. Comb 12 = $(0,9 - 0,2 \text{ Sds}) D + 1,3 R_{sx} - 0,39 R_{sy}$
13. Comb 13 = $(0,9 - 0,2 \text{ Sds}) D - 1,3 R_{sx} + 0,39 R_{sy}$
14. Comb 14 = $(0,9 - 0,2 \text{ Sds}) D - 1,3 R_{sx} - 0,39 R_{sy}$
15. Comb 15 = $(0,9 - 0,2 \text{ Sds}) D + 0,39 R_{sx} + 1,3 R_{sy}$
16. Comb 16 = $(0,9 - 0,2 \text{ Sds}) D + 0,39 R_{sx} - 1,3 R_{sy}$
17. Comb 17 = $(0,9 - 0,2 \text{ Sds}) D - 0,39 R_{sx} + 1,3 R_{sy}$
18. Comb 18 = $(0,9 - 0,2 \text{ Sds}) D - 0,39 R_{sx} - 1,3 R_{sy}$

Dengan :

D = beban mati

L = beban hidup

Ex = beban gempa arah x

Ey = beban gempa arah y

5.2.3 Pembebanan

Dalam pembebanan gedung yang harus diperhitungkan berupa beban mati, hidup dan beban gempa sebagai berikut.

1. Beban mati

Dalam menentukan beban di gedung apartemen Padmayana, ditentukan melalui pembebebanan, salah satunya adalah beban mati, rekapitulasi hasil analisis beban mati gedung The Padmayana adalah sebagai berikut.

a. Lantai

Analisis beban mati pada lantai dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5. 1 Analisis Beban Mati Pada Lantai

Komponen	Berat Volume	Satuan	Beban	Satuan
Spesi (3 cm)	0,03	2,2	0,066	T/m ²
Pasir	0,01	1,6	0,016	T/m ²
Keramik	0,01	2,2	0,022	T/m ²
Plafon			0,02	T/m ²
Instalasi Me			0,025	T/m ²
Beban Tambahan			0,05	T/m ²
Beban Mati			0,199	T/m ²

b. Pembebanan Dinding pada Balok

Pembebanan dinding pada balok dengan luasan 700 cm x 350 cm dapat dilihat tabel 5.2 berikut.

Tabel 5. 2 Pembebanan Dinding Pada Balok

Tebal Dinding	0,15	M
Tinggi Lantai	3,7	M
Asumsi Tinggi Tembok	3	M
Persen luas efektif dinding	75%	%
Bata ringan	0,750	T/m ³
q dinding	0,25	T/m
	2,53	kN/m

c. Pembebanan pada Ramp Dinding Balok

Pada pembebanan pada ramp dengan luasan 500 cm x 300 cm Gedung Padmayana, hasil analisisnya dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5. 3 Pembebanan Pada Ramp Dinding Beton

Tebal Dinding	0,15	M	2,88 kN/m
Tinggi Lantai	3,7	M	
Tebal balok diatas tembok	0,5	M	
Asumsi tinggi tembok	3,2	M	
Persen luas efektif dinding	80%	%	
Berat jennis dinding	0,75	T/m ³	
q dinding	0,29	T/m	

2. Beban hidup

Beban hidup disesuaikan dengan fungsi ruangan untuk gedung apartemen adalah pada SNI 1727 :2020 Tipe apartemen dan lainnya yaitu untuk ruang pertemuan dan koridor sebesar 4,79 kN/m² dan untuk atap menggunakan 0,96 kN/m²

3. Beban gempa

Pembangunan gedung Padmayana yang terletak di Kebayoran Baru, Jakarta Selatan yang difungsikan sebagai gedung apartemen dilakukan perhitungan beban gempa sebagai berikut.

a. Periode Struktur Bangunan (T)

Berdasarkan SNI 03 – 1726 – 2012 Peraturan beban gravitasi untuk tata cara perencanaan ketahanan gempa struktur gedung dan non gedung

1) Periode (Ta)

Pada struktur bangunan gedung The Padmayana, periode getar struktur memiliki persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 T &= 0,0466 \times H^{0,9} \\
 &= 0,0466 \times 53,2^{0,9} \\
 &= 1,666 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

2) Periode Computed (T_c)

Berdasarkan hasil perolehan aplikasi SAP2000 nilai T_c pada penelitian ini adalah 2,345

3) Periode (T)

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 periode fundamental koefisien untuk batas atas pada periode dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5. 4 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

Parameter Percepatan respons spektral desain pada 1 detik, SD1	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional SNI (1726 – 2012))

Periode ini dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 T &= C_u \times T_a \\
 &= 1,4 \times 1,666 \\
 &= 2,333 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Dengan pernyataan sebagai berikut.

- a) Jika $T_c > C_u T_a$ maka digunakan $T = C_u T_a$
- b) Jika $T_a < C_u T_a$ maka digunakan $T = T_c$, dan
- c) Jika $T_c < T_a$ maka digunakan $T = T_a$

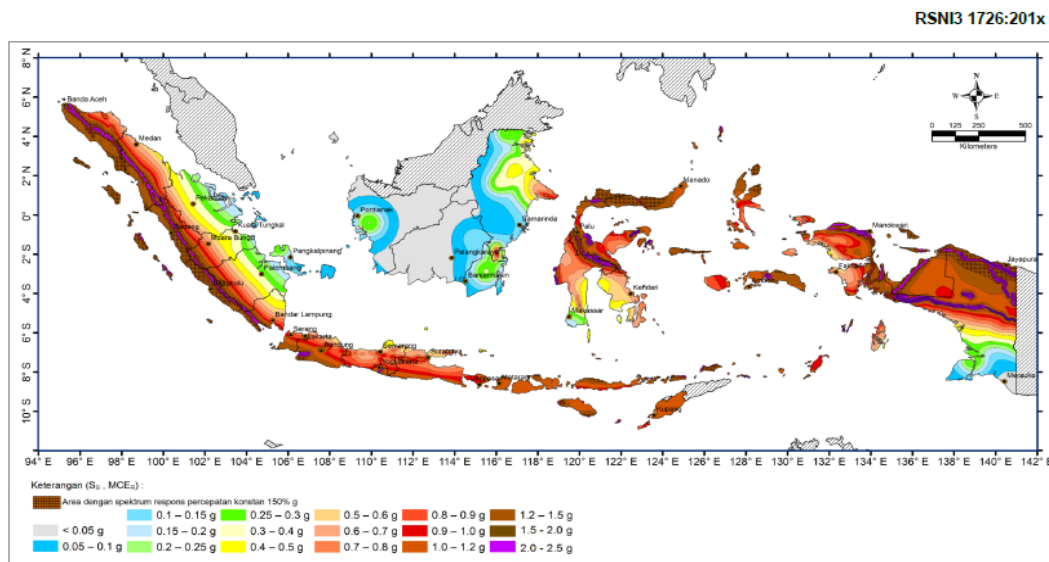
Karena hasil $T_c > C_u T_a$ maka T yang digunakan pada perhitungan adalah 2,333 detik.

- b. Faktor keamanan dan kategori resiko struktur gedung yaitu mengacu pada SNI 03 – 1726 – 2012 Peraturan beban gravitasi untuk tata cara perencanaan ketahanan gempa struktur gedung dan non gedung bagian 4.1.2 kategori

resiko struktur bangunan untuk gedung apartemen berada pada kategori risiko IV dengan faktor keutamaan gempa (I) sebesar 1,5

c. Nilai respon spektrum gempa (C)

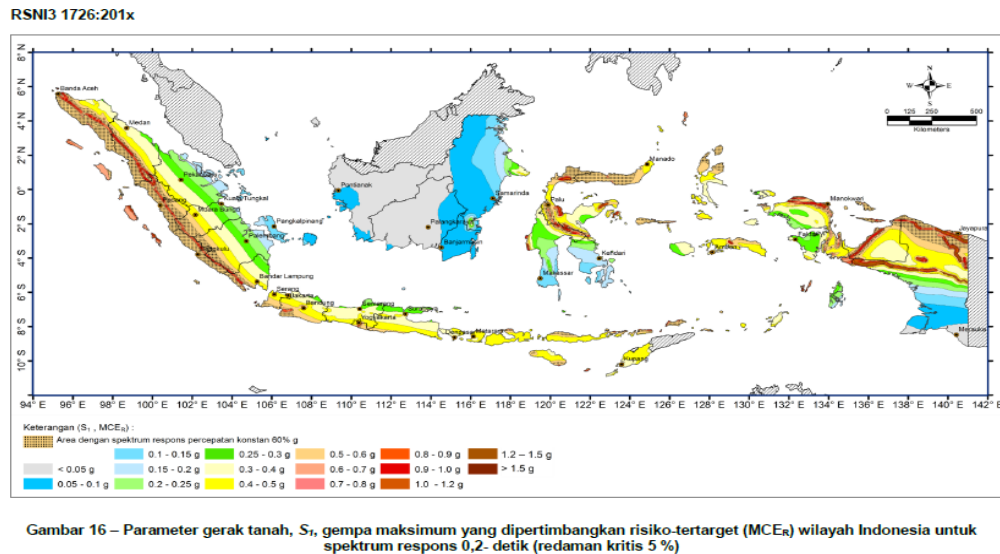
Berdasarkan SNI 03 – 1726 – 2019 peraturan beban gravitasi untuk tata cara perencanaan ketahanan gempa struktur gedung serta non gedung, tujuannya supaya didapatkan nilai respon spektrum gempa, sehingga perlu diketahui terlebih dahulu parameter percepatan dapat terpetakan meliputi percepataan bantuan dasar pada periode (S_s) dan percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1) yang dapat dilihat pada Gambar 5.2 sebagai berikut.



Gambar 15 – Parameter gerak tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5 %)

Gambar 5. 2 Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar Periode Pendek (S_s)

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional SNI 03-1726-2019)



Gambar 5. 3 Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar Periode 1 Detik (S1)
(Sumber: Badan Standarisasi Nasional SNI 03 – 1726 – 2019)

Data Fa, Fv, Ss dan S1 dapat dilihat pada SNI 03 – 1726 – 2019 dalam pasal berikut ini.

- 1) Koefisien situs untuk perioda pendek pada perioda 0,2 detik (Fa) pada pasal 6.2
- 2) Koefisien situs untuk perioda panjang (Fv) dapat dilihat pada pasal 6.2
- 3) Parameter percepatan respon spektral MCE dari peta gempa pada perioda pendek, redaman 5 % (Ss) dapat dilihat pada pasal 6.1.1
- 4) Parameter percepatan respon spektral MCE dari peta gempa pada perioda 1 detik, redaman 5 % (S1) dapat dilihat pada pasal 6.1.1

Berdasarkan uraian pasal – pasal diatas diperoleh hasil yang dapat dilihat pada Tabel 5.5 hingga Tabel 5.7 dan gambar kurva respon spektrum dapat dilihat pada Gambar 5.4

Tabel 5. 5 Respon Spektrum Percepatan Periode Pendek

Respon Spektrum Percepatan Periode Pendek	
Ss	0,820
Fa	1,17
Sms	0,96

Lanjutan Tabel 5. 5 Respon Spektrum Percepatan Periode Pendek

Respon Spektrum Percepatan Periode Pendek	
Ss	0,820
Fa	1,17
Sms	0,96
S1	0,397
Fv	1,90
SM1	0,76

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional SNI 03 – 1726 – 2019)

Tabel 5. 6 Parameter Percepatan Spektrum Desain

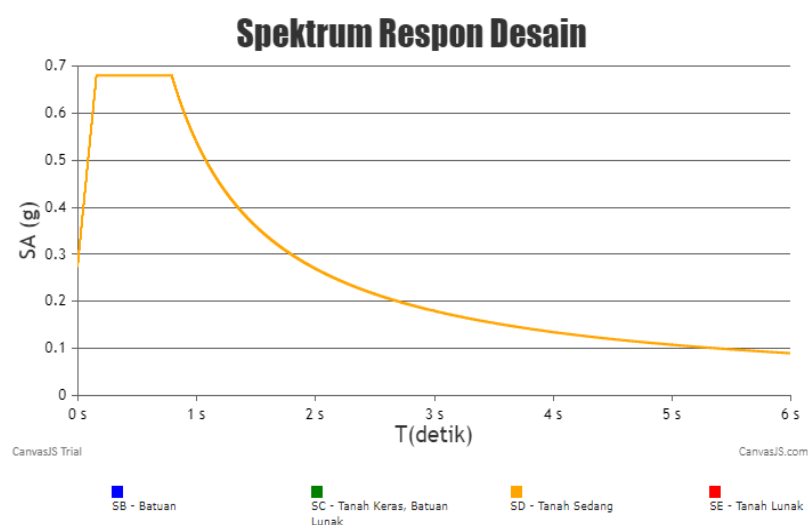
Parameter Percepatan Spektrum Desain	
Sds	0,64
Sd1	0,50

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional SNI 03 – 1726 – 2019)

Tabel 5. 7 Faktor Koreksi Kerentanan

Faktor Koreksi Kerentanan	
Crs	0,975
Crl	0,925
SDsr	0,62
SD1r	0,47

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional SNI 03 – 1726 – 2019)

**Gambar 5. 4 Hasil Respon Spektrum**

d. Beban Geser Nominal (V)

Berdasarkan SNI 03 – 1726 – 2019 peraturan beban gravitasi untuk tata cara perencanaan ketahanan gempa struktur gedung dan non gedung, nilai beban geser nominal sebagai berikut.

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0,027 \times 3.0997,22$$

$$V = 836,29 \text{ Ton}$$

$$V = 83,93 \text{ kN}$$

e. Cek gaya geser dinamik dan statik ekuivalen

Nilai akhir respon dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu $V_d > 0,85$
 V_s pengecekan gaya geser dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5. 8 Pengecekan Gaya Geser Dinamik dan Statik Ekuivalen

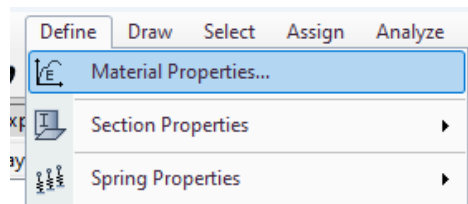
Seismis Type		Fx	Fy
		Ton	Ton
Statik	Eqx	836,297	250,889
	Eqy	371,153	1237,177
Dinamik	Rsx	755,037	208,624
	Rsy	262,489	780,174

5.3 Input dan Output Program SAP2000

Program SAP2000 digunakan dalam melakukan analisis perhitungan gedung bertingkat dalam bentuk 3 dimensi dengan perhitungan awal beban tetap dan beban gempa. Langkah-langkah pemodelan struktur dengan SAP2000 sebagai berikut.

a. Definisi material

Langkah-langkah untuk memasukkan material ke dalam SAP2000 adalah menu *define -> material properties -> define materials -> add new material -> material type -> Concrete -> ok*. Langkah-langkah tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5. 5 Define Material

Kemudian pilih tentukan massa jenis-> isikan 2400 kg/m³-> modulus elastisitas
-> *modify/show material property design data* -> *material property design data*.
Langkah-langkah ini dapat dilihat seperti pada Gambar 5.6 berikut.

 A screenshot of the 'Material Property Data' dialog box. The dialog is organized into several sections:

- General Data:** Material Name (F'c 30 Mpa), Material Type (Concrete), Directional Symmetry Type (Isotropic), Material Display Color (grey), and Material Notes (empty).
- Material Weight and Mass:** Radio buttons for 'Specify Weight Density' (selected) and 'Specify Mass Density'. Fields for Weight per Unit Volume (23.5631 kN/m³) and Mass per Unit Volume (2402.77 kg/m³).
- Mechanical Property Data:** Fields for Modulus of Elasticity, E (25742.96 MPa), Poisson's Ratio, U (0.2), Coefficient of Thermal Expansion, A (0.0000099 1/C), and Shear Modulus, G (10726.23 MPa).
- Design Property Data:** A button labeled 'Modify/Show Material Property Design Data...'.
- Advanced Material Property Data:** Buttons for 'Nonlinear Material Data...', 'Material Damping Properties...', and 'Time Dependent Properties...'.
- Modulus of Rupture for Cracked Deflections:** Radio buttons for 'Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)' (selected) and 'User Specified'.

 At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Gambar 5. 6 Material Property Data

Kemudian isi data kuat tekan beton yang direncanakan. Kemudian pilih OK, maka tampilan akan kembali ke tab sebelumnya. Kemudian pilih OK lagi pada tab data properti material untuk menyelesaikan dan menutup pengaturan properti material. Langkah-langkah tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.7 berikut.

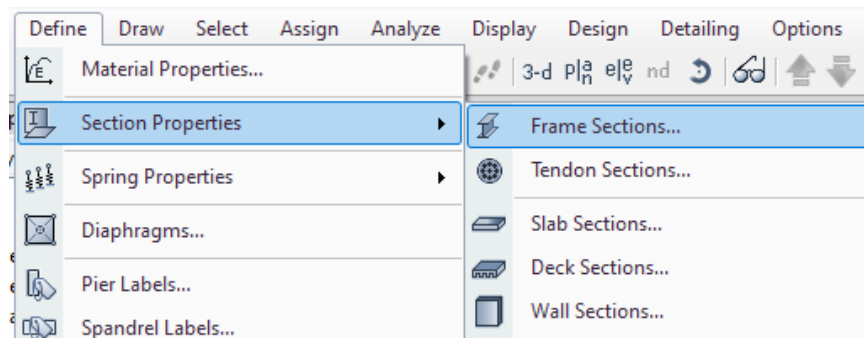
The image shows a software dialog box titled "Material Property Design". It is divided into two main sections. The top section, "Material Name and Type", contains three input fields: "Material Name" with the value "Fc 30 Mpa", "Material Type" with the value "Concrete, Isotropic", and "Grade" with the value "30". The bottom section, "Design Properties for Concrete Materials", contains a label "Specified Concrete Compressive Strength, f'c" with a value of "30" and a unit of "MPa". Below this is a checkbox for "Lightweight Concrete" which is unchecked, and a label "Shear Strength Reduction Factor" with an empty input field. At the bottom of the dialog are "OK" and "Cancel" buttons.

