

## **TUGAS AKHIR**

# **ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI TIANG BOR PADA GEDUNG MASJID HAJJAH YULIANA *BEARING CAPACITY AND SETTLEMENT ANALYSIS OF BOREPILE FOUNDATION ON THE HAJJAH YULIANA MOSQUE***

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



**Nindy Mutiarasella  
16511134**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2022**

## TUGAS AKHIR

# ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI TIANG BOR PADA GEDUNG MASJID HAJJAH YULIANA *BEARING CAPACITY AND SETTLEMENT ANALYSIS OF BOREPILE FOUNDATION ON THE HAJJAH YULIANA MOSQUE*

Disusun oleh

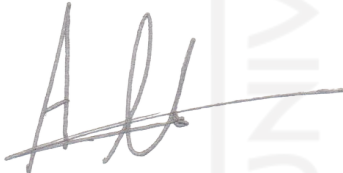
**Nindy Mutiarasella**  
**16511134**

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

Diuji pada tanggal Januari 2022

Oleh Dewan Penguji

**Pembimbing**



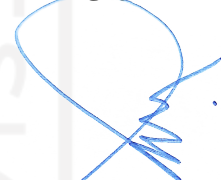
**Ir. Akhmad Marzuko, M.T.**  
**NIK : 885110107**

**Penguji I**



**Edy Purwanto, Dr. Ir., CES., DEA.**  
**NIK : 855110101**

**Penguji II**



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

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



**Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti M.T.**  
**NIK : 885110101**

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Proposal Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Proposal Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabilsa di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Proposal 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-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 23 Januari 2022  
Yang membuat pernyataan,



Nindy Mutiarasella  
(16511134)

## DEDIKASI

### ***Bismillahirrahmanirrahim***

*“Segala perjuangan hingga titik ini saya persembahkan kepada dua orang paling berharga dalam hidup saya. Di kala ujian hidup yang sudah kita hadapi bersama melalui banyak tangis dan rasa sakit tetapi memilih selalu kuat dan terus berjuang sampai akhir. Terimakasih yang tak terhitung untuk surgaku, mama dan papa”*



## KATA PENGANTAR

*Assalamu 'alaikum Wr.Wb*

*Alhamdulillahirabbil 'alamiin*, puji syukur penulis kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini d. Shalawat serta salam selalu terlimpah curahkan kepada nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat serta pengikut beliau hingga *yaumul akhir*.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, dorongan moral dan materil dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sedalam - dalamnya kepada.

1. Bapak Ir. Akhmad Marzuko, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan arahan dan nasihat selama bimbingan sehingga penulis dapat mengerjakan Tugas Akhir ini,
2. Bapak Edy Purwanto, Dr. Ir.,CES., DEA. Dan Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan dan nasihat selama sidang berlangsung,
3. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
4. Keluarga yang telah memberikan dukungan, motivasi, biaya dan doa tiada henti hingga selesainya Tugas Akhir ini,

Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membaca.

*Wassalamu 'alaikum Wr.Wb*

Yogyakarta, Januari 2022

Penulis,

## DAFTAR ISI

<b>JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI</b> .....	iii
<b>DEDIKASI</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>ABSTRAK</b> .....	xiv
<b>ABSTRACT</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	2
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	3
<b>1.4 Batasan Penelitian</b> .....	3
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Umum</b> .....	5
<b>2.2 Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor</b> .....	5
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b> .....	9
<b>3.1 Tanah</b> .....	9
<b>3.1.1 Tinjauan Umum</b> .....	9
<b>3.1.2 Klasifikasi Jenis Tanah</b> .....	9
<b>3.1.3 Batas – batas Atterberg</b> .....	12
<b>3.2 Penyelidikan Tanah</b> .....	14
<b>3.3 Pondasi Tiang Bor (<i>Bored Pile</i>)</b> .....	15
<b>3.4 Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Bor</b> .....	15
<b>3.4.1 Kapasitas Dukung Tiang Tunggal</b> .....	17
<b>3.4.2 Kapasitas Dukung Ijin</b> .....	19
<b>3.4.3 Kapasitas Dukung Tiang Kelompok</b> .....	19
<b>3.4.4 Analisis Distribusi Beban Ke Tiap Tiang Bor</b> .....	22
<b>3.5 Penurunan Pondasi Tiang</b> .....	23