Gambar 5. 7 Material Property Design

Kemudian perlu menginput material tulangan (rebar) ke dalam software dengan memilih menu *define -> material properties->material properties -> define materials ->add new material->Material type ->Rebar->ok*. Maka akan muncul tab baru. Kemudian pilih *Specify Mass Density->isi 7850 kg/m3. ->Modulus of Elasticity 210000 Mpa ->modify/show material property design data ->material property design data*. Kemudian pilih OK, akan kembali ke tab sebelumnya. Kemudian pilih OK lagi pada tab material property data untuk menyelesaikan dan menutup pengaturan material properties. Cara menginput material properties tulangan sengkang sama dengan penjelasan di atas. Akan tetapi materialnya perlu disesuaikan.

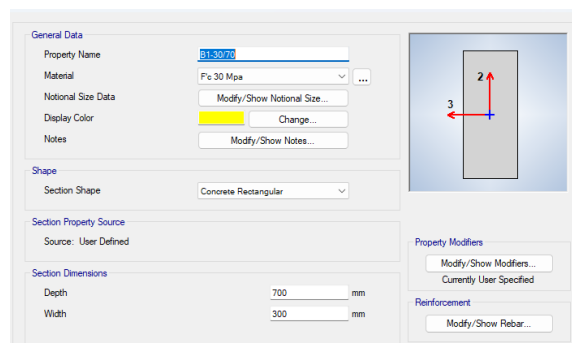
b. Input dimensi kolom dan balok

Isi dimensi kolom, balok dan pelat ke dalam perangkat lunak SAP2000, yaitu dengan memilih menu *define -> section properties -> frame section* untuk kolom dan balok, *slab section* untuk pelat lantai, *wall section* untuk dinding geser. Langkah-langkah ini ditunjukkan pada Gambar 5.8 berikut.



Gambar 5. 8 Frame Section

Setelah memilih penampang rangka, akan muncul tab baru yaitu *frame properties*. Pada tab ini pilih *add new property*-> *Concrete rectangular*. Atur dimensi kolom atau balok. Langkah-langkahnya ditunjukkan pada Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5. 9 Frame Section Property Data

Gunakan metode yang sama untuk menentukan ukuran struktur lainnya. Setelah Anda selesai mengedit semua kolom dan balok sesuai dengan perkiraan perhitungan, pada tab properti rangka pilih OK untuk menutup dan menyimpan perubahan yang telah Anda buat. Kemudian yang perlu dilakukan adalah mengedit ketebalan pelat dengan memilih menu *define*->*section properties* ->*slab section* ->*slab properties*->*add new property*. Langkah-langkah ini ditunjukkan pada Gambar 5.10 berikut.

Slab Property

Click to:

Add New Property...

Add Copy of Property...

General Data

Property Name: S1_130

Slab Material: F'c 30 Mpa

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Shell-Thin

Modifiers (Currently User Specified): Modify/Show...

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show...

Property Data

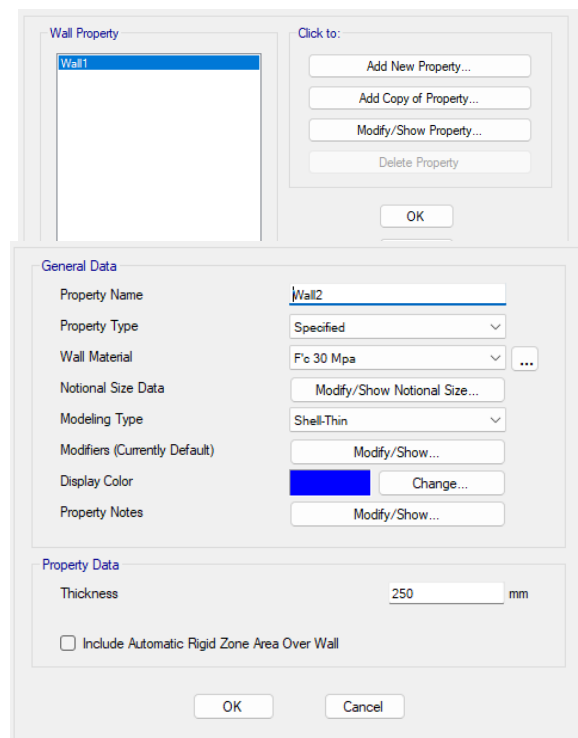
Type: Slab

Thickness: 130 mm

OK Cancel

Gambar 5. 10 Slab Property Data

Kemudian yang perlu dilakukan adalah mengedit ketebalan dinding geser dengan memilih menu *define->section properties ->wall section ->wall properties->add new property*. Langkah-langkah ini ditunjukkan pada Gambar 5.11 berikut.

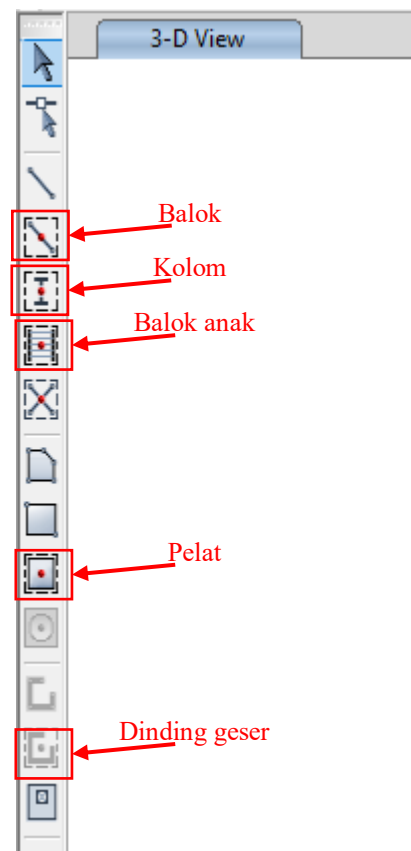


Gambar 5. 11 Wall Property Data

c. Pemodelan kolom, balok, pelat dan dinding geser di SAP2000

Pada tahap ini, kita sudah melakukan estimasi dan penentuan jenis material dan dimensi pada software SAP2000. Maka langkah selanjutnya adalah memasukkan kolom, balok, pelat, dan dinding geser ke dalam garis bantu atau grid yang sudah dibuat. Urutan pengisian dimulai dari struktur kolom, dinding geser, balok, dan pelat dengan memilih kursor pada menu gambar di tepi kiri tab kerja.

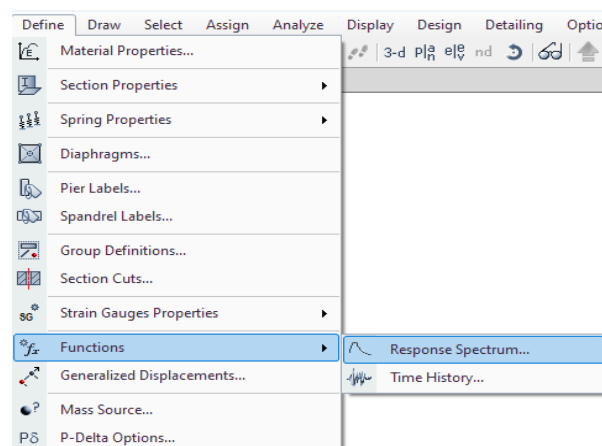
Kemudian pilih quick draw columns untuk kolom, draw beam untuk balok, draw wall untuk dinding geser, dan draw floor untuk pelat. Setelah memilih menu yang sesuai, atur properti yang akan diinput pada tab properti objek. Shortcut untuk menggambar struktur ditunjukkan pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5. 12 Toolbar Pemodelan Kolom, Balok, Dinding Geser, dan Pelat

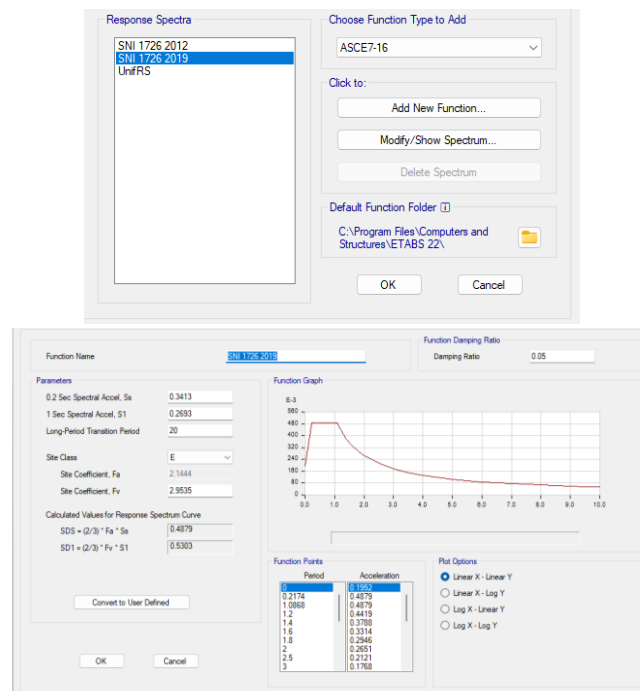
d. Input parameter gempa

Pilih menu *define -> functions -> response spectrum -> define response spectrum function*. Langkah-langkah ini ditunjukkan pada Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5. 13 Response Spectrum

Kemudian pilih jenis fungsi ASCE 7-16 -> *add new function*-> *response spectrum ASCE 7-16 function* untuk SNI 1726 2019. Kemudian input parameter gempa seperti S_s , S_1 dll. Langkah-langkah tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5. 14 Response Spectrum ASCE 7-16

Berikutnya adalah menambahkan pola beban untuk gempa bumi, beban mati dan beban hidup. Caranya adalah dengan memilih *define*->*Load patterns*->*Ex and Ey* ->*seismic load type* ->*auto lateral Load ASCE 7-16*. Kemudian tambahkan *Live load type*. Kemudian tambahkan *Superdead load type* untuk beban tambahan. Kemudian klik *Add New Load*. Kemudian akan muncul tab *ASCE 7-16 seismic Loading*. Pada tab ini, isikan parameter yang telah dicari sebelumnya. Langkah-langkah ini ditunjukkan pada Gambar 5.15 berikut.

Loads

Load	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
Dead	Dead	1	
Live	Live	0	
Ad	Super Dead	0	
Ex_2012	Seismic	0	ASCE 7-10
Ex_2019	Seismic	0	ASCE 7-10
Ex_2019	Seismic	0	ASCE 7-16
Ex_2019	Seismic	0	ASCE 7-16

Direction and Eccentricity

☒ X Dir ☐ Y Dir

☐ X Dir + Eccentricity ☐ Y Dir + Eccentricity

☐ X Dir - Eccentricity ☐ Y Dir - Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.) Overwrite Eccentricities

Time Period

☐ Approximate ☒ Program Calculated ☐ User Defined

Ct (t), x = Ct (t), x = 0.016; 0.9 T = sec

Story Range

Top Story for Seismic Loads Atap Tangga

Bottom Story for Seismic Loads Lt1

Seismic Coefficients

0.2 Sec Spectral Accel, S_a 0.3413

1 Sec Spectral Accel, S₁ 0.2693

Long-Period Transition Period 20

Site Class D

Site Coefficient, F_a 1.52696

Site Coefficient, F_v 2.0614

Calculated Coefficients

SDS = (2/3) * F_a * S_a 0.3474

SD1 = (2/3) * F_v * S₁ 0.3701

Factors

Response Modification, R 7

System Overstrength, Omega 2.5

Deflection Amplification, Cd 5.5

Occupancy Importance, I 1

Gambar 5. 15 ASCE 7-16 Seismic Loading

Nilai Ct harus sesuai dengan SNI 1726 2019, sedangkan untuk parameter SNI 1726 2012 caranya sama, hanya kategori inputnya saja yang berbeda. Kemudian pada menu Load cases dengan memilih menu *define -> Load cases->add new case -> Load case name -> response spectrum->scale factor* untuk arah x sesuai perhitungan R_{sx} pada tab *Load case data*. Kemudian input parameter respon spektrum. Langkah-langkah tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.16 berikut.

General

Load Case Name Unscale RSx_2019

Load Case Type Response Spectrum

Mass Source Previous (SNI 1726 2019)

Analysis Model Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	SNI 1726 2019	1373.4
Acceleration	U2	SNI 1726 2019	412.02

☐ Advanced

Other Parameters

Modal Load Case Modal

Modal Combination Method SRSS

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1

Rigid Frequency, f2

Periodic + Rigid Type

Earthquake Duration, td

Directional Combination Type SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor

Modal Damping Constant at 0.05

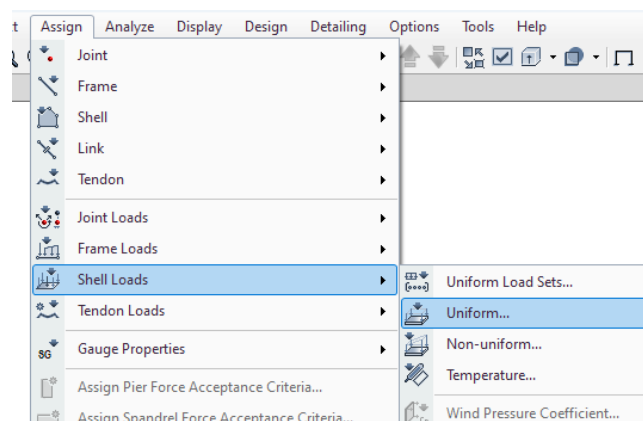
Diaphragm Eccentricity 0 for All Diaphragms

Gambar 5. 16 Load Case Data

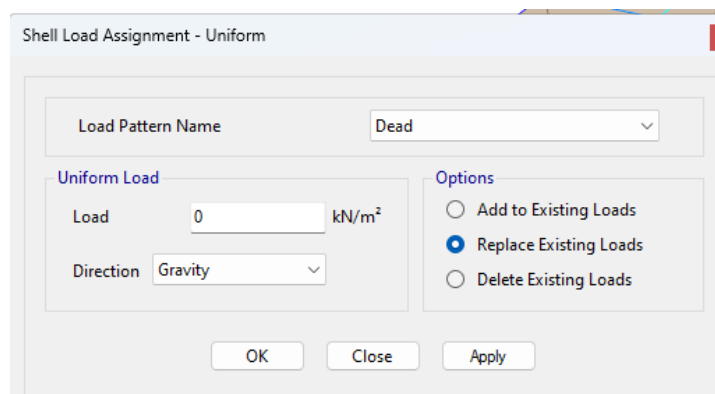
Lakukan langkah yang sama untuk input respons spektrum arah x.

e. Input beban pada pelat dan balok akibat dinding

Beban tambahan pada plat lantai kemudian pilih plat yang akan diberi beban -> *menu assign -> shell Loads -> Uniform*. Maka akan muncul tab Load assignment uniform shell. Pada tab ini pilih jenis beban yang akan dimasukkan. Langkah-langkahnya seperti Gambar 5.17 dan Gambar 5.18 berikut.

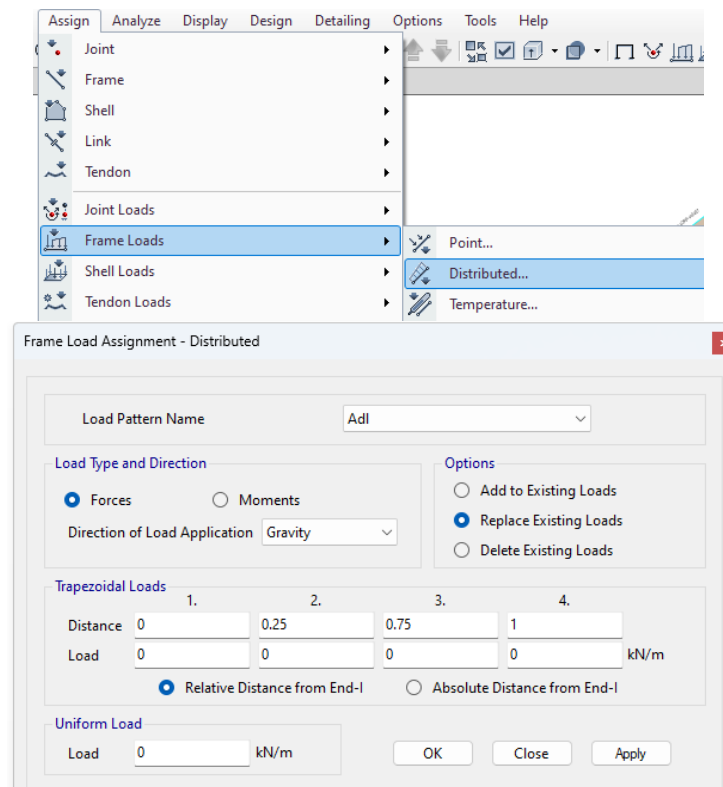


Gambar 5. 17 Shell Loads



Gambar 5. 18 Shell Load Assignment

Kemudian pilih jenis beban dan input besaran beban tersebut. Kemudian untuk beban dinding pada balok, pilih balok yang akan dibebani -> *menu assign -> frame Loads -> Distributed*. Maka akan muncul tab Load assignment distributed frame. Pada tab ini pilih jenis beban yang akan dimasukkan. Langkah-langkahnya ditunjukkan pada Gambar 5.19 berikut.

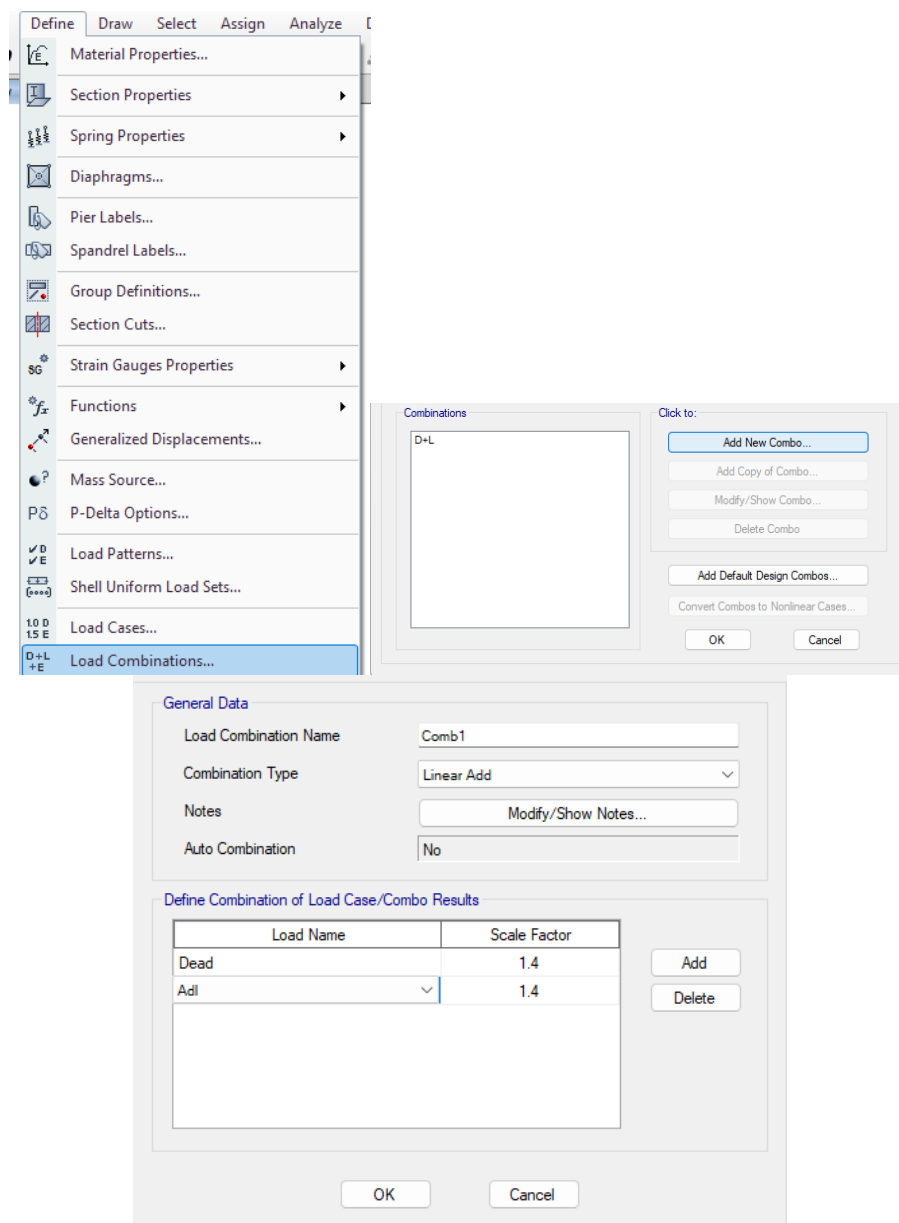


Gambar 5. 19 Frame Load Assignment

Gunakan langkah yang sama untuk pelat dan balok lainnya.

f. Input kombinasi pembebanan

Kombinasi pembebanan kemudian pilih plat yang akan diberi beban -> *menu define -> load combination -> add new combo*. Kemudian input tipe pembebanan yang akan didefinisikan. Langkah-langkahnya seperti berikut :



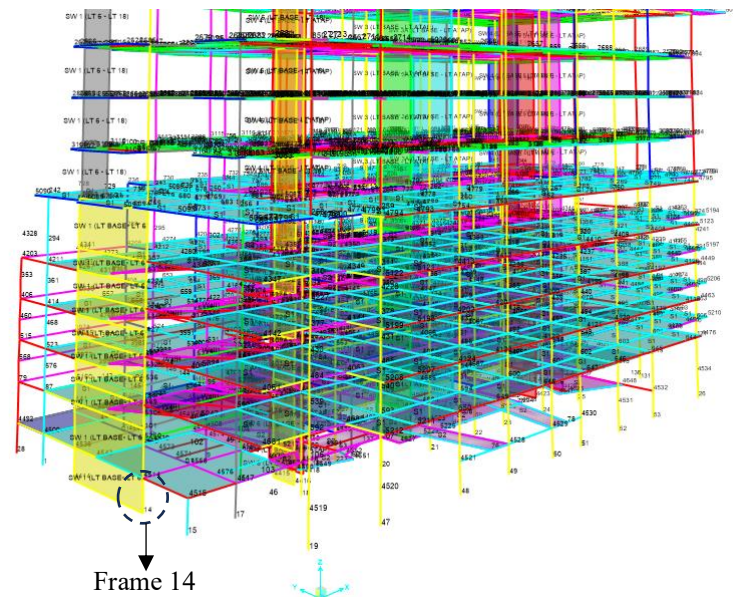
Gambar 5. 20 Load Combination

Lakukan langkah yang sama untuk kombinasi pembebanan lainnya.

g. Menjalankan program

Menjalankan program SAP2000 dengan meng-klik tombol F5 pada *keyboard*.

Hasil dari SAP2000 sebagai berikut :



Gambar 5. 21 Hasil Analisa Gaya Aksial

Berdasarkan gambar diatas, rekap gaya reaksi terbesar pada Tabel 5.9 dengan nilai sebesar :

Tabel 5. 9 Rekapitulasi beban Terbesar

Frame	Output Case	P (kN)	M1 (kNm)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
14	COMB4	16548,8	-158,57	43,62	-1,1831

Berdasarkan tabel diatas nilai gaya aksial adalah 1654,88 ton.

5.4 Data Karakteristik Tanah

Telah dilakukan penyelidikan tanah sesuai penyelidikan tanah di lapangan dan pengujian sample tanah di laboratorium. Adapun penyelidikan tanah dilapangan dengan menggunakan metode SPT pada titik Tabel 5.9 sampai Tabel 5.10 sebagai berikut.

Tabel 5. 10 Nilai N' (koreksi) Design Line

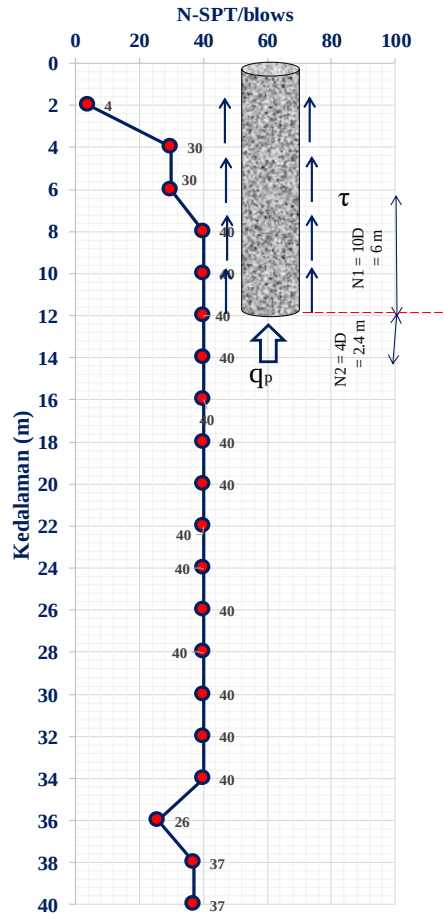
Elevation (meter)	Deskripsi Tanah	N-SPT/ blows
-2,00	Lempung	4
-4,00	Lempung	30
-6,00	Lempung	30
-8,00	Lempung	40
-10,00	Lempung	40
-12,00	Pasir	40
-14,00	Lempung	40
-16,00	Pasir	40
-18,00	Pasir	40
-20,00	Pasir	40
-22,00	Pasir	40
-24,00	Lempung	40
-26,00	Lempung	40
-28,00	Lempung	40
-30,00	Lempung	40
-32,00	Lempung	40
-34,00	Lempung	40
-36,00	Lempung	26
-38,00	Lempung	37
-40,00	Lempung	37

(Sumber: PT. Adhi Perkasa Properti)

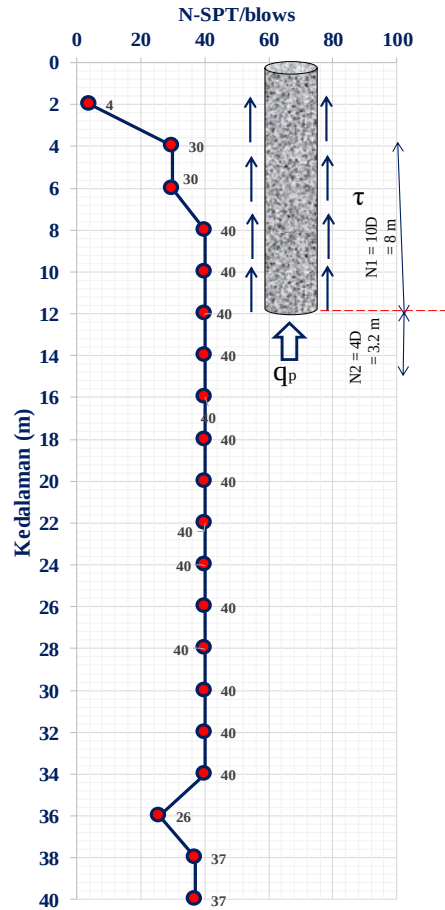
5.5 Desain Pondasi Tiang Bor

Dalam menghitung analisis pondasi tiang bor dibandingkan daya dukung pondasi dengan dimensi 60 cm dan 80 cm. Kaidah perhitungan mengikuti nilai pada Gambar 5.22. Berikut adalah tabel input data perhitungan daya dukung pondasi tiang bor pada Tabel 5.11 berikut.

DATA PENGUJIAN HASIL PENYELIDIKAN TANAH

GRAFIK BOR (SPT)
60 cm

DATA PENGUJIAN HASIL PENYELIDIKAN TANAH

GRAFIK BOR (SPT)
80 cm

Gambar 5. 22 Kaidah N1 dan N2 untuk Analisa Pondasi

(Sumber: PT. Adhi Perkasa Properti)

Tabel 5. 11 Data Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Dimensi 60 Cm

Lapisan ke	Kedalaman (m)	Ketebalan Lapisan Tanah (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Dimensi Tiang (cm)	
					60	
					N-10D	N-4D
					6	2,4
1	2,00	2	Lempung	4	4	30
2	4,00	2	Lempung	30	17	30
3	6,00	2	Lempung	30	21,33	40
4	8,00	2	Lempung	40	33,33	40
5	10,00	2	Lempung	40	36,67	40

Lanjutan Tabel 5.11 Data Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Dimensi 60 Cm

Lapisan ke	Kedalaman (m)	Ketebalan Lapisan Tanah (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Dimensi Tiang (cm)	
					60	
					N-10D	N-4D
					6	2,4
6	12,00	2	Pasir	40	40,00	40
7	14,00	2	Lempung	40	40,00	40
8	16,00	2	Pasir	40	40,00	40
9	18,00	2	Pasir	40	40,00	40
10	20,00	2	Pasir	40	40,00	40
11	22,00	2	Pasir	40	40,00	40
12	24,00	2	Lempung	40	40,00	40
13	26,00	2	Lempung	40	40,00	40
14	28,00	2	Lempung	40	40,00	40
15	30,00	2	Lempung	40	40,00	40
16	32,00	2	Lempung	40	40,00	40
17	34,00	2	Lempung	40	40,00	26
18	36,00	2	Lempung	26	35,33	37
19	38,00	2	Lempung	37	34,33	37
20	40,00	2	Lempung	37	33,33	33,33

Tabel 5. 12 Data Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Dimensi 80 Cm

Lapisan ke	Kedalaman (m)	Ketebalan Lapisan Tanah (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Dimensi Tiang (cm)	
					80	
					N-10D	N-4D
					8	3,2
1	2,00	2	Lempung	4	4	30
2	4,00	2	Lempung	30	17	30
3	6,00	2	Lempung	30	21,33	40
4	8,00	2	Lempung	40	26,00	40
5	10,00	2	Lempung	40	35,00	40
6	12,00	2	Pasir	40	37,50	40
7	14,00	2	Lempung	40	40,00	40
8	16,00	2	Pasir	40	40,00	40
9	18,00	2	Pasir	40	40,00	40
10	20,00	2	Pasir	40	40,00	40
11	22,00	2	Pasir	40	40,00	40
12	24,00	2	Lempung	40	40,00	40
13	26,00	2	Lempung	40	40,00	40

Lanjutan Tabel 5.12 Data Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Dimensi 80 Cm

Lapisan ke	Kedalaman (m)	Ketebalan Lapisan Tanah (m)	Jenis Tanah	N-SPT	Dimensi Tiang (cm)	
					80	
					N-10D	N-4D
					8	3,2
14	28,00	2	Lempung	40	40,00	40
15	30,00	2	Lempung	40	40,00	40
16	32,00	2	Lempung	40	40,00	40
17	34,00	2	Lempung	40	40,00	26
18	36,00	2	Lempung	26	36,50	37
19	38,00	2	Lempung	37	35,75	37
20	40,00	2	Lempung	37	35,00	35,00

Berdasarkan hasil N-SPT ditentukan kedalaman tiang bor rencana yaitu 12 meter, adapun perhitungannya adalah sebagai berikut.

5.5.1 Perhitungan Daya Dukung Aksial Tiang Bor Bulat (*Borepile*)

5.5.1.1 Metode Meyerhoff dengan Data SPT

1. Tiang Bor diameter 0,6 m

Kedalaman tiang (h) = 12 m

Panjang Tiang (Li) = 2 m

Dimensi lebar tiang (D) = 0,6 m

a. Perhitungan Luas Ujung Tiang (Ap)

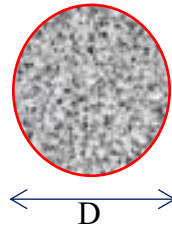
$$A_p = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \pi (0,6)^2$$

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

b. Perhitungan Keliling (Pi)

Pada penelitian ini diasumsikan jenis Tiang Bor adalah *Close End*



Gambar 5. 23 Jenis Tiang Bor Close End

$$P = \pi D$$

$$P = \pi (0,6)$$

$$P = 1,88 \text{ m}$$

c. Tahanan Geser Selimut

Pada penelitian ini tanah di Gedung Padmayana adalah tanah berpasir, maka perhitungan untuk tanah granular berdasarkan meyerhoff adalah sebagai berikut.

$$\tau = 0.2 N (T/m^2) \text{ (Close End)}$$

$$\tau = 0.2 (40) (T/m^2)$$

$$\tau = 8 (T/m^2)$$

$$\tau = 80 (kN/m^2)$$

d. Tahanan Ujung Tiang (q_p)

Perhitungan tahanan ujung tiang dengan menggunakan acuan rumus Meyerhof (1976) adalah sebagai berikut.

$$\text{Nilai } N_1 (10D) \text{ diatas ujung tiang} = 40$$

$$\text{Nilai } N_2 (4D) \text{ dibawah ujung tiang} = 40$$

$$\text{Nilai } N = \frac{N_1 + N_2}{2}$$

$$\text{Nilai} = \frac{40 + 40}{2}$$

$$q_p = 40 N (T/m^2) < 1600 (T/m^2)$$

$$q_p = 40(40) (T/m^2) < 1600 (T/m^2)$$

$$q_p = 1600 (T/m^2) < 1600 (T/m^2)$$

$$q_p = 1600 \times 9,81 (kN/m^2)$$

$$q_p = 15,696 kN/m^2$$

e. Daya Dukung Aksial Tiang Bor

1) Daya Dukung Selimut Tiang (Q_s)

$$\text{Panjang Tiang } (L_i) = 2 \text{ m}$$

$$\text{Keliling } (P_i) = 1,88 \text{ m}$$

$$\Sigma = \text{nilai } Q_s \text{ kumulatif dari kedalaman 0-10 m}$$

$$Q_s = \sum \tau \cdot L_i \cdot P_i$$

$$Q_s = \sum (80) \cdot (2) \cdot (1,88)$$

$$Q_s = 139,23 \text{ Ton}$$

2) Daya Dukung Ujung Tiang (Q_p)

$$\text{Luas Ujung Tiang } (A_p) = 0,28 \text{ m}^2$$

$$\text{Tahanan Ujung } (q_p) = 15.696 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = q_p \cdot A_p$$

$$Q_p = (15.696) \cdot (0,28) \text{ kN}$$

$$Q_p = 4437,94 \text{ kN}$$

$$Q_p = 443,794 \text{ Ton}$$

3) Daya Dukung Ultimate (Q_u)

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$Q_u = 443,794 + 139,23$$

$$Q_u = 583,02 \text{ Ton}$$

4) Safety Factor (SF)

$$\text{Digunakan Tahanan Selimut } SF_{\text{friction}} = 2,5$$

$$\text{Digunakan Tahanan Ujung } SF_{\text{end}} = 2,5$$

5) Daya Dukung Aksial Izin (Q_{all})

$$Q_{all} = \frac{Q_p}{SF_{End}} + \frac{Q_s}{SF_{Friction}}$$

$$Q_{all} = \frac{443,794}{2,5} + \frac{139,23}{2,5}$$

$$Q_{all} = 291,51 \text{ Ton}$$

6) Daya Dukung

Berikut adalah uraian tahanan aksial tiang

$$\text{Kedalaman pondasi} = 12 \text{ m}$$

Berdasarkan Daya Dukung	= 291,51 Ton
Beban aksial (P)	= 1654,88 Ton
Momen X (Mx)	= 4,362 Ton
Momen Y (My)	= 15,857 Tm
Gaya Geser (Fx)	= 21,692 Ton
Gaya Geser (Fy)	= 67,689 Ton

f. Kelompok Tiang

$$n = \frac{Pu}{Q_{all}}$$

$$n = \frac{1654,89 \text{ Ton}}{291.511 \text{ Ton}}$$

$$n = 5,68 \sim 6 \text{ buah}$$

n pakai = 8 buah (jumlah tiang yang digunakan disesuaikan kembali supaya memenuhi kapasitas dukung kelompok)

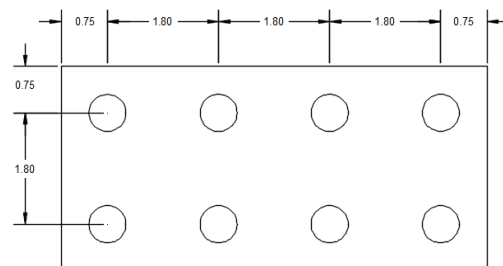
Dengan estimasi dimensi pile cap sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar tiang 3D} &= (0,6) \times (3) \\ &= 1,8 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak Tepi} = 1,25 (D)$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tepi} &= 1,25 (0,6) \\ &= 0,75 \text{ m} \end{aligned}$$

Susunan pondasi dapat dilihat pada Gambar 5.25 berikut.