3.5.1	Tiang Tunggal.....	24
3.5.2	Penurunan Kelompok Tiang.....	28
3.5.3	Penurunan yang Diizinkan.....	30
3.6	Pondasi Eksisting Telapak Setempat .....	30
3.6.1	Kapasitas Daya Dukung .....	30
3.6.2	Penurunan.....	33
3.7	Distribusi Beban Gempa.....	37
3.7.1	Analisis Distribusi Beban Gempa .....	37
3.8	Structural Analysis Program (SAP2000).....	41
<b>BAB IV</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>43</b>
4.1	Metode Penelitian .....	43
4.2	Pengumpulan Data .....	43
4.3	Analisis Pembebanan .....	44
4.4	Analisis Pondasi Tiang Bor .....	44
4.5	Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian.....	45
<b>BAB V</b>	<b>ANALISIS PONDASI TIANG BOR.....</b>	<b>48</b>
5.1	Data Gedung Masjid Hajjah Yuliana Madrasah Muhammadiyah Muallimin.....	48
5.1.1	Data Umum Proyek.....	49
5.1.2	Spesifikasi Material.....	49
5.1.3	Denah Konstruksi.....	49
5.1.4	Data Struktur .....	53
5.2	Pembebanan Struktur.....	54
5.2.1	OUTPUT Program SAP2000 .....	59
5.3	Data Karakteristik Tanah .....	61
5.4	Desain Pondasi Tiang Bor.....	62
5.4.1	Kapasitas Dukung Tiang Bor Tunggal .....	63
5.4.2	Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Bor.....	65
5.4.3	Distribusi Beban ke Tiap Kelompok .....	66
5.5	Penurunan Pondasi Tiang Bor.....	68
5.6	Penurunan Yang Diizinkan.....	72
5.7	Pondasi Eksisting .....	72
5.7.1	Kapasitas Dukung .....	73
5.7.2	Penurunan.....	77

<b>5.8 Pembahasan</b> .....	80
<b>5.8.1 Hasil Analisis Struktur Program SAP2000</b> .....	80
<b>5.8.2 Hasil Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Tunggal</b> .....	81
<b>5.8.3 Hasil Analisis Kapasitas Dukung Tiang Bor Kelompok</b> .....	81
<b>5.8.4 Hasil Penurunan Pondasi Tiang Bor</b> .....	81
<b>5.8.5 Hasil Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Eksisting</b> .....	82
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	83
<b>6.1 Kesimpulan</b> .....	83
<b>6.2 Saran</b> .....	83
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	84
<b>LAMPIRAN</b> .....	86





## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang .....	8
<b>Tabel 3. 1</b> Sistem Klasifikasi Tanah USCS .....	11
<b>Tabel 3. 2</b> Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah.....	14
<b>Tabel 3. 3</b> Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Bowles,1977) .....	27
<b>Tabel 3. 4</b> Nilai Indeks Kompresi (Cc) .....	29
<b>Tabel 3. 5</b> Korelasi Nilai $N_\gamma$ , $N_c$ , $N_q$ .....	31
<b>Tabel 3. 6</b> Faktor Pengaruh $I_p$ Untuk Pondasi Kaku (Schleicher,1962) .....	35
<b>Tabel 3. 7</b> Perkiraan Rasio Poison (Bowles,1968) .....	35
<b>Tabel 3. 8</b> Klasifikasi Profil Tanah.....	38
<b>Tabel 3. 9</b> Faktor Keutamaan (I) Untuk Berbagai Kategori Bangunan.....	39
<b>Tabel 5. 1</b> Analisis Beban Mati Pada Lantai .....	55
<b>Tabel 5. 2</b> Analisis Beban Hidup Pada Atap .....	55
<b>Tabel 5. 3</b> Respon Spektrum Percepatan Periode Pendek.....	57
<b>Tabel 5. 4</b> Parameter Percepatan Spektrum Desain.....	58
<b>Tabel 5. 5</b> Faktor Koreksi Kerentanan .....	58
<b>Tabel 5. 6</b> Pengecekan Gaya Geser Dinamik dan Statik Ekuivalen.....	59
<b>Tabel 5. 7</b> Rangkuman Hasil Bor Mesin 1 .....	61
<b>Tabel 5. 8</b> Rangkuman Hasil Uji Laboratorium .....	62
<b>Tabel 5. 9</b> Rangkuman Data Plastisitas Tanah .....	62
<b>Tabel 5. 10</b> Rekapitulasi Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Bor.....	65
<b>Tabel 5. 11</b> Rekapitulasi Hasil Analisis Pondasi Tiang Bor .....	81
<b>Tabel 5. 12</b> Rekapitulasi Analisis Penurunan Tiang Bor .....	82