Gambar 5. 24 Kelompok Tiang Bor Diameter 60 cm 8 Buah

Contoh perhitungan efisiensi tiang sebagai berikut :

$$E_g = 1 - \tan' \left(\frac{d}{s} \right) \frac{(n-1)*m + (m-1)*n}{90*m*n}$$

$$E_g = 1 - \tan' \left(\frac{0.6}{1.8} \right) \frac{(4-1)*2 + (2-1)*4}{90*4*2}$$

$$E_{\text{efisiensi}} = 0,74$$

$$Q_g = Q_{\text{all}} \times n \times E_{\text{efisiensi}}$$

$$Q_g = 291.511 \times 8 \times 0,74$$

$$Q_g = 1725,74 \text{ Ton}$$

2. Tiang Bor diameter 0,8 m

$$\text{Kedalaman tiang (h)} = 12 \text{ m}$$

$$\text{Panjang Tiang (Li)} = 2 \text{ m}$$

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

a. Perhitungan Luang Ujung Tiang (A_p)

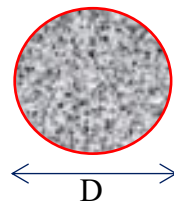
$$A_p = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \pi (0,8)^2$$

$$A_p = 0,503 \text{ m}^2$$

b. Perhitungan Keliling (P_i)

Pada penelitian ini diasumsikan jenis Tiang Bor adalah *Close End*



Gambar 5. 25 Jenis Tiang Bor *Close End*

$$P = \pi D$$

$$P = \pi (0,6)$$

$$P = 2,51 \text{ m}$$

c. Tahanan Geser Selimut

Pada penelitian ini tanah di Gedung Padmayana adalah tanah berpasir, maka perhitungan untuk tanah granular berdasarkan Meyerhoff adalah sebagai berikut.

$$\tau = 0.2 N (T/m^2) \text{ (Close End)}$$

$$\tau = 0.2 (37,5) (T/m^2)$$

$$\tau = 7,5 (T/m^2)$$

$$\tau = 75 (kN/m^2)$$

d. Tahanan Ujung Tiang (q_p)

Perhitungan tahanan ujung tiang dengan menggunakan acuan rumus Meyerhof (1976) adalah sebagai berikut.

$$\text{Nilai } N_1 (10 D) \text{ diatas ujung tiang} = 37,5$$

$$\text{Nilai } N_2 (4D) \text{ dibawah ujung tiang} = 40$$

$$\text{Nilai } N = \frac{N_1 + N_2}{2}$$

$$\text{Nilai } N = \frac{37,5 + 40}{2}$$

$$\text{Nilai } N = 38,75$$

$$q_p = 40N (T/m^2) < 1600 (T/m^2)$$

$$q_p = 40(38,75) (T/m^2) < 1600 (T/m^2)$$

$$q_p = 1550 (T/m^2) < 1600 (T/m^2)$$

$$q_p = 1550 \times 9,81 (kN/m^2)$$

$$q_p = 15,205,5 kN/m^2$$

e. Daya Dukung Aksial Tiang Bor *Borepile*

1) Daya Dukung Selimut Tiang (Q_s)

$$\text{Panjang Tiang } (L_i) = 2 \text{ m}$$

$$\text{Keliling } (P_i) = 2,51 \text{ m}$$

$$\Sigma = \text{nilai } Q_s \text{ kumulatif dari kedalaman 0-10 m}$$

$$Q_s = \sum \tau \cdot L_i \cdot P_i$$

$$Q_s = \sum (75) \cdot (2) \cdot (2,51)$$

$$Q_s = 1718,62 \text{ Kn}$$

$$Q_s = 171,86 \text{ Ton}$$

2) Daya Dukung Ujung Tiang (Q_p)

$$\text{Luas Ujung Tiang } (A_p) = 0,50 \text{ m}^2$$

$$\text{Tahanan Ujung } (q_p) = 15.205,5 kN/m^2$$

$$Q_p = q_p \cdot A_p$$

$$Q_p = (15.205,5) \cdot (0,50) \text{ kN}$$

$$Q_p = 7643,12 \text{ kN}$$

$$Q_p = 764,31 \text{ Ton}$$

3) Daya Dukung Ultimate (Q_u)

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$Q_u = 764,31 + 171,86$$

$$Q_u = 936,17 \text{ Ton}$$

4) Safety Factor (SF)

Digunakan Tahanan Selimut $SF_{\text{friction}} = 2,5$

Digunakan Tahanan Ujung $SF_{\text{end}} = 2,5$

5) Daya Dukung Aksial Izil (Q_{all})

$$Q_{all} = \frac{Q_p}{SF_{End}} + \frac{Q_s}{SF_{Friction}}$$

$$Q_{all} = \frac{764,31}{2,5} + \frac{171,86}{2,5}$$

$$Q_{all} = 374,47 \text{ Ton}$$

6) Daya Dukung

Berikut adalah uraian tahanan aksial tiang

Kedalaman pondasi = 12 m

Berdasarkan Daya Dukung = 374,47 Ton

Beban aksial (P) = 1654,88 Ton

Momen X (Mx) = 4,362 Ton

Momen Y (My) = 15,857 Tm

Gaya Geser (Fx) = 21,692 Ton

Gaya Geser (Fy) = 67,689 Ton

f. Kelompok Tiang

$$n = \frac{Pu}{Q_{all}}$$

$$n = \frac{1654,89 \text{ Ton}}{374,47 \text{ Ton}}$$

$$n = 3,54 \sim 4 \text{ buah}$$

n pakai = 6 buah (jumlah tiang yang digunakan disesuaikan kembali supaya memenuhi kapasitas dukung kelompok)

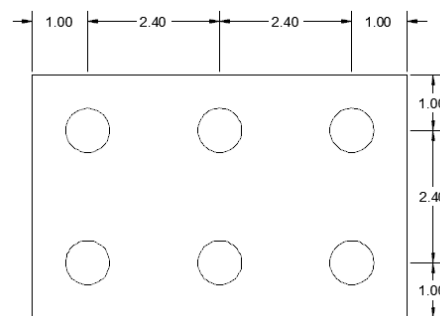
Dengan estimasi dimensi pile cap sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Jarak antar tiang } 3D &= (0,8) \times (3) \\ &= 2,4 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Jarak Tepi} = 1,25 (D)$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak Tepi} &= 1,25 (0,8) \\ &= 1 \text{ m}\end{aligned}$$

Susunan pondasi dapat dilihat pada Gambar 5.27 berikut.



Gambar 5. 26 Kelompok Borepile Diameter 80 cm 6 Buah

$$E_g = 1 - \tan' \left(\frac{d}{s} \right) \frac{(n-1)*m + (m-1)*n}{90*m*n}$$

$$E_g = 1 - \tan' \left(\frac{0,8}{2,4} \right) \frac{(3-1)*2 + (2-1)*3}{90*3*2}$$

$$E_{\text{fisiensi}} = 0,76$$

$$Q_g = Q_{\text{all}} \times n \times E_{\text{fisiensi}}$$

$$Q_g = 374,47 \times 6 \times 0,76$$

$$Q_g = 1707,583 \text{ Ton}$$

5.5.1.2 Metode Luciano Decourt dengan Data SPT

1. Tiang Bor dengan Diameter 0,6 m

$$\text{Kedalaman tiang (h)} = 12 \text{ m}$$

$$\text{Panjang tiang (Li)} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Dimensi lebar tiang (D)} = 0,6 \text{ m}$$

Jenis Tiang Bor = *Close End*

Tebal selimut tiang = 0,2

a. Perhitungan Luas Ujung Tiang (A_p)

$$A_p = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \pi (0,6)^2$$

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

b. Perhitungan Keliling (P_i)

$$P = \pi D$$

$$P = \pi (0,6)$$

$$P = 1,88 \text{ m}$$

c. Daya Dukung Aksial *Borepile*

1) Daya Dukung Selimut Tiang (Q_s)

$$\beta = 1$$

$$N_{\text{spt } 12 \text{ m}} = 40$$

$$A_s = P_i \times L_i$$

$$A_s = 1,88 \times 2$$

$$A_s = 3,77 \text{ m}^2$$

$$Q_s = Q_{s\text{sebelum}} + (\beta(N_{\text{spt } 12 \text{ m}}/3) + 1) \times A_s$$

Besar $Q_{s\text{sebelum}}$ adalah besar akumulasi Q_s pada lapis kedalaman sebelum Tiang Bor. Dalam hal ini besar $Q_{s\text{sebelum}}$ sebesar 10 meter, adapun $Q_{s\text{sebelum}}$ sebesar 160,01 Ton.

$$Q_s = 160,01 + (1(\frac{40}{3}) + 1) \times 3,77$$

$$Q_s = 214,05 \text{ Ton}$$

2) Daya Dukung Ujung Tiang (Q_p)

$$A_b = 0,28 \text{ m}^2$$

$$\alpha = 1$$

$$N_{\text{spt } 12 \text{ m}} = 40$$

$$K = 35$$

$$Q_p = (\alpha \times N_{\text{spt } 12 \text{ m}} \times K \times A_b)$$

$$Q_p = (1 \times 40 \times 35 \times 0,28)$$

$$Q_p = 395,84 \text{ Ton}$$

3) Daya Dukung Ultimate (Q_u)

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$Q_u = 395,84 + 214,05$$

$$Q_u = 609,89 \text{ Ton}$$

4) Safety Factor Digunakan

$$\text{Untuk Tahanan Selimut } SF_{\text{Friction}} = 2$$

$$\text{Untuk Tahanan Ujung } SF_{\text{End}} = 2$$

5) Daya Dukung Aksial Izin (Q_{all})

$$Q_{all} = \frac{Q_p}{SF_{\text{End}}} + \frac{Q_s}{SF_{\text{Friction}}}$$

$$Q_{all} = \frac{395,84}{2} + \frac{214,05}{2}$$

$$Q_{all} = 304,94 \text{ Ton}$$

6) Daya Dukung

Berikut adalah uraian tahanan aksial tiang

$$\text{Kedalaman pondasi} = 12 \text{ m}$$

$$\text{Berdasarkan Daya Dukung} = 304,94 \text{ Ton}$$

$$\text{Beban aksial (P)} = 1654,88 \text{ Ton}$$

$$\text{Momen X (Mx)} = 4,362 \text{ Ton}$$

$$\text{Momen Y (My)} = 15,857 \text{ Tm}$$

$$\text{Gaya Geser (Fx)} = 21,692 \text{ Ton}$$

$$\text{Gaya Geser (Fy)} = 67,689 \text{ Ton}$$

d. Kelompok Tiang

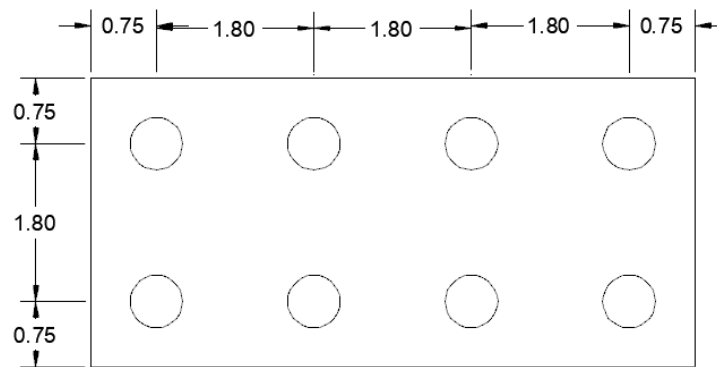
$$n = \frac{Pu}{Q_{all}}$$

$$n = \frac{1654,89 \text{ Ton}}{305 \text{ Ton}}$$

$$n = 5,43 \sim 8 \text{ buah}$$

n pakai = 8 buah (jumlah tiang yang digunakan disesuaikan kembali supaya memenuhi kapasitas dukung kelompok)

Susunan pondasi dapat dilihat pada Gambar 5.28 berikut.



Gambar 5. 27 Kelompok Borepile Diameter 60 cm 8 Buah

$$E_g = 1 - \tan' \left(\frac{d}{s} \right) \frac{(n-1)*m + (m-1)*n}{90*m*n}$$

$$E_g = 1 - \tan' \left(\frac{0.6}{1.8} \right) \frac{(4-1)*2 + (2-1)*4}{90*4*2}$$

$$E_{\text{efisiensi}} = 0,74$$

$$Q_g = Q_{\text{all}} \times n \times E_{\text{efisiensi}}$$

$$Q_g = 304,94 \times 8 \times 0,74$$

$$Q_g = 805,268,26 \text{ Ton}$$

Dengan estimasi dimensi pile cap sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar tiang 3D} &= (0,6) \times (3) \\ &= 1,8 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak Tepi} = 1,25 (D)$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tepi} &= 1,25 (0,6) \\ &= 0,75 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Tiang Bor dengan Diameter 0,8 m

$$\text{Kedalaman tiang (h)} = 12 \text{ m}$$

$$\text{Panjang tiang (Li)} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Dimensi lebar tiang (D)} = 0,8 \text{ M}$$

$$\text{Jenis Tiang Bor} = \textit{Close End}$$

$$\text{Tebal selimut tiang} = 0,2$$

a. Perhitungan Luas Ujung Tiang (A_p)

$$A_p = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \pi (0,8)^2$$

$$A_p = 0,503 \text{ m}^2$$

b. Perhitungan Keliling (P_i)

$$P = \pi D$$

$$P = \pi (0,8)$$

$$P = 2,51 \text{ m}$$

c. Daya Dukung Aksial *Borepile*1) Daya Dukung Selimut Tiang (Q_s)

$$\beta = 1$$

$$N_{\text{spt } 12 \text{ m}} = 40$$

$$A_s = P_i \times L_i$$

$$A_s = 2,51 \times 2$$

$$A_s = 5,03 \text{ m}^2$$

$$Q_s = Q_{\text{sebelum}} + (\beta(N_{\text{spt } 12 \text{ m}}/3) + 1) \times A_s$$

Besar Q_{sebelum} adalah besar akumulasi Q_s pada lapis kedalaman sebelum Tiang Bor. Dalam hal ini besar Q_{sebelum} sebesar 10 meter, adapun Q_{sebelum} sebesar 198,27 Ton.

$$Q_s = 198,27 + (1(\frac{40}{3}) + 1) \times 70$$

$$Q_s = 1143,27 \text{ Ton}$$

2) Daya Dukung Ujung Tiang (Q_p)

$$A_b = 0,50 \text{ m}^2$$

$$\alpha = 1$$

$$N_{\text{spt } 12 \text{ m}} = 40$$

$$K = 35$$

$$Q_p = (\alpha \times N_{\text{spt } 12 \text{ m}} \times K \times A_b)$$

$$Q_p = (1 \times 40 \times 35 \times 0,50)$$

$$Q_p = 703,72 \text{ Ton}$$

3) Daya Dukung Ultimate (Q_u)

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$Q_u = 703,72 + 1143,27$$

$$Q_u = 1846,99 \text{ Ton}$$

4) Safety Factor Digunakan

$$\text{Untuk Tahanan Selimut } SF_{\text{Friction}} = 2$$

$$\text{Untuk Tahanan Ujung } SF_{\text{End}} = 2$$

5) Daya Dukung Aksial Izin (Q_{all})

$$Q_{all} = \frac{Q_p}{SF_{\text{End}}} + \frac{Q_s}{SF_{\text{Friction}}}$$

$$Q_{all} = \frac{703,72}{2} + \frac{266,13}{2}$$

$$Q_{all} = 484,92 \text{ Ton}$$

6) Daya Dukung

Berikut adalah uraian tahanan aksial tiang

$$\text{Kedalaman pondasi} = 12 \text{ m}$$

$$\text{Berdasarkan Daya Dukung} = 484,92 \text{ Ton}$$

$$\text{Beban aksial (P)} = 1654,88 \text{ Ton}$$

$$\text{Momen X (Mx)} = 4,362 \text{ Ton}$$

$$\text{Momen Y (My)} = 15,857 \text{ Tm}$$

$$\text{Gaya Geser (Fx)} = 21,692 \text{ Ton}$$

$$\text{Gaya Geser (Fy)} = 67,689 \text{ Ton}$$

7) Kelompok Tiang

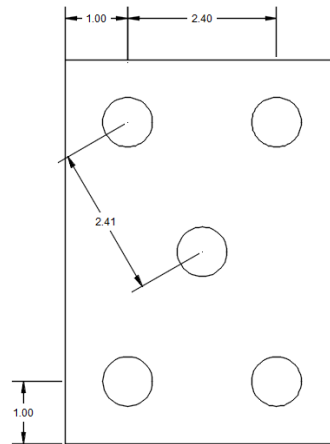
$$n = \frac{P_u}{Q_{all}}$$

$$n = \frac{1654,89 \text{ Ton}}{484,92 \text{ Ton}}$$

$$n = 3,41 \sim 4 \text{ buah}$$

n pakai = 5 buah (jumlah tiang yang digunakan disesuaikan kembali supaya memenuhi kapasitas dukung kelompok)

Susunan pondasi dapat dilihat pada Gambar 5.29 berikut.



Gambar 5. 28 Kelompok Tiang Bor Diameter 80 cm 5 Buah

$$E_g = 1 - \tan' \left(\frac{d}{s} \right) \frac{(n-1)*m + (m-1)*n}{90*m*n}$$

$$E_g = 1 - \tan' \left(\frac{0.8}{2.4} \right) \frac{(2-1)*2 + (2-1)*2}{90*2*2}$$

$$\text{Efisiensi} = 0,80$$

$$Q_g = Q_{all} \times n \times \text{Efisiensi}$$

$$Q_g = 485 \times 2 \times 0,8$$

$$Q_g = 1940 \text{ Ton}$$

Dengan estimasi dimensi pile cap sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar tiang 3D} &= (0,8) \times (3) \\ &= 2,4 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak Tepi} = 1,25 (D)$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tepi} &= 1,25 (0,8) \\ &= 1,0 \text{ m} \end{aligned}$$

5.5.1.3 Metode Reese and Wright

1. Tiang Bor dengan Diameter 0,6 m

$$\text{Kedalaman tiang (h)} = 12 \text{ m}$$

$$\text{Panjang tiang (Li)} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Dimensi lebar tiang (D)} = 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Jenis Tiang Bor} = \text{Close End}$$

a. Perhitungan Luas Ujung Tiang (Ap)

$$A_p = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \pi (0,6)^2$$

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

b. Perhitungan Keliling (Pi)

$$P = \pi D$$

$$P = \pi (0,6)$$

$$P = 1,88 \text{ m}$$

c. Tahanan Geser Selimut

Nilai N-SPT kedalaman = 40 m

$$\tau = 0.2 N (T/m^2)$$

$$\tau = 0.2 (40) (T/m^2)$$

$$\tau = 8 T/m^2$$

$$\tau = 78 \text{ kN/m}^2$$

d. Tahanan Ujung Tiang (qp)

Dengan menggunakan rumus dasar acuan Reese and Wright (1977)

$$q_p = 7N (T/m^2) < 400 (T/m^2)$$

$$\text{Nilai } N_1 (10D) \text{ diatas ujung tiang} = 21,33$$

$$\text{Nilai } N_2 (4D) \text{ dibawah ujung tiang} = 40$$

$$\text{Nilai } N (N_1 + N_2)/2 = 30,667$$

$$\text{Tahanan ujung tiang} = 214,667 \text{ T/m}^2$$

$$\text{Batas } q_p \text{ max} = 400 \text{ T/m}^2$$

$$\text{Tahanan ujung tiang } q_p \text{ digunakan} = 214,667 \text{ T/m}^2$$

$$= 2105,88 \text{ kN/m}^2$$

Adapun rekapitulasi hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5. 13 Perhitungan Tahanan Selimut dan Ujung

Tahanan Selimut kN/m ²	Tahanan Ujung kN/m ²
80	2105,88

$$\begin{aligned}\text{Tahanan selimut yang digunakan } \tau &= 80 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Tahanan ujung yang digunakan } q_p &= 2105,88 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

e. Daya Dukung Aksial Tiang Bor *Borepile*

1) Daya dukung selimut tiang (Q_s)

$$Q_s = \sum \tau \cdot L_i \cdot P_i$$

Berdasarkan perhitungan hasil perlu dikumulatikan di setiap lapisan, berdasarkan hasil spt tiang akan dibor pada lapis ke 6/kedalaman 12 m

$$\text{Panjang tiang (} L_i \text{) pada lapisan ini} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Keliling (} P_i \text{)} = 1,88 \text{ m}$$

$$Q_s = \sum \tau \cdot L_i \cdot P_i$$

$$\begin{aligned}Q_s &= Q_{s5} + (2 \times 1,88 \times 80) \\ &= 1848,65 \text{ kN} \\ &= 184,86 \text{ Ton}\end{aligned}$$

2) Daya dukung ujung tiang (Q_p)

$$\text{Luas ujung tiang } A_p = 0,28 \text{ m}^2$$

$$Q_p = 7 \times N \times A_p$$

$$Q_p = ((7 \times 40) \times 9,81) \times 0,28$$

$$\begin{aligned}\text{Daya dukung ujung tiang } Q_p &= 776,64 \text{ kN} \\ &= 77,66 \text{ Ton}\end{aligned}$$

3) Daya dukung ultimate (Q_u)

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$Q_u = 77,66 + 184,86$$

$$Q_u = 262,53 \text{ Ton}$$

4) Safety factor yang digunakan

$$\text{Untuk tahanan selimut } SF_{\text{friction}} = 2$$

$$\text{Untuk tahanan ujung } SF_{\text{end}} = 2$$

Berdasarkan SF_{friction} dan SF_{end} maka besar daya dukung aksial izinnya adalah sebagai berikut.

$$Q_{all} = \frac{Q_p}{SF_{End}} + \frac{Q_s}{SF_{Friction}}$$

$$Q_{all} = \frac{77,66}{2} + \frac{184,86}{2}$$

$$Q_{all} = 131,26 \text{ Ton}$$

5) Daya dukung

Berikut adalah uraian tahanan aksial tiang

Kedalaman pondasi = 12 m

Berdasarkan Daya Dukung = 131,26 Ton

Beban aksial (P) = 1654,88 Ton

Momen X (Mx) = 4,362 Ton

Momen Y (My) = 15,857 Tm

Gaya Geser (Fx) = 21,692 Ton

Gaya Geser (Fy) = 67,689 Ton

6) Kelompok Tiang

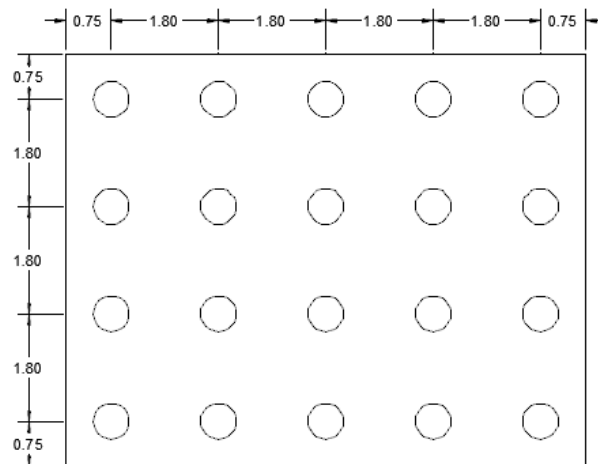
$$n = \frac{Pu}{Q_{all}}$$

$$n = \frac{1654,89 \text{ Ton}}{131,26 \text{ Ton}}$$

$$n = 13,5 \sim 14 \text{ buah}$$

n pakai = 20 buah (jumlah tiang yang digunakan disesuaikan kembali supaya memenuhi kapasitas dukung kelompok)

Susunan pondasi dapat dilihat pada Gambar 5.30 berikut.



Gambar 5. 29 Kelompok Tiang Bor Diameter 60 cm 20 Buah

$$E_g = 1 - \tan' \left(\frac{d}{s} \right) \frac{(n-1)*m + (m-1)*n}{90*m*n}$$

$$E_g = 1 - \tan' \left(\frac{0.6}{1.8} \right) \frac{(5-1)*4 + (5-1)*4}{90*5*4}$$

$$\text{Efisiensi} = 0,68$$

$$Q_g = Q_{izin} \times n \times \text{Efisiensi}$$

$$Q_g = 131 \times 20 \times 0,68$$

$$Q_g = 1785,195 \text{ Ton}$$

Dengan estimasi dimensi pile cap sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar tiang 3D} &= (0,6) \times (3) \\ &= 1,8 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak Tepi} = 1,25 (D)$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Tepi} &= 1,25 (0,6) \\ &= 0,75 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Tiang Bor dengan Diameter 0,8 m

$$\text{Kedalaman tiang (h)} = 12 \text{ m}$$

$$\text{Panjang tiang (Li)} = 2 \text{ m}$$

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

$$\text{Jenis Tiang Bor} = \textit{Close End}$$

a. Perhitungan Luas Ujung Tiang (A_p)

$$A_p = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \pi (0,8)^2$$

$$A_p = 0,503 \text{ m}^2$$

b. Perhitungan Keliling (Pi)

$$P = \pi D$$

$$P = \pi (0,6)$$

$$P = 1,88 \text{ m}$$

c. Tahanan Geser Selimut

Nilai N-SPT kedalaman = 40 m

$$\tau = 0.2 N (T/m^2)$$

$$\tau = 0.2 (40) (T/m^2)$$

$$\tau = 8 T/m^2$$

$$\tau = 80 \text{ kN/m}^2$$

d. Tahanan Ujung Tiang (qp)

Dengan menggunakan rumus dasar acuan Reese and Wright (1977)

$$Q_p = 7N (T/m^2) < 400 (T/m^2)$$

$$\text{Nilai } N_1 (10D) \text{ diatas ujung tiang} = 37,5$$

$$\text{Nilai } N_2 (4D) \text{ dibawah ujung tiang} = 40$$

$$\text{Nilai } N (N_1 + N_2)/2 = 38,75$$

$$\text{Tahanan ujung tiang} = 271,25 T/m^2$$

$$\text{Batas } q_p \text{ max} = 400 T/m^2$$

$$\text{Tahanan ujung tiang } q_p \text{ digunakan} = 271,25 T/m^2$$

$$= 2660,963 \text{ kN/m}^2$$

Adapun rekapitulasi hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel.

5.14 berikut.

Tabel 5. 14 Perhitungan Tahanan Selimut dan Ujung

Tahanan Selimut	Tahanan Ujung
kN/m ²	kN/m ²
80	2660,9625

Tahanan selimut yang digunakan $\tau = 78,48 \text{ kN/m}^2$

Tahanan ujung yang digunakan $q_p = 2660,9625 \text{ kN/m}^2$

e. Daya Dukung Aksial Tiang Bor *Borepile*

1) Daya dukung selimut tiang (Q_s)

$$Q_s = \sum \tau \cdot L_i \cdot P_i$$

Berdasarkan perhitungan hasil perlu dikumulatifkan di setiap lapisan, berdasarkan hasil spt tiang akan dibor pada lapis ke 6/kedalaman 12 m

Panjang tiang (L_i) pada lapisan ini = 2 m

Keliling (P_i) = 2,51 m

$Q_s = \sum \tau \cdot L_i \cdot P_i$

$Q_s = Q_{s5} + (2 \times 2,51 \times 80)$
 $= 2298,99 \text{ kN}$
 $= 229,90 \text{ Ton}$

2) Daya dukung ujung tiang (Q_p)

Luas ujung tiang $A_p = 0,50 \text{ m}^2$

$Q_p = 0,50 \times 2660,9625$

$Q_p = 1337,55 \text{ kN}$

$Q_p = 133,75 \text{ Ton}$

3) Daya dukung ultimate (Q_u)

$Q_u = Q_p + Q_s$

$Q_u = 133,75 + 229,90$

$Q_u = 363,65 \text{ Ton}$

4) Safety factor yang digunakan

Untuk tahanan selimut $SF_{\text{friction}} = 2$

Untuk tahanan ujung $SF_{\text{end}} = 2$

Berdasarkan SF_{friction} dan SF_{end} maka besar daya dukung aksial izinnnya adalah sebagai berikut.

$$Q_{\text{all}} = \frac{Q_p}{SF_{\text{End}}} + \frac{Q_s}{SF_{\text{Friction}}}$$

$$Q_{\text{all}} = \frac{133,75}{2} + \frac{229,90}{2}$$

$$Q_{all} = 181,825 \text{ Ton}$$

5) Daya dukung

Berikut adalah uraian tahanan aksial tiang

$$\text{Kedalaman pondasi} = 12 \text{ m}$$

$$\text{Berdasarkan Daya Dukung} = 181,828 \text{ Ton}$$

$$\text{Beban aksial (P)} = 1654,88 \text{ Ton}$$

$$\text{Momen X (Mx)} = 4,362 \text{ Ton}$$

$$\text{Momen Y (My)} = 15,857 \text{ Tm}$$

$$\text{Gaya Geser (Fx)} = 21,692 \text{ Ton}$$

$$\text{Gaya Geser (Fy)} = 67,689 \text{ Ton}$$

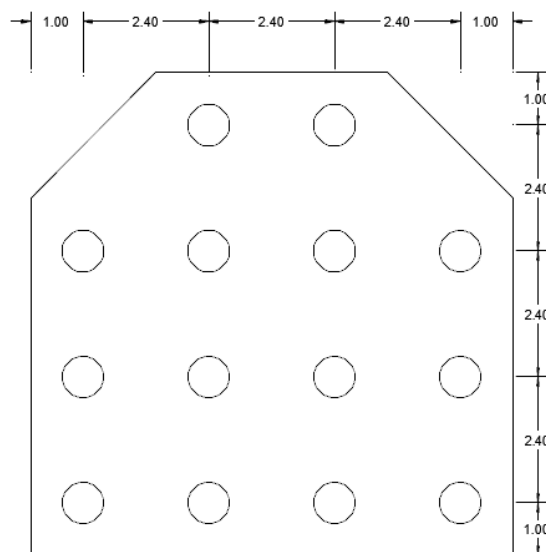
6) Kelompok Tiang

$$n = \frac{P_u}{Q_{all}}$$

$$n = \frac{1654,89 \text{ Ton}}{181,828 \text{ Ton}}$$

n pakai = 9,10 ~ 14 buah (jumlah tiang yang digunakan disesuaikan kembali supaya memenuhi kapasitas dukung kelompok)

Susunan pondasi dapat dilihat pada Gambar 5.31 berikut.



Gambar 5. 30 Kelompok *Borepile* Diameter 80 cm 14 Buah

$$E_g = 1 - \tan' \left(\frac{d}{s} \right) \frac{(n-1)*m + (m-1)*n}{90*m*n}$$

$$E_g = 1 - \tan' \left(\frac{0,8}{2,4} \right) \frac{(4-1)*4 + (4-1)*4}{90*4*4}$$

$$E_{\text{efisiensi}} = 0,69$$

$$Q_g = Q_{\text{izin}} \times n \times E_{\text{efisiensi}}$$

$$Q_g = 182 \times 14 \times 0,69$$

$$Q_g = 1756,445 \text{ Ton}$$

Dengan estimasi dimensi pile cap sebagai berikut.

$$\text{Jarak antar tiang 3D} = (0,8) \times (3)$$

$$= 2,4 \text{ m}$$

$$\text{Jarak Tepi 1,25 (D)} = 1,25 (0,8)$$

$$= 1 \text{ m}$$

5.5.2 Perhitungan Elastic Settlement

1. *Elastic Settlement* dari Meyerhoff (60 cm)

a. Data awal

$$Q_{wp} = 443,79 \text{ kN}$$

$$Q_{ws} = 139,23 \text{ kN}$$

$$F'_c = 52 \text{ Mpa}$$

$$E_p = 33892182 \text{ kN/m}^2$$

$$E_s = 35245,32 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,35$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$D = 60 \text{ cm (Bentuk tiang bulat)}$$

$$A_p = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \pi (0,6)^2$$

$$A_p = 0,282 \text{ m}^2$$

$$P = \pi D$$

$$P = \pi \times 0,6$$

$$P = 1,88 \text{ m}$$

$$q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p}$$

$$q_{wp} = \frac{443,79}{0,282}$$

$$q_{wp} = 1569,6 \text{ kN/m}^2$$

$$B_g = 3,3 \text{ m (dari dimensi pilecap, pada gambar 5.25)}$$

b. *Elastic Settlement* (Penurunan Elastik)

Penurunan yang terjadi akibat beban vertikal yang bekerja pada pondasi tiang dirumuskan sebagai berikut.

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

1) Penurunan elastik tiang $S_{e(1)}$

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

$$S_{e(1)} = \frac{(443,79 + (0,62 \times 139,23)) \times 12}{0,282 \times 33892192}$$

$$S_{e(1)} = 0,66 \text{ mm}$$

2) Penurunan disebabkan oleh beban pada ujung tiang ($S_{e(2)}$)

$$S_{e(2)} = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp}$$

$$S_{e(2)} = \frac{1569,6 \times 0,6}{35245,32} (1 - 0,35^2) \times 0,85$$

$$S_{e(2)} = 19,93 \text{ mm}$$

3) Penurunan disebabkan oleh beban sepanjang selimut tiang ($S_{e(3)}$)

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{pL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$S_{e(3)} = \left(\frac{139,23}{1,88 \times 12} \right) \frac{0,6}{35245,32} (1 - 0,35^2) \times 3,57$$

$$S_{e(3)} = 0,33 \text{ mm}$$

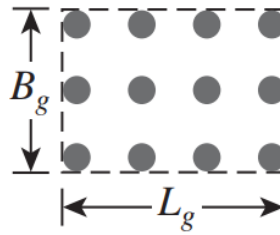
4) Penurunan elastik total yang terjadi pada pondasi tiang tersebut yaitu

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

$$S_e = 0,66 + 19,93 + 0,33$$

$$S_e = 20,92 \text{ mm}$$

5) Penurunan Elastik pada tiang grup dapat dilihat pada Gambar 5.32.



Gambar 5. 31 Dimensi Pilecap pada Perhitungan Penurunan Tiang Metode Meyerhoff D60

$$S_{e(g)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}} S_e$$

$$S_{e(g)} = \sqrt{\frac{3,3}{0,60}} \times 20,92$$

$$S_{e(g)} = 49,1 \text{ mm}$$

Berdasarkan penurunan yang terjadi pada pondasi tiang grup yaitu sebesar 49,1 mm

2. *Elastic Settlement* dari Meyerhoff (80 cm)

a. Data awal

$$Q_{wp} = 764,31 \text{ kN}$$

$$Q_{ws} = 171,86 \text{ kN}$$

$$F'_c = 52 \text{ Mpa}$$

$$E_p = 33892182 \text{ kN/m}^2$$

$$E_s = 35245,32 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,35$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$D = 80 \text{ cm (Bentuk tiang bulat)}$$

$$A_p = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \pi (0,8)^2$$

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

$$P = \pi D$$

$$P = \pi \times 0,8$$

$$P = 2,51 \text{ m}$$

$$q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p}$$

$$q_{wp} = \frac{764,31}{0,502}$$

$$q_{wp} = 1520,55 \text{ kN/m}^2$$

$$B_g = 4,4 \text{ m (dari dimensi pilecap, pada gambar 5.27)}$$

b. *Elastic Settlement* (Penurunan Elastik)

Penurunan yang terjadi akibat beban vertikal yang bekerja pada pondasi tiang dirumuskan sebagai berikut.

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

1) Penurunan elastik tiang $S_{e(1)}$

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_{ws} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p}$$

$$S_{e(1)} = \frac{(171,86 + (0,62 \times 171,86)) \times 12}{0,502 \times 33892192}$$

$$S_{e(1)} = 0,61 \text{ mm}$$

2) Penurunan disebabkan oleh beban pada ujung tiang ($S_{e(2)}$)

$$S_{e(2)} = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp}$$

$$S_{e(2)} = \frac{1520,55 \times 0,8}{35245,32} (1 - 0,35^2) \times 0,85$$

$$S_{e(2)} = 25,74 \text{ mm}$$

3) Penurunan disebabkan oleh beban sepanjang selimut tiang ($S_{e(3)}$)

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{pL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$S_{e(3)} = \left(\frac{171,86}{2,51 \times 12} \right) \frac{0,8}{35245,32} (1 - 0,35^2) \times 3,36$$

$$S_{e(3)} = 0,38 \text{ mm}$$

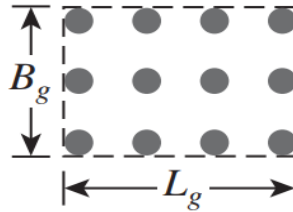
4) Penurunan elastik total yang terjadi pada pondasi tiang tersebut yaitu

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

$$S_e = 0,61 + 25,74 + 0,38$$

$$S_e = 26,74 \text{ mm}$$

5) Penurunan Elastik oleh Tiang Grup dapat dilihat pada gambar 5.33.