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 3. 1</b> Batas- batas Atterberg.....	12
<b>Gambar 3. 2</b> Kurva pada Penentuan Batas Cair Tanah Lempung.....	13
<b>Gambar 3. 3</b> Tiang yang ditinjau dari cara Mendukung Beban.....	16
<b>Gambar 3. 4</b> Nilai N-SPY yang digunakan untuk Desain Tahanan Ujung .....	18
<b>Gambar 3. 5</b> Jarak Antar Tiang .....	21
<b>Gambar 3. 6</b> Pembebanan Pondasi dan Momen Kelompok Tiang.....	23
<b>Gambar 3. 7</b> (a) Faktor Penurunan Io Poulus dan Davis; (b) Koreksi.....	25
<b>Gambar 3. 8</b> (a) Koreksi Kedalaman $R_h$ ; Koreksi Angka Poisson, $R_\mu$ .....	25
<b>Gambar 3. 9</b> Koreksi Kekakuan lapisan Pendukung, $R_b$ .....	26
<b>Gambar 3. 10</b> Penurunan Tiang Dengan Metode Penyebaran 2:1 .....	28
<b>Gambar 3. 11</b> Skema Tegangan Tanah.....	33
<b>Gambar 3. 12</b> Elastic Settlement of Flexible and Rigid Foundations .....	34
<b>Gambar 3. 13</b> Consolidation Settlement Calculation .....	36
<b>Gambar 3. 14</b> Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar pada Perioda Pendek .....	40
<b>Gambar 3. 15</b> Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar pada Perioda Pendek ( <b>S1</b> ) .....	40
<b>Gambar 4. 1</b> Bagan Alir Analisis Struktur dengan Software SAP2000 .....	46
<b>Gambar 4. 2</b> Bagan Alir Metode Pelaksanaan Penelitian.....	47
<b>Gambar 5. 1</b> Lokasi Gedung Masjid Hajjah Yulianan .....	48
<b>Gambar 5. 2</b> Denah Pelat Lantai 1 .....	50
<b>Gambar 5. 3</b> Denah Pelat Lantai 2.....	51
<b>Gambar 5. 4</b> Denah Pelat Lantai 3.....	52
<b>Gambar 5. 5</b> Denah Balok Lantai Atap .....	53
<b>Gambar 5. 6</b> Hasil Respon Spektrum .....	58
<b>Gambar 5. 7</b> Permodelan SAP2000 Dalam 3 Dimensi.....	60
<b>Gambar 5. 8</b> Permodelan Beban Pada Pondasi Tiang Bor .....	63
<b>Gambar 5. 9</b> Susunan Tiang Bor Pada Pilecap Dalam Satuan Meter.....	67
<b>Gambar 5. 10</b> Permodelan Pondasi Tiang Bor Kelompok .....	67
<b>Gambar 5. 11</b> Distribusi Beban Pada Kelompok Tiang .....	70
<b>Gambar 5. 12</b> Pondasi Eksisting (Telapak) .....	73
<b>Gambar 5. 13</b> Permodelan Beban Pada Pondasi Telapak.....	73
<b>Gambar 5. 14</b> Skema Tegangan Tanah Pada Pondasi Telapak .....	77

## ABSTRAK

Pondasi merupakan suatu pekerjaan yang sangat penting dalam perencanaan pembangunan. Bangunan bisa dikatakan stabil jika tanah pendukung mampu menerima beban dari pondasi tersebut dan kuat mendukung beban bangunan tanpa menimbulkan penurunan yang berlebih. Pada pembangunan Masjid Hajjah Yulianna Kampus Madrasah Muhammadiyah Muallimin Yogyakarta dibangun pada tanah lempung menggunakan pondasi dangkal yaitu telapak berdimensi 3,5 m x 3,5 m x 0,5 m dengan kedalaman 2 m. Dari data struktur yang sudah didapat menunjukkan jarak antar kolom sebesar 6 m dan 9 m. Oleh karena itu, peneliti ingin melakukan analisis dengan menggunakan pondasi dalam yaitu tiang bor.

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. Perhitungan penurunan tiang tunggal menggunakan metode *Poulos* dan *Davis* (1980) dan penurunan tiang kelompok menggunakan metode *Vesic* (1969).

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. 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  $0,15 + \left(\frac{D}{600}\right)$  sebesar 15,1 cm.

Kata kunci : pondasi tiang bor, pondasi telapak, kapasitas dukung, penurunan.

## ABSTRACT

*The foundation is a very important job in development planning. The building can be said to be stable if the supporting soil is able to accept the load from the foundation and is strong enough to support the building load without causing excessive settlement. In the construction of the Hajjah Yulianna Mosque, Madrasah Muhammadiyah Muallimin Yogyakarta campus, it was built on clay using a shallow foundation, namely soles with dimensions of 3.5 m x 3.5 m x 0.5 m with a depth of 2 m. From the structural data that has been obtained, it shows that the distance between the columns is 6 m and 9 m. Therefore, researchers want to do an analysis using deep foundations, namely borepiles.*

*The borepile foundation is planned to use dimensions of 0.6 m with a depth of 13 m. The groundwater table is at a depth of 2 meters from the ground surface. The Meyerhoff method is used to calculate the bearing capacity of the foundation based on the results of laboratory tests. Calculation of single pile settlement using the Poulos and Davis method (1980) and group pile settlement using the Vesic method (1969).*

*The results of the analysis showed that the ultimate bearing capacity ( $Q_u$ ) and allowable bearing capacity ( $Q_{all}$ ) on the existing foundation (foot) were 3303,349 kN and 1321,340 kN, respectively. The value of the ultimate bearing capacity of the pile ( $Q_u$ ), the allowable bearing capacity of the pile ( $Q_{all}$ ) and the carrying capacity of the pile group ( $Q_g$ ) on the borepile foundation are 6744,230 kN, 2697,692 kN and 5395,384 kN. The settlement values for the existing (foot) and alternative (drilled piles) foundations are 12,2 cm, 3,6 cm for single piles, and 6,4 cm for group piles. The value of the two foundations has met the requirements according to SNI 8460 - 2017 which is less than  $0,15 + (D/600)$  of 15,1 cm.*

*Keywords: borepile foundation, footplate foundation, bearing capacity, settlement.*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pembangunan sebuah bangunan terdapat dua (2) bagian struktur, yaitu struktur bagian atas (*upper structure*) dan struktur bagian bawah (*lower structure*). Struktur atas berada di atas muka tanah yang terdiri dari atas kolom, pelat, balok dan lain-lain yang masing-masing mempunyai peran penting. Struktur bawah berada di bawah permukaan tanah yaitu pondasi. Hal ini akan dibahas mengenai struktur bagian bawah yaitu pondasi.

Pondasi merupakan suatu pekerjaan yang sangat penting dalam pembangunan, karena pondasi mempunyai fungsi memikul dan menahan beban di atasnya. Pondasi menyalurkan beban yang dipikul ke dalam tanah yang sangat menentukan kokoh tidaknya struktur bangunan. Bangunan bisa dikatakan stabil jika tanah pendukung mampu menerima beban dari pondasi tersebut dan kuat mendukung beban bangunan tanpa menimbulkan penurunan yang berlebihan.

Secara umum terdapat 2 macam pondasi yang dibahas dalam buku konstruksi bangunan, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal digunakan apabila bangunan yang di atasnya tidak terlalu besar dan berada di atas tanah yang keras. Sedangkan pondasi dalam digunakan pada bangunan bertingkat dengan bentang yang cukup lebar (jarak antar kolom  $>6$  meter) dan dapat digunakan pada tanah yang lembek maupun keras.