Gambar 5. 32 Dimensi Pilecap pada Perhitungan Penurunan Tiang Metode Meyerhoff D80

$$S_{e(g)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}} S_e$$

$$S_{e(g)} = \sqrt{\frac{4,4}{0,80}} \times 26,74$$

$$S_{e(g)} = 62,71 \text{ mm}$$

Berdasarkan penurunan yang terjadi pada pondasi tiang grup yaitu sebesar 62,71 mm

3. *Elastic Settlement* dari Luciano Decourt (60 cm)

a. Data awal

$$Q_{wp} = 395,84 \text{ kN}$$

$$Q_{ws} = 214,05 \text{ kN}$$

$$F'_c = 52 \text{ Mpa}$$

$$E_p = 33892182 \text{ kN/m}^2$$

$$E_s = 35245,32 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,35$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$D = 60 \text{ cm (Bentuk tiang bulat)}$$

$$A_p = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \pi (0,6)^2$$

$$A_p = 0,282 \text{ m}^2$$

$$P = \pi D$$

$$P = \pi \times 0,6$$

$$P = 1,88 \text{ m}$$

$$q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p}$$

$$q_{wp} = \frac{395,84}{0,282}$$

$$q_{wp} = 1.400 \text{ kN/m}^2$$

$$B_g = 3,3 \text{ m (dari dimensi pilecap, pada gambar 5.28)}$$

b. *Elastic Settlement* (Penurunan Elastik)

Penurunan yang terjadi akibat beban vertikal yang bekerja pada pondasi tiang dirumuskan sebagai berikut.

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

1) Penurunan elastik tiang $S_{e(1)}$

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

$$S_{e(1)} = \frac{(395,84 + (0,62 \times 214,05)) \times 12}{0,2827 \times 33892192}$$

$$S_{e(1)} = 0,66 \text{ mm}$$

2) Penurunan disebabkan oleh beban pada ujung tiang ($S_{e(2)}$)

$$S_{e(2)} = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp}$$

$$S_{e(2)} = \frac{1400 \times 0,6}{35245,32} (1 - 0,35^2) \times 0,85$$

$$S_{e(2)} = 17,78 \text{ mm}$$

3) Penurunan disebabkan oleh beban sepanjang selimut tiang ($S_{e(3)}$)

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{pL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$S_{e(3)} = \left(\frac{214,05}{1,88 \times 12} \right) \frac{0,6}{35245,32} (1 - 0,35^2) \times 3,57$$

$$S_{e(3)} = 0,50 \text{ mm}$$

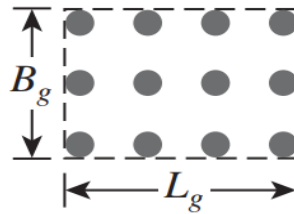
4) Penurunan elastik total yang terjadi pada pondasi tiang tersebut yaitu

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

$$S_e = 0,66 + 17,78 + 0,50$$

$$S_e = 18,94 \text{ mm}$$

5) Penurunan Elastik oleh Tiang Grup dapat dilihat pada gambar 5.34.



Gambar 5. 33 Dimensi Pilecap pada Perhitungan Penurunan Tiang Metode Luciano Decourt D60

$$S_{e(g)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}} S_e$$

$$S_{e(g)} = \sqrt{\frac{3,3}{0,60}} \times 18,94$$

$$S_{e(g)} = 44,42 \text{ mm}$$

Berdasarkan penurunan yang terjadi pada pondasi tiang grup yaitu sebesar 44,42 mm.

4. *Elastic Settlement* dari Luciano Decourt (80 cm)

a. Data awal

$$Q_{wp} = 703,72 \text{ kN}$$

$$Q_{ws} = 266,13 \text{ kN}$$

$$F'_c = 52 \text{ Mpa}$$

$$E_p = 33892182 \text{ kN/m}^2$$

$$E_s = 35245,32 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,35$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$D = 80 \text{ cm (Bentuk tiang bulat)}$$

$$A_p = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \pi (0,8)^2$$

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

$$P = \pi D$$

$$P = \pi \times 0,8$$

$$P = 2,51 \text{ m}$$

$$q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p}$$

$$q_{wp} = \frac{703,72}{0,502}$$

$$q_{wp} = 1.400 \text{ kN/m}^2$$

$$B_g = 6,4 \text{ m (dari dimensi pilecap, pada gambar 5.28)}$$

b. *Elastic Settlement* (Penurunan Elastik)

Penurunan yang terjadi akibat beban vertikal yang bekerja pada pondasi tiang dirumuskan sebagai berikut.

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

1) Penurunan elastik tiang $S_{e(1)}$

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

$$S_{e(1)} = \frac{(703,72 + (0,62 \times 266,13)) \times 12}{0,502 \times 33892192}$$

$$S_{e(1)} = 0,61 \text{ mm}$$

2) Penurunan disebabkan oleh beban pada ujung tiang ($S_{e(2)}$)

$$S_{e(2)} = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp}$$

$$S_{e(2)} = \frac{1400 \times 0,8}{35245,32} (1 - 0,35^2) \times 0,85$$

$$S_{e(2)} = 23,70 \text{ mm}$$

3) Penurunan disebabkan oleh beban sepanjang selimut tiang ($S_{e(3)}$)

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{pL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$S_{e(3)} = \left(\frac{266,13}{2,51 \times 12} \right) \frac{0,8}{35245,32} (1 - 0,35^2) \times 3,36$$

$$S_{e(3)} = 0,59 \text{ mm}$$

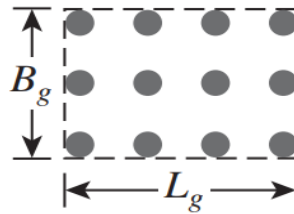
4) Penurunan elastik total yang terjadi pada pondasi tiang tersebut yaitu

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

$$S_e = 0,61 + 23,70 + 0,59$$

$$S_e = 24,90 \text{ mm}$$

5) Penurunan Elastik oleh Tiang Grup dapat dilihat pada gambar 5.35.



Gambar 5. 34 Dimensi Pilecap pada Perhitungan Penurunan Tiang Metode Luciano Decourt D80

$$S_{e(g)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}} S_e$$

$$S_{e(g)} = \sqrt{\frac{6,4}{0,80}} \times 24,90$$

$$S_{e(g)} = 70,43 \text{ mm}$$

Berdasarkan penurunan yang terjadi pada pondasi tiang grup yaitu sebesar 70,43 mm.

5. *Elastic Settlement* dari Reese and Wright (60 cm)

a. Data awal

$$Q_{wp} = 77,66 \text{ kN}$$

$$Q_{ws} = 184,86 \text{ kN}$$

$$F'_c = 52 \text{ Mpa}$$

$$E_p = 33892182 \text{ kN/m}^2$$

$$E_s = 35245,32 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_s = 0,35$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$D = 60 \text{ cm (Bentuk tiang bulat)}$$

$$A_p = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \pi (0,6)^2$$

$$A_p = 0,282 \text{ m}^2$$

$$P = \pi D$$

$$P = \pi \times 0,6$$

$$P = 1,88 \text{ m}$$

$$q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p}$$

$$q_{wp} = \frac{77,66}{0,282}$$

$$q_{wp} = 274,68 \text{ kN/m}^2$$

$$B_g = 6,9 \text{ m (dari dimensi pilecap, pada gambar 5.30)}$$

b. *Elastic Settlement* (Penurunan Elastik)

Penurunan yang terjadi akibat beban vertikal yang bekerja pada pondasi tiang dirumuskan sebagai berikut.

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

1) Penurunan elastik tiang $S_{e(1)}$

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

$$S_{e(1)} = \frac{(77,66 + (0,62 \times 184,86)) \times 12}{0,282 \times 33892192}$$

$$S_{e(1)} = 0,24 \text{ mm}$$

2) Penurunan disebabkan oleh beban pada ujung tiang ($S_{e(2)}$)

$$S_{e(2)} = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp}$$

$$S_{e(2)} = \frac{274,68 \times 0,6}{35245,32} (1 - 0,35^2) \times 0,85$$

$$S_{e(2)} = 3,49 \text{ mm}$$

3) Penurunan disebabkan oleh beban sepanjang selimut tiang ($S_{e(3)}$)

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{pL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$S_{e(3)} = \left(\frac{184,86}{1,88 \times 12} \right) \frac{0,6}{35245,32} (1 - 0,35^2) \times 3,57$$

$$S_{e(3)} = 0,44 \text{ mm}$$

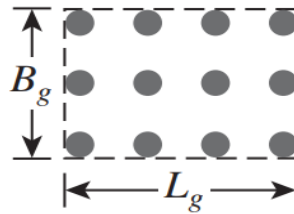
4) Penurunan elastik total yang terjadi pada pondasi tiang tersebut yaitu

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

$$S_e = 0,24 + 3,49 + 0,44$$

$$S_e = 4,160 \text{ mm}$$

5) Penurunan Elastik oleh Tiang Grup dapat dilihat pada gambar 3.36.



Gambar 5. 35 Dimensi Pilecap pada Perhitungan Penurunan Tiang Metode Reese and Wright D60

$$\begin{aligned}
 S_{e(g)} &= \sqrt{\frac{B_g}{D}} S_e \\
 S_{e(g)} &= \sqrt{\frac{6,9}{0,60}} \times 4,160 \\
 S_{e(g)} &= 14,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan penurunan yang terjadi pada pondasi tiang grup yaitu sebesar 14,11 mm.

6. *Elastic Settlement* dari Reese and Wright (80 cm)

a. Data awal

$$\begin{aligned}
 Q_{wp} &= 133,75 \text{ kN} \\
 Q_{ws} &= 229,90 \text{ kN} \\
 F'_c &= 52 \text{ Mpa} \\
 E_p &= 33892182 \text{ kN/m}^2 \\
 E_s &= 35245,32 \text{ kN/m}^2 \\
 \mu_s &= 0,35 \\
 L &= 12 \text{ m} \\
 D &= 80 \text{ cm (Bentuk tiang bulat)} \\
 A_p &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\
 A_p &= \frac{1}{4} \pi (0,8)^2 \\
 A_p &= 0,502 \text{ m}^2 \\
 P &= \pi D \\
 P &= \pi \times 0,8 \\
 P &= 2,51 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p}$$

$$q_{wp} = \frac{133,75}{0,502}$$

$$q_{wp} = 266,096 \text{ kN/m}^2$$

$$B_g = 9,2 \text{ m (dari dimensi pilecap, pada gambar 5.31)}$$

b. *Elastic Settlement* (Penurunan Elastik)

Penurunan yang terjadi akibat beban vertikal yang bekerja pada pondasi tiang dirumuskan sebagai berikut.

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

1) Penurunan elastik tiang $S_{e(1)}$

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

$$S_{e(1)} = \frac{(133,75 + (0,62 \times 229,90)) \times 12}{0,502 \times 33892192}$$

$$S_{e(1)} = 0,19 \text{ mm}$$

2) Penurunan disebabkan oleh beban pada ujung tiang ($S_{e(2)}$)

$$S_{e(2)} = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp}$$

$$S_{e(2)} = \frac{266,09 \times 0,8}{35245,32} (1 - 0,35^2) \times 0,85$$

$$S_{e(2)} = 4,50 \text{ mm}$$

3) Penurunan disebabkan oleh beban sepanjang selimut tiang ($S_{e(3)}$)

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{pL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws}$$

$$S_{e(3)} = \left(\frac{229,90}{2,51 \times 12} \right) \frac{0,8}{35245,32} (1 - 0,35^2) \times 3,36$$

$$S_{e(3)} = 0,51 \text{ mm}$$

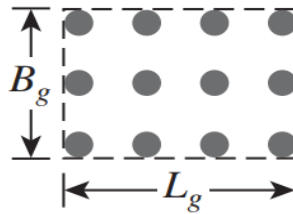
4) Penurunan elastik total yang terjadi pada pondasi tiang tersebut yaitu

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

$$S_e = 0,19 + 4,50 + 0,51$$

$$S_e = 5,21 \text{ mm}$$

5) Penurunan Elastik oleh tiang grup dapat dilihat pada Gambar 5.37 berikut.



Gambar 5. 36 Dimensi Pilecap pada Perhitungan Penurunan Tiang Metode Reese and Wright D80

$$\begin{aligned}
 S_{e(g)} &= \sqrt{\frac{B_g}{D}} S_e \\
 S_{e(g)} &= \sqrt{\frac{9,2}{0,80}} \times 5,21 \\
 S_{e(g)} &= 17,67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan penurunan yang terjadi pada pondasi tiang grup yaitu sebesar 17,67 mm.

5.6 Pembahasan

5.6.1 Perbandingan Daya Dukung

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode Mayerhof, Reese and Wright, dan Luciano Decourt dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut.

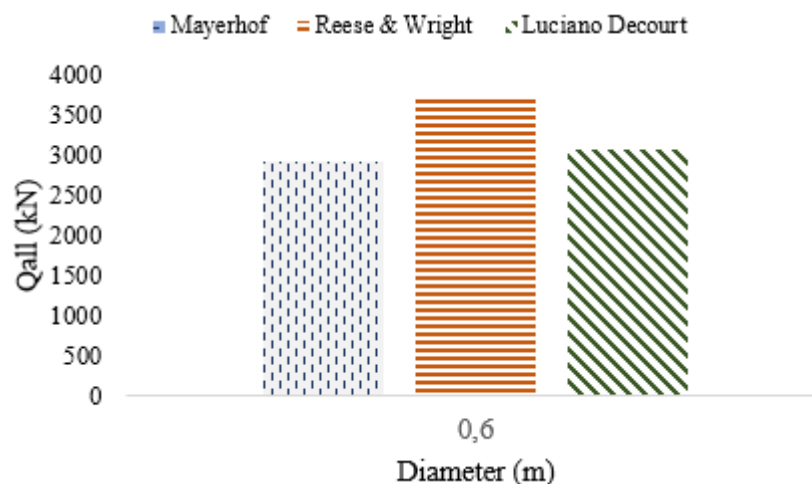
Tabel 5. 15 Perbandingan Daya Dukung

Metode	d (m)	Pu (kN)	Qp (kN)	Qs (kN)	Qu (kN)	Qall (kN)	Qg (kN)
Mayerhof	0,6	16548,88	4437,939	1392,278	5830,218	2915,109	17490,65
	0,8	16548,88	7643,117	1718,619	9361,737	3744,695	17075,81
Reese & Wright	0,6	16548,88	776,639	1848,647	2625,287	1312,643	18377,01
	0,8	16548,88	1337,545	2298,987	3636,532	1818,266	17819,01
Luciano Decourt	0,6	16548,88	3958,406	2140,472	6098,879	3049,439	18296,64
	0,8	16548,88	7037,167	2661,278	9698,446	4849,223	19275,66

Dari hasil menggunakan metode Meyerhoff, Reese & Wright, dan Luciano Decourt pada diameter 0,6 m dan 0,8 m diperoleh hasil secara keseluruhan memiliki nilai aman karena nilai daya dukung kelompok (Qg) lebih besar daripada beban ultimit (Pu). Dari hasil perbandingan daya dukung, dapat dilihat bahwa nilai terbesar berada pada metode perhitungan Luciano Decourt dengan diameter 0,8 m dengan daya dukung kelompok yaitu sebesar 19396,89 kN sedangkan nilai daya

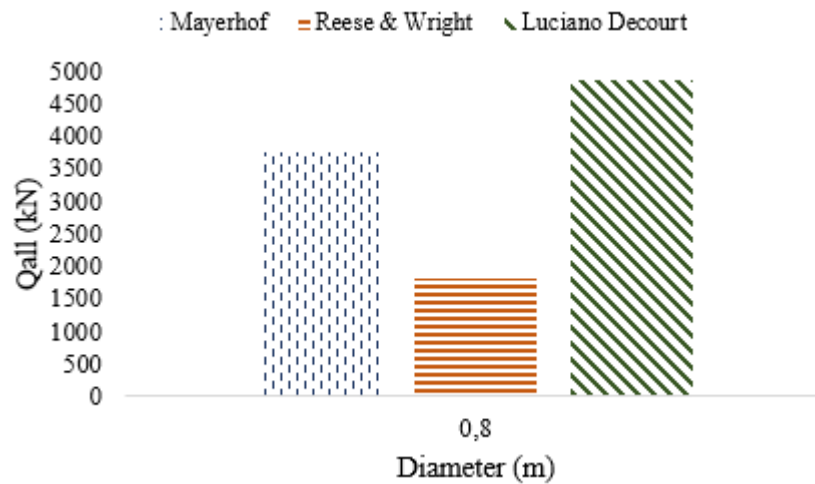
dukung kelompok terkecil ada pada perhitungan Meyerhoff dengan diameter 0,8 m dengan besar daya dukung yaitu 17075,81 kN.

Perbandingan daya dukung ijin tiang tunggal diameter 60 cm yang paling terkecil adalah metode Reese & Wright sebesar 131,2643 ton. Kemudian Meyerhoff sebesar 291,51 ton dan yang terbesar adalah metode Luciano Decourt yaitu 304,94 ton. Sedangkan pada diameter 80 cm yang paling terkecil adalah metode Reese & Wright sebesar 181,826 ton. Kemudian Meyerhoff sebesar 374,469 ton dan yang terbesar adalah metode Luciano Decourt yaitu 484,922 ton. Hasil perbandingan diameter melalui ketiga metode secara terpisah dijabarkan melalui gambar 5.38 dan 5.39.



Gambar 5. 37 Perbandingan Daya Dukung Ijin Diameter 0,6 m

Dari hasil perbandingan dihasilkan bahwa nilai daya dukung terbesar pada diameter 0,8 m berada pada metode Luciano Decort dengan besar 4849,2 kN sedangkan nilai daya dukung terkecil dengan diameter 0,6 m berada pada metode Reese and Wright yaitu sebesar 1312,6 kN.



Gambar 5. 38 Perbandingan Daya Dukung Izin Diameter 0,8 m

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh pada perbandingan daya dukung diameter 0,8 m maka nilai tertinggi yaitu ada pada metode Luciano Decourt dengan besar nilai 4849,223 kN sedangkan nilai terkecil adalah pada metode Reese and Wright 1818,266 kN.