Perencanaan pondasi penting untuk diperhatikan dalam perencanaan bangunan konstruksi, diawali dengan perencanaan penentuan beban efektif yang bekerja di atasnya menggunakan aplikasi *SAP2000* dan mengacu pada SNI 1727-2013 tentang pembebanan minimum bangunan gedung, kemudian melakukan penyelidikan terhadap tanah guna menentukan *stratigrafi* dan sifat fisik tanah di lokasi pembangunan. Hasil dari penyelidikan tersebut akan digunakan sebagai perkiraan jenis, ukuran, dan kedalaman pondasi yang akan digunakan. Penyelidikan

dapat dilakukan di lapangan maupun di laboratorium dengan menggunakan sampel tanah.

Pada penelitian ini penulis melakukan penelitian di lokasi pembangunan Gedung Masjid Hajjah Yuliana Madrasah Muallimin Muhammadiyah yang terletak di Desa Argosari, Sedayu, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Tanah yang terdapat pada daerah pembangunan merupakan tanah lempung dan menggunakan pondasi dangkal yaitu pondasi tapak setempat (*footplate*). Berdasarkan laporan penyelidikan tanah yang sudah didapat masjid ini terdiri dari 3 lantai dengan kondisi bentang antar kolom yang cukup lebar yaitu 6 meter, karena bentang antar kolom cukup lebar, maka beban bangunan dianggap cukup besar. Kemudian letak tanah keras berada di kedalaman 13 m. Pemilihan pondasi dalam yaitu tiang bor menjadi alternatif lain yang dapat diusulkan dengan pertimbangan jarak antar kolom dan letak tanah keras.

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan maka dari itu penulis mengambil judul tugas akhir “Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Bor”. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi informasi tambahan maupun acuan dalam menganalisis kapasitas daya dukung dan penurunan pondasi tiang bor.

## **1.2 Rumusan Masalah**

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

1. Berapa nilai daya dukung dari pondasi eksisting (telapak) berdasarkan data laboratorium?
2. Berapa nilai daya dukung dari pondasi alternatif (tiang bor) berdasarkan data laboratorium?
3. Bagaimana perbandingan penurunan dari pondasi eksisting (telapak) dengan pondasi alternatif (tiang bor)?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui nilai daya dukung dari pondasi eksisting (telapak) berdasarkan data laboratorium,
2. Mengetahui nilai daya dukung dari pondasi alternatif (tiang bor) berdasarkan data laboratorium,
4. Mengetahui perbandingan penurunan dari pondasi eksisting (telapak) dengan pondasi alternatif (tiang bor).

### 1.4 Batasan Penelitian

Batasan penelitian pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian adalah proyek pembangunan Gedung Masjid Hajjah Yuliana Madrasah Muhammadiyah Muallimin Arjosari, Sedayu, Bantul, Yogyakarta,
2. Data tanah yang digunakan dari Laboratorium Mekanika Tanah Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada tahun 2019,
3. Pondasi *eksisting* berupa pondasi telapak beton bertulang (*telapak*) dengan dimensi 3,5 m x 3,5 m x 0,5 m kedalaman -2,00 m,
4. Pondasi yang digunakan sebagai pembanding adalah pondasi tiang bor dimensi 0,6 m dengan panjang tiang 13 m,
5. Titik yang ditinjau Penulis dalam menganalisis adalah frame titik 816,
6. Perhitungan pembebanan gedung berdasarkan SNI 1727–2013 yaitu sebesar  $2,532 \text{ kN/m}^2$  (beban mati) dan  $4,79 \text{ kN/m}^2$  (beban hidup),
7. Beban pondasi yang dianalisis sebesar 3.304, 229 kN didapat dari analisis pembebanan menggunakan *software SAP2000*,
8. Perhitungan perencanaan gempa pada gedung berdasarkan SNI 1726-2012,
9. Angka keamanan (*safety factor*) yang digunakan adalah 2,5,
10. Perhitungan penurunan pondasi berdasarkan SNI 8460-2017,
11. Tidak meninjau dari segi pelaksanaan, rencana anggaran biaya (RAB), aspek arsitektural, dan manajemen konstruksi,

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberi informasi dan pengetahuan bagi pembaca mengenai daya dukung pondasi tiang bor,
2. Dapat dijadikan referensi dan sumber bacaan bagi pembaca yang ingin membuat penelitian tugas akhir berkaitan dengan pondasi tiang bor.





## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Pada suatu bangunan bertingkat dengan beban cukup berat diperlukan struktur bawah (pondasi) yang dapat memikul beban dengan baik. Salah satu jenis struktur bawah yang paling sering digunakan pada gedung bertingkat adalah pondasi dalam yaitu tiang bor (*bored pile*). Sama seperti pondasi yang lain, berfungsi untuk meneruskan dan mendistribusikan berat yang diakibatkan oleh struktur atas ke arah lapisan tanah, yang diharapkan dapat berdiri dengan kokoh (*Nakazawa K., 1983*).

Pondasi tiang bor dipasang dengan cara mengebor tanah menggunakan diameter tertentu hingga mencapai kedalaman yang sudah ditentukan, kemudian tulangan baja yang telah dirakit dimasukkan ke dalam lubang bor tersebut dan dilanjutkan dengan cor beton ke dalam lubang. Pondasi tersebut dapat dipasang pada keberadaan tanah keras yang cukup dalam dan mengurangi getaran tanah yang berpotensi mengakibatkan kerusakan pada bangunan disekitarnya.

#### **2.2 Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor**

Dhiya'ul Haq (2018) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui kapasitas dukung dan penurunan pondasi tiang bor dengan variasi diameter. Perhitungan analisa struktur digunakan metode, statis, metode teoritis dan pembebanan menggunakan aplikasi bantuan yaitu *PLAXIS v8.s* . Hasil analisis kapas dukung kelompok tiang metode *Reese & Wright* dan metode *Mayerhoff* berdasarkan data laboratorium dan lapangan dengan diameter  $\varnothing 70$ ,  $\varnothing 80$ , dan  $\varnothing 90$ , menunjukkan nilai lebih besar dari nilai P yaitu 2.523,564 kN. Sehingga pondasi *bored pile*

dengan diameter tersebut aman digunakan dalam pembangunan gedung *Twin Building UMY*. Dari analisis penurunan pondasi kelompok tiang bor dengan diameter tersebut diperoleh dengan metode teoritis dan metode elemen hingga (*PLAXIS 2D*) menunjukkan nilai penurunan yang masih aman dari penurunan yang diijinkan.

Hidayat (2018) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui perbandingan kapasitas dukung ultimit hasil desain eksisting dengan alternatif desain pondasi *bored pile* kedalaman 18 m. Perhitungan analisa struktur digunakan metode statis dan pembebanan menggunakan aplikasi bantuan *SAP2000*. Berdasarkan perhitungan didapatkan 3 alternatif yakni  $\varnothing 60$ ,  $\varnothing 70$ , dan  $\varnothing 80$  pada kedalaman 12,6 m dengan panjang pondasi 11,6 m dan  $q_c$  sebesar  $90 \text{ kg/cm}^2$ . Dari ketiga alternatif diambil dengan kapasitas dukung terbesar yaitu 12157,09 kN pada  $\varnothing 80$ . Jumlah tiang sebanyak 1 buah untuk beban terbesar yang berada pada *frame* 333 yaitu sebesar 2881,653 kN dan penurunan pondasi sebesar 3043,868 kN, yang memiliki jumlah tiang sebanyak 3 buah pada kedalaman 11 m dan penurunan pondasi yang terjadi 1,75 mm. Kapasitas dukung pondasi tiang ditentukan oleh kemampuan material tiang untuk menahan beban struktural. Berdasarkan hasil analisis diperoleh tegangan yang terjadi pada tiang sebesar  $57,289 \text{ kg/cm}^2$ , nilai tersebut lebih kecil dari tegangan ijin dengan mutu K-300 sebesar  $249 \text{ kg/cm}^2$ , sehingga pondasi aman digunakan.