5.6.2 Perbandingan Penurunan

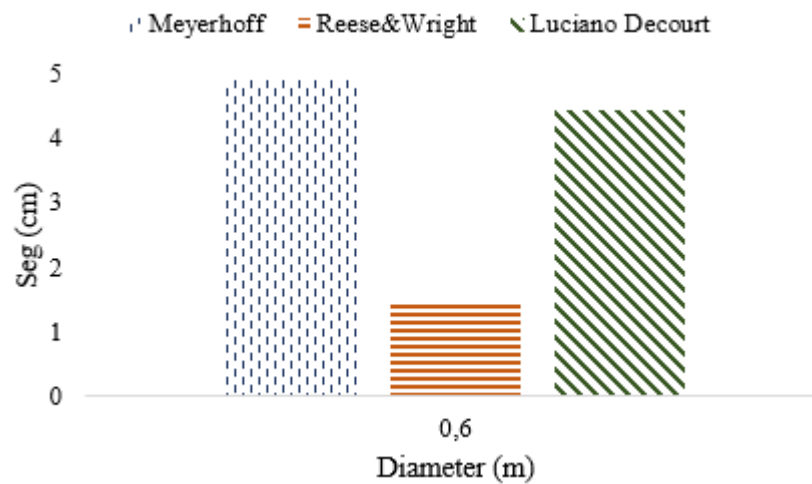
Perbandingan penurunan tiang yang terjadi melalui ketiga metode yaitu metode Mayerhof, Reese and Wright, dan Luciano Decourt pada diameter 0,6 m dan 0,8 m dapat dilihat melalui Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5. 16 Perbandingan Penurunan Tiang

Metode	d (m)	Se (cm)	Seg (cm)
Meyerhoff	0,6	2,092	4,910
	0,8	2,674	6,271
Reese&Wright	0,6	0,416	1,411
	0,8	0,521	1,767
Luciano Decourt	0,6	1,894	4,442
	0,8	2,490	7,043

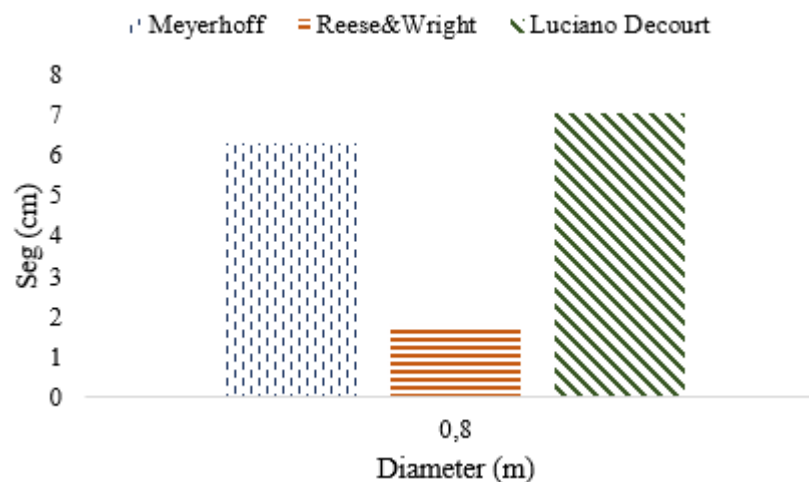
Berdasarkan hasil yang diperoleh secara keseluruhan nilai penurunan tiang secara satuan yang paling besar terdapat pada metode Meyerhoff yaitu sebesar

2,674 cm sedangkan penurunan tiang secara satuan yang paling kecil ada pada metode Reese and Wright dengan diameter 0,6 m yaitu sebesar 0,416. Penjelasan mengenai penurunan tiang khusus diameter 0,6 dan khusus diameter 0,8 cm dijelaskan pada gambar 5.40 dan 5.41.



Gambar 5. 39 Perbandingan Penurunan Kelompok Tiang 0,6 m

Dari grafik perbandingan berikut, Penurunan kelompok tiang terbesar berada pada Meyerhoff dengan diameter 0,6 m dengan penurunan sebesar 4,91 cm, sedangkan penurunan terkecil berada pada metode Reese and Wright yaitu sebesar 1,411 cm.



Gambar 5. 40 Perbandingan Penurunan Kelompok Tiang Diameter 0,8 m

Perbandingan penurunan tiang terbesar pada diameter tiang 0,8 m berada pada metode Luciano Decourt dengan besar 7,043 cm sedangkan penurunan tiang kelompok terkecil berada pada metode Reese and Wright dengan besar 1,767 cm.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan pada bab sebelumnya terdapat beberapa kesimpulan diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Kapasitas dukung ultimit (Q_u) metode Meyerhoff diameter 0,6 m, 0,8 m berturut-turut sebesar 5830,22 kN, 9361,74 kN, metode Luciano Decourt dengan diameter 0,6 m, 0,8 m berturut-turut sebesar 6098,88 kN, 9698,45 kN, dan Reese&Wright dengan diameter 0,6 m, 0,8 m berturut-turut sebesar 2625,29 kN dan 3636,53 kN.
2. Kapasitas dukung kelompok (Q_g) metode Meyerhoff diameter 0,6 m, 0,8 m berturut-turut sebesar 17257,45 kN, 17075,81 kN, metode Luciano Decourt dengan diameter 0,6 m, 0,8 m berturut-turut sebesar 18052,68 kN, 19396,89 kN, dan Reese&Wright dengan diameter 0,6 m, 0,8 m berturut-turut sebesar 17851,95 kN dan 17564,45 kN. Nilai Q_g pada tiap metode lebih besar dari nilai $P = 16548,88$ kN sehingga pondasi aman digunakan.
3. Perbandingan daya dukung ijin tiang tunggal diameter 60 cm yang paling terkecil adalah metode Reese & Wright sebesar 131,2643 ton. Kemudian Meyerhoff sebesar 291,51 ton dan yang terbesar adalah metode Luciano Decourt yaitu 304,94 ton. Sedangkan pada diameter 80 cm yang paling terkecil adalah metode Reese & Wright sebesar 181,826 ton. Kemudian Meyerhoff sebesar 374,469 ton dan yang terbesar adalah metode Luciano Decourt yaitu 484,922 ton.
4. Penurunan tiang kelompok yang terjadi pada Tiang Bor metode Meyerhoff diameter 0,6 m, 0,8 m berturut-turut sebesar 4,91 cm, 6,271 cm, metode Luciano Decourt dengan diameter 0,6 m, 0,8 m berturut-turut

sebesar 4,442 cm, 7,043 cm, dan Reese&Wright dengan diameter 0,6 m, 0,8 m berturut-turut sebesar 1,411 cm dan 1,767 cm.

6.2 Saran

Dengan mempertimbangkan hal yang sudah dibahas sebelumnya, maka diharapkan hasil yang lebih optimal dalam melaksanakan perencanaan pondasi tiang maka perlu dilakukan analisis lebih lanjut yaitu sebagai berikut.

1. Melakukan analisa dan membandingkan menggunakan variasi software lain selain SAP2000, contohnya Allpile, Plaxis, Afes dan Pilegroup. Sehingga dapat diperoleh hasil perhitungan yang akan mendekati nilai yang sama.
2. Perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang dipengaruhi oleh nilai efisiensi dan jarak antar tiang. Namun, pada praktiknya, terdapat faktor lain seperti ketersediaan lahan, sehingga diameter tiang, jarak antar tiang dan dimensi *pile cap* mesti disesuaikan agar lahan yang digunakan cukup dan pondasi aman digunakan.
3. Penurunan pada pondasi tiang tunggal dan kelompok tiang dipengaruhi oleh jenis tanah, sehingga metode perhitungan penurunan akan berbeda bila jenis tanah berbeda dengan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E., & PE, S. E. 1997. Analisis Dan Desain Pondasi Edisi Keempat. *Jakarta: Erlangga.*
- Braja, M. (n.d.). *Das 1941, geotechnical engineering handbook*. Ross publishing.
- Das, B. M., & Omar, M. T. 1994. The effects of foundation width on model tests for the bearing capacity of sand with geogrid reinforcement. *Geotechnical & Geological Engineering*, 12, 133–141.
- Decourt, L. 1989. Discussion of “Concrete Pile Design in Tidewater Virginia” by Ray E. Martin, James J. Seli, Graydon W. Powell, and Michael Bertoulin (June, 1987, Vol. 113, No. 6). *Journal of Geotechnical Engineering*, 115(10), 1499–1500.
- Dirgananta, Muh. Fahri, 2018. *Perencanaan Ulang Pondasi Tiang Bor Dengan Variasi Diameter Menggunakan Metode Meyerhoff, Aoki De Alencar Pada Gedung RS UII*. Tugas Akhir, (Tidak Diterbitkan), Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Earthwork Series-Fill Placement AT-TC3CN025-18-T1-JA03 1 Unified Soil Classification System (USCS) Guide*. 2018.
- Hardiyatmo, H. C. 1992. Mekanika Tanah I, PT. *Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.*
- Hardiyatmo, H. C. 2002. Mekanika Tanah 1, edisi ke-2. *Beta Offset, Yogyakarta.*
- Hardiyatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah 1*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.

- Hardiyatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah 2*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2015. *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Haq, Dhiya'ul. 2018. Pengaruh Variasi Dimensi Terhadap Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor Kelompok Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga Pada Gedung Kuliah Twin Building UMY. *Tugas Akhir*, (Tidak Diterbitkan), Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Hudoyo, B.D., 2017. Analisis Kapsitas Dukung dan Penurunan Tiang Bor Pada Proyek Apartemen Vivo Yogyakarta, *Tugas Akhir*, (Tidak Diterbitkan), Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Indonesia, S. N. 2013. SNI 03-1727-2013. *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain*.
- Meyerhof, G. G. 1976. Bearing capacity and settlement of pile foundations. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 102(3), 197–228.
- Mutiarasella, N. 2022. Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Bor Pada Gedung Masjid Hajjah Yuliana . *Tugas Akhir*, (Tidak Diterbitkan), Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Mz. I.H., 2018. Perencanaan Ulang Struktur Bawah dengan Pondasi Bored Pile Pada Gedung White Hotel Sedan Yogyakarta. *Tugas Akhir*, (Tidak Diterbitkan), Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Nasional, B. S. (n.d.). SKBI 1.3. 53.1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung (in Indonesian)*, 10.
- Nurmawaty, N. 2017. Perencanaan Ulang Struktur Bawah dengan Pondasi Bored Pile. *Tugas Akhir*, (Tidak Diterbitkan), Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung Badan Standardisasi Nasional.

2013. www.bsn.go.id

Reese, L. C., Wright, S. J., & Allen, J. D. (1977). *Drilled Shaft Design and Construction Guidelines Manual: Reese, LC, and Allen, JD, Structural analysis and design for lateral loading* (Vol. 2). Department of Transportation, Federal Highway Administration, Offices of

Sardjono, H. S. 1998. *The foundation piles, vol 2, publisher Sinar Jaya Wijaya*. Surabaya.

SKBI 1.3.53.1987. *Tentang Pendoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*. Yayasan Badan Penerbit PU. Jakarta.

SNI 1727- 2013. *Tentang Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta

SNI 1726-2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta

SNI 8460-2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Uji Laboratorium

PROJECT : APARTEMEN
LOCATION : JL. SINABUNG, KEBAYORAN BARU -
JAKARTA SELATAN



KETIRA CONSULTANT

SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULT

Sample No.				
Bore Hole No.			DB 1	
Sample Depth			1.50 - 2.00	
Gradiation	Gravel	%		
	sand	%	1.45	
	Silt	%	48.35	
	Clay	%	50.20	
Liquid Limit		%	92.00	
Plastic Limit		%	37.72	
Plasticity Indeks		%	54.28	
Shrinkage Limit		%		
Specific Gravity			2.806	
Dry Density		t/m ³	0.899	
Coefficient of Permeability		cm/sec		
Natural State	Water Content	%	63.81	
	Wet Density	t/m ³	1.472	
	Void Ratio		1.899	
	Porosity		0.655	
	Degree of Saturation	%	87.57	
unc. Comp.	Compressive strength	kg/cm ²		
	Sensitivity			
Triaxial	Cohesion	kg/cm ²	0.16	
	Cohesion eff.	kg/cm ²	0.16	
	Angle of internal friction	in °	4.0	
	Angle of internal friction eff.	in °	4.0	
D.S.	Cohesion	kg/cm ²		
	Angle of internal friction	in °		
C.C.	Coeff. of consolidation	cm ² /sec	4.805 x 10 ⁻⁵	
	Compression index		0.74	
Comp action	Optimum Moisture Content	%		
	Max. Dry Density	t/m ³		
	Sample condition	%		
	Test condition	t/m ³		
CBR	Water Content	%		
	Dry Density			
	CBR			

PROJECT : APARTEMEN
 LOCATION : JL. BINABUNG, KEBAYORAN BARU -
 JAKARTA SELATAN



KETIRA CONSULTANT

SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULT

Sample No.				
Bore Hole No.			DB 2	
Sample Depth			1.50 - 2.00	
Gradation	Gravel	%		
	sand	%	1.39	
	Silt	%	49.11	
	Clay	%	49.50	
Liquid Limit		%	85.20	
Plastic Limit		%	38.46	
Plasticity Indeks		%	56.74	
Shrinkage Limit		%		
Specific Gravity			2.608	
Dry Density		t/m ³	0.829	
Coefficient of Permeability		cm/sec		
Natural State	Water Content	%	74.63	
	Wet Density	t/m ³	1.448	
	Void Ratio		2.146	
	Porosity		0.882	
unc. Comp.	Degree of Saturation	%	90.70	
	Compressive strength	kg/cm ²		
	Sensitivity			
Triaxial	Cohesion	kg/cm ²	0.12	
	Cohesion eff.	kg/cm ²	0.12	
	Angle of internal friction	in °	3.0	
	Angle of internal friction eff.	in °	3.0	
D.S	Cohesion	kg/cm ²		
	Angle of internal friction	in °		
C.C	Coeff. of consolidation	cm ² /sec	4.537 x 10 ⁻⁴	
	Compression index		0.82	
Compaction	Optimum Moisture Content	%		
	Max Dry Density	t/m ³		
	Sample condition	%		
CBR	Test condition	t/m ³		
	Water Content	%		
	Dry Density			
	CBR			

Lampiran 2 Data Pembebanan

Story	Label	Unique Name	Output Case	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Lt. LANSER 25	14	ENVELOPE	197.5488	676.8951	16548.82	40.4393	138.4928	0.5393	
Lt. LANSER 61	4414	ENVELOPE	216.9224	-420.189	14035.83	-37.3953	-158.576	-0.3273	
Lt. LANSER 25	14	ENVELOPE	151.2913	459.8434	11425.18	34.6622	106.2404	0.3986	
Lt. LANSER 17	9	ENVELOPE	-56.6275	56.7395	11049.29	-27.1646	-42.7846	0.2758	
Lt. LANSER 160	4422	ENVELOPE	-11.2286	1005.708	10616.18	-15.077	-10.7857	0.2262	
Lt. LANSER 112	48	ENVELOPE	10.7007	3.6634	10350.49	-4.6199	7.0925	0.2758	
Lt. LANSER 11	3	ENVELOPE	0.5865	-75.9045	10348.6	34.5342	-4.6075	0.2758	
Lt. LANSER 18	10	ENVELOPE	0.1487	73.1735	10267.62	-38.2862	-3.7097	0.2758	
Lt. LANSER 111	47	ENVELOPE	3.1377	0.2199	10230	0.1877	2.0421	0.2758	
Lt. LANSER 158	4421	ENVELOPE	-10.8555	-638.351	10218.73	-16.8367	-10.5911	-0.2427	
Lt. LANSER 170	4423	ENVELOPE	4.4638	1151.835	10185.44	-14.9408	0.4265	0.2262	
Lt. LANSER 14	6	ENVELOPE	-3.8255	-70.1245	9969.996	41.1237	-7.6006	0.2758	
Lt. LANSER 117	53	ENVELOPE	-1.7883	43.6675	9960.187	-34.6351	-1.5002	0.2758	
Lt. LANSER 168	4424	ENVELOPE	-17.6997	-723.532	9729.81	-18.827	-14.879	-0.2314	
Lt. LANSER 21	13	ENVELOPE	4.2607	78.5886	9717.204	-42.5164	-1.3439	0.2758	
Lt. LANSER 61	4414	ENVELOPE	170.8206	-619.462	9697.668	-43.619	125.1371	-0.4394	
Lt. LANSER 138	4418	ENVELOPE	7.0146	1111.342	9682.666	16.6113	2.9389	0.2262	
Lt. LANSER 131	4417	ENVELOPE	-2.9556	-734.237	9645.434	-10.8566	-3.7746	-0.2296	
Lt. LANSER 151	4420	ENVELOPE	-8.0065	1109.079	9589.33	-3.4959	-8.151	0.2262	
Lt. LANSER 10	2	ENVELOPE	-38.6455	-74.1684	9417.524	36.7728	-31.6799	0.2758	
Lt. LANSER 152	4419	ENVELOPE	-18.579	-711.372	9387.502	-13.0673	-15.7065	-0.2296	
Lt. LANSER 48	25	ENVELOPE	56.8129	-31.4333	9264.814	6.6176	37.3672	0.2758	
Lt. LANSER 113	49	ENVELOPE	-20.2062	50.7284	9206.883	-29.0702	-14.2369	0.2758	
Lt. LANSER 134	131	ENVELOPE	-96.2109	59.8782	9098.849	-34.7593	-68.1798	0.2758	
Lt. LANSER 89	43	ENVELOPE	79.738	41.5033	8977.687	-34.8472	50.3059	0.2758	
Lt. LANSER 31	17	ENVELOPE	22.7127	70.0867	8969.279	-24.2582	14.7676	0.2376	
Lt. LANSER 36	20	ENVELOPE	-13.1209	-29.069	8654.654	16.9061	-10.7201	0.2758	
Lt. LANSER 116	52	ENVELOPE	-0.3477	1.9451	8654.577	-11.7284	-0.4691	0.2758	
Lt. LANSER 33	19	ENVELOPE	-2.397	2.5331	8631.15	1.7376	-2.0087	0.2758	
Lt. LANSER 87	40	ENVELOPE	-35.351	68.5728	8550.452	-35.2705	-28.0712	0.2758	
Lt. LANSER 15	7	ENVELOPE	-19.6468	-61.3842	8487.363	30.0035	-18.5416	0.2758	
Lt. LANSER 32	18	ENVELOPE	11.849	-30.1069	8141.809	21.975	6.1292	0.2758	
Lt. LANSER 12	4	ENVELOPE	-54.2503	-47.4875	7846.005	28.6234	-42.4712	0.2758	
Lt. LANSER 13	5	ENVELOPE	44.0893	-46.9751	7798.211	26.187	23.79	0.2758	
Lt. LANSER 19	11	ENVELOPE	-40.9321	54.2579	7783.722	-32.2039	-31.9307	0.2758	
Lt. LANSER 17	9	ENVELOPE	-70.7465	45.46	7776.249	-33.8023	-53.7595	0.1969	
Lt. LANSER 114	50	ENVELOPE	8.3711	45.18	7740.416	-28.4617	5.6613	0.2758	
Lt. LANSER 38	21	ENVELOPE	-15.8371	-12.7375	7729.661	2.7731	-12.5985	0.2758	
Lt. LANSER 49	26	ENVELOPE	-3.1943	6.0515	7711.781	-19.0403	-2.56	0.2758	
Lt. LANSER 190	4426	ENVELOPE	37.6011	1409.68	7695.441	-1.1441	29.9967	0.2262	
Lt. LANSER 11	3	ENVELOPE	-1.738	-97.6283	7622.833	42.5691	-7.9013	0.1969	
Lt. LANSER 16	8	ENVELOPE	6.5107	-58.7569	7595.807	24.2898	-1.5241	0.2758	
Lt. LANSER 111	47	ENVELOPE	1.7707	-0.3075	7558.083	-0.0249	0.961	0.1969	
Lt. LANSER 112	48	ENVELOPE	9.0069	2.5293	7539.481	-6.4415	6.0793	0.1969	
Lt. LANSER 115	51	ENVELOPE	-9.5279	6.3203	7506.096	-11.6682	-6.8524	0.2758	

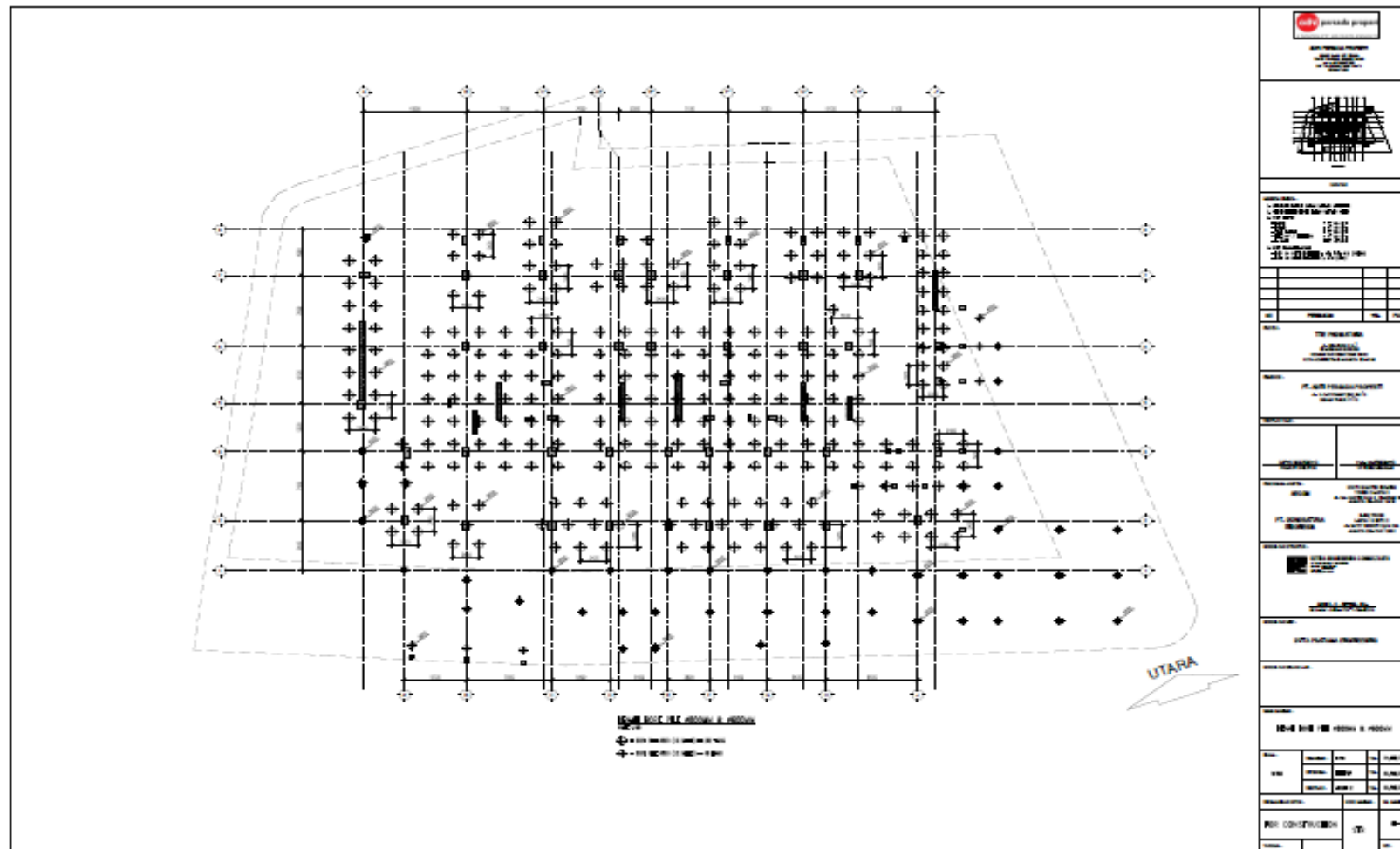
Lampiran 2 Lanjutan Data Pembebanan

Story	Label	Unique Name	Output Case	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Lt. LANSER	189	4425	ENVELOPE	78.5299	-900.585	7480.027	-19.0911	56.283	-0.21
Lt. LANSER	117	53	ENVELOPE	-2.2359	36.0128	7430.97	-34.3628	-1.7502	0.1969
Lt. LANSER	20	12	ENVELOPE	33.5559	57.1749	7372.139	-34.3124	18.3694	0.2758
Lt. LANSER	14	6	ENVELOPE	-5.0908	-90.9755	7338.968	32.3794	-10.2199	0.1969
Lt. LANSER	41	24	ENVELOPE	3.956	-54.1381	7270.033	24.9295	0.6708	0.2758
Lt. LANSER	160	4422	ENVELOPE	-14.4775	685.8738	7234.277	-20.953	-13.9265	0.1751
Lt. LANSER	119	4428	ENVELOPE	-40.438	796.5584	7100.354	-29.3098	-34.8172	0.4491
Lt. LANSER	18	10	ENVELOPE	-0.1433	59.3901	7052.012	-37.541	-4.733	0.1969
Lt. LANSER	10	2	ENVELOPE	-47.7597	-94.8194	7039.978	34.3281	-39.7269	0.1969
Lt. LANSER	158	4421	ENVELOPE	-12.7866	-942.978	6949.98	-21.3915	-12.7977	-0.3209
Lt. LANSER	170	4423	ENVELOPE	2.6548	775.3791	6852.706	-20.2421	-0.3008	0.1751
Lt. LANSER	113	49	ENVELOPE	-26.1716	39.8828	6705.513	-37.548	-18.2263	0.1969
Lt. LANSER	134	131	ENVELOPE	-119.734	46.0661	6694.785	-39.8164	-84.865	0.1969
Lt. LANSER	21	13	ENVELOPE	3.2981	63.5646	6678.061	-30.2117	-1.8894	0.1969
Lt. LANSER	39	22	ENVELOPE	-5.9966	-8.4132	6631.982	-2.3344	-5.7934	0.2758
Lt. LANSER	40	23	ENVELOPE	-8.2288	-31.4783	6541.128	11.6119	-7.337	0.2758
Lt. LANSER	168	4424	ENVELOPE	-22.0971	-1081.15	6526.281	-26.1843	-18.6538	-0.305
Lt. LANSER	33	19	ENVELOPE	-3.2245	1.4953	6511.671	1.3549	-2.4801	0.1969
Lt. LANSER	48	25	ENVELOPE	48.6968	-36.9893	6489.495	3.8395	32.0291	0.1969
Lt. LANSER	138	4418	ENVELOPE	5.8511	737.2067	6447.45	13.2473	2.5191	0.1751
Lt. LANSER	31	17	ENVELOPE	16.6069	53.8355	6441.654	-31.0877	10.701	0.1696
Lt. LANSER	23	4427	ENVELOPE	-64.8435	-523.499	6433.991	-13.9126	-52.3612	-0.3908
Lt. LANSER	131	4417	ENVELOPE	-4.1523	-1105.97	6418.285	-13.7512	-5.1634	-0.3026
Lt. LANSER	116	52	ENVELOPE	-0.4937	1.2421	6398.811	-16.4493	-0.5879	0.1969
Lt. LANSER	151	4420	ENVELOPE	-10.0216	732.0464	6334.466	-4.7185	-10.324	0.1751
Lt. LANSER	15	7	ENVELOPE	-27.2108	-78.8307	6321.007	24.3988	-25.5167	0.1969
Lt. LANSER	89	43	ENVELOPE	61.1061	35.0165	6317.323	-34.2005	38.6324	0.1969
Lt. LANSER	128	4416	ENVELOPE	-7.3016	1186.113	6202.825	4.7097	-6.3749	0.2009
Lt. LANSER	125	4415	ENVELOPE	-4.9314	-780.782	6197.896	-7.8505	-4.8149	-0.1901
Lt. LANSER	152	4419	ENVELOPE	-24.256	-1082.12	6189.189	-16.8825	-20.4965	-0.3026
Lt. LANSER	12	4	ENVELOPE	-66.828	-60.7345	5913.209	22.8292	-52.9134	0.1969
Lt. LANSER	87	40	ENVELOPE	-45.7288	55.193	5902.298	-38.0882	-36.4589	0.1969
Lt. LANSER	49	26	ENVELOPE	-4.8046	4.3159	5897.822	-26.5724	-3.5728	0.1969
Lt. LANSER	36	20	ENVELOPE	-15.3077	-35.4041	5882.485	14.2639	-12.5068	0.1969
Lt. LANSER	13	5	ENVELOPE	36.2984	-59.4273	5871.998	21.3413	20.1465	0.1969
Lt. LANSER	132	130	ENVELOPE	-93.435	-46.7164	5780.525	12.4713	-67.5802	0.2758
Lt. LANSER	114	50	ENVELOPE	6.1983	35.3055	5730.034	-37.2115	4.0228	0.1969
Lt. LANSER	16	8	ENVELOPE	4.9614	-73.1289	5679.501	20.8198	-2.197	0.1969
Lt. LANSER	124	129	ENVELOPE	-77.3463	8.5285	5626.185	-21.1155	-57.1125	0.2758
Lt. LANSER	32	18	ENVELOPE	9.6494	-36.5924	5593.564	17.9959	5.0264	0.1969
Lt. LANSER	115	51	ENVELOPE	-11.1405	4.7005	5586.676	-16.0846	-7.9945	0.1969
Lt. LANSER	19	11	ENVELOPE	-53.8861	44.5991	5408.805	-40.0987	-42.1	0.1969
Lt. LANSER	190	4426	ENVELOPE	29.014	964.4681	5257.351	-2.368	23.1918	0.1751
Lt. LANSER	38	21	ENVELOPE	-20.5481	-15.8115	5225.952	2.2178	-16.2746	0.1969
Lt. LANSER	20	12	ENVELOPE	26.7465	46.15	5171.586	-43.4971	14.8715	0.1969
Lt. LANSER	119	4428	ENVELOPE	-49.1206	580.9127	5133.361	-39.1525	-42.7262	0.3342
Lt. LANSER	41	24	ENVELOPE	1.8256	-67.044	5107.901	21.3681	-0.4481	0.1969

Lampiran 2 Lanjutan Data Pembebanan

Story	Label	Unique Name	Output Case	F1	F2	F3	M1	M2	M3
				kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Lt. LANSER	189	4425	ENVELOPE	61.1912	-1326.3	5102.794	-25.4712	43.8499	-0.275
Lt. LANSER	133	60	ENVELOPE	25.3172	6.358	4913.085	-3.4753	11.9866	0.085
Lt. LANSER	163	67	ENVELOPE	21.1697	7.9878	4784.627	-5.3797	9.3285	0.085
Lt. LANSER	23	4427	ENVELOPE	-78.8894	-728.64	4662.824	-20.0735	-64.1276	-0.5284
Lt. LANSER	40	23	ENVELOPE	-10.5559	-37.2774	4591.048	9.9531	-9.3647	0.1969
Lt. LANSER	39	22	ENVELOPE	-9.2915	-10.1698	4587.014	-4.1332	-8.4903	0.1969
Lt. LANSER	143	62	ENVELOPE	11.9889	-0.454	4304.773	0.6442	4.5689	0.085
Lt. LANSER	132	130	ENVELOPE	-122.739	-58.4069	4199.963	10.6897	-88.7921	0.1969
Lt. LANSER	128	4416	ENVELOPE	-9.0775	794.5412	4151.917	3.5881	-7.9267	0.157
Lt. LANSER	125	4415	ENVELOPE	-5.7533	-1171.67	4147.502	-9.5371	-5.6173	-0.2473
Lt. LANSER	124	129	ENVELOPE	-102.381	6.5031	4126.561	-29.1286	-75.6359	0.1969
Lt. LANSER	169	73	ENVELOPE	-5.7063	8.068	3735.081	-5.8711	-5.9513	0.085
Lt. LANSER	166	69	ENVELOPE	6.3843	-1.5779	3566.404	0.14	1.0206	0.085
Lt. LANSER	133	60	ENVELOPE	18.9111	4.2935	3312.043	-5.1083	8.9056	0.0607
Lt. LANSER	163	67	ENVELOPE	16.9413	5.8154	3232.747	-7.4077	7.6354	0.0607
Lt. LANSER	143	62	ENVELOPE	8.8392	-1.5574	2920.364	-0.0361	3.2575	0.0607
Lt. LANSER	96	44	ENVELOPE	-31.5354	27.2561	2827.47	-13.7151	-23.8689	0.0399
Lt. LANSER	169	73	ENVELOPE	-7.7505	6.2247	2557.245	-7.7345	-7.9282	0.0607
Lt. LANSER	166	69	ENVELOPE	4.6156	-2.1249	2445.603	0.1175	0.5835	0.0607
Lt. LANSER	9	1	ENVELOPE	145.7835	3.1349	2093.884	1.0974	72.0499	0.2758
Lt. LANSER	140	223	ENVELOPE	-0.3126	0.3518	2055.68	-0.3847	-0.3515	0.0186
Lt. LANSER	167	71	ENVELOPE	-1.4737	15.3077	2046.179	-10.0753	-1.2266	0.0186
Lt. LANSER	96	44	ENVELOPE	-40.6731	21.9492	2036.345	-16.9666	-30.7899	0.0285
Lt. LANSER	53	29	ENVELOPE	0.7736	-36.4123	1970.171	28.4949	-1.0107	0.085
Lt. LANSER	57	33	ENVELOPE	-1.6518	-40.863	1800.986	27.9249	-2.7081	0.085
Lt. LANSER	9	1	ENVELOPE	117.3413	1.8502	1636.972	-0.2259	58.9768	0.1969
Lt. LANSER	54	30	ENVELOPE	-21.559	-39.3784	1607.575	33.4435	-17.3055	0.085
Lt. LANSER	53	29	ENVELOPE	-0.0018	-47.8268	1548.807	21.7448	-2.0345	0.0607
Lt. LANSER	58	34	ENVELOPE	-7.1545	-35.487	1489.404	21.572	-6.7431	0.085
Lt. LANSER	55	31	ENVELOPE	-17.037	-29.0179	1445.061	19.6888	-13.9896	0.085
Lt. LANSER	57	33	ENVELOPE	-2.3377	-53.9039	1437.39	21.4089	-3.7473	0.0607
Lt. LANSER	56	32	ENVELOPE	11.1852	-30.286	1411.573	20.0635	6.4555	0.085
Lt. LANSER	140	223	ENVELOPE	-0.3647	-0.1998	1393.286	-0.6853	-0.4101	0.0133
Lt. LANSER	167	71	ENVELOPE	-1.984	12.4652	1390.45	-12.6363	-1.645	0.0133
Lt. LANSER	54	30	ENVELOPE	-26.4057	-52.7461	1367.911	24.9321	-21.3957	0.0607
Lt. LANSER	59	35	ENVELOPE	-4.9524	-27.2059	1209.845	13.0099	-5.1283	0.085
Lt. LANSER	58	34	ENVELOPE	-9.7758	-46.7257	1204.306	16.7144	-9.2015	0.0607
Lt. LANSER	55	31	ENVELOPE	-20.4273	-36.7736	1148.162	15.7725	-17.012	0.0607
Lt. LANSER	56	32	ENVELOPE	9.5873	-38.5895	1117.371	16.022	5.5333	0.0607
Lt. LANSER	59	35	ENVELOPE	-5.779	-35.2827	981.7292	10.531	-6.2707	0.0607
Lt. LANSER	60	36	ENVELOPE	-1.79	-18.3424	661.5143	15.4827	-2.061	0.0261
Lt. LANSER	52	28	ENVELOPE	40.4824	-5.9729	545.075	6.2874	28.6682	0.0261
Lt. LANSER	60	36	ENVELOPE	-2.8527	-22.8939	540.3015	12.5143	-3.1083	0.0187
Lt. LANSER	52	28	ENVELOPE	33.5621	-8.1476	467.2071	4.599	23.8618	0.0187
Lt. LANSER	26	15	ENVELOPE	26.0652	15.4454	100.1862	-8.1626	18.8411	0.0261
Lt. LANSER	26	15	ENVELOPE	18.9337	11.4306	80.6764	-11.0128	13.6668	0.0187

Lampiran 2 Denah Pondasi Tiang Bor Eksiting



Lampiran 3 Denah Lantai 1 sampai Atap