Idris (2019) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui beban struktur yang diterima, kapasitas daya dukung, dimensi, serta penurunan pondasi tiang bor. Perhitungan analisa struktur digunakan acuan SNI 1726 - 2012 dan pembebanan menggunakan aplikasi bantuan *STAADPro V8i*. Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan pembebanan struktur atas, didapat beban terbesar pada kolom (B5-C5) dengan besar  $P_u = 13944,2 \text{ kN}$ ,  $M_{uy} = 1394,973 \text{ kN}$ , dan  $M_{ux} = 278,139 \text{ kN}$ . Berdasarkan perhitungan kapasitas dukung, kedalaman pondasi direncanakan hingga kedalaman 20 meter dengan dua jenis diameter yaitu  $\varnothing 90 \text{ cm}$  dan  $\varnothing 80 \text{ cm}$ . Hasil perhitungan tiang bor dengan  $\varnothing 90 \text{ cm}$ , daya dukungnya diperoleh sebesar pertiang tunggal 359,75 ton dan perkelompok dengan efisiensi sebesar 71,7394% didapatkan daya dukung sebesar 1548,49 ton. Pada tiang bor

dengan Ø80 cm, daya dukung diperoleh sebesar pertiang tunggal 313,50 ton dan berkelompok dengan efisiensi sebesar 75,7766% didapatkan daya dukung sebesar 950,23 ton. Penurunan terbesar terletak pada kolom (B5-C5) sebesar 1,382 cm.

Ramadhani (2019) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui daya dukung, dimensi, jumlah tiang, dan penurunan pondasi tiang bor dengan menggunakan metode statis. Perhitungan analisa struktur digunakan program bantu *software* ETABS 2016 V.16.2.0 untuk memperoleh dan mengambil hasil gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur gedung untuk digunakan dalam pendesainan tulangan. Penelitian ini menggunakan dimensi Ø60 cm. Menggunakan variasi jumlah tiang dengan diameter yang sama yaitu tipe 1 sebanyak 5 tiang, tipe 2 sebanyak 3 tiang, dan tipe 3 sebanyak 2 tiang. Daya dukung yang dianalisa yaitu daya dukung ultimit tiang tunggal ( $Q_a$ ) dan daya dukung kelompok tiang ( $Q_{pg}$ ). Berdasarkan hasil perhitungan didapat pondasi tipe 1,2,dan 3 nilai  $Q_a$  sebesar 241,301 ton. Untuk nilai  $Q_{pg}$  berbeda-beda yaitu pondasi tipe 1  $Q_{pg}$  sebesar 965,2 ton, pondasi 2 sebesar 784,71 ton, dan pondasi tipe 3 sebesar 452,44 ton. Pondasi tipe 1,2, dan 3 menggunakan tulangan 12 D19 dengan penurunan pondasi tiang sebesar 2,3 cm dengan kata lain penurunan dalam batas aman dikarenakan nilainya lebih kecil dari  $S_{ijin}$  yaitu sebesar 6 cm. Pondasi tiang bor dapat digunakan karena  $p_{max}$  yang dihasilkan dari gaya eksentrisitas lebih kecil dari kapasitas ijin tiang.

Tamimi (2020) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pondasi tiang bor yang efektif, aman, serta ekonomis dengan variasi dimensi. Penelitian ini menggunakan variasi dimensi 0,6 m, 0,7 m, dan 0,8 m dengan panjang tiang 14 m. Perhitungan analisa struktur digunakan metode, statis, metode teoritis dan pembebanan menggunakan aplikasi bantuan yaitu *ETABS*. Hasil analisis kapasitas dukung kelompok tiang metode *Reese and Wright* masing – masing diperoleh sebesar 2731,4232 kN, 3295,4614 kN, dan 3890,5856 kN, metode *Skempton* masing – masing diperoleh sebesar 2196,6498 kN, 2644,3589 kN, dan 3115,3824 kN. Dari hasil yang diperoleh secara keseluruhan aman terhadap beban total yang akan diterima.

Perbedaan penelitian yang terdahulu dengan penelitian yang penulis lakukan dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

**Tabel 2. 1** Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian Yang Dilakukan
Peneliti	<b>Dhiya'ul Haq (2018)</b>	<b>Hidayat (2018)</b>	<b>Idris (2019)</b>	<b>Ramadhani (2019)</b>	<b>Tamimi (2020)</b>	<b>Mutiarasella (2020)</b>
Judul	Analisis Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor Kelompok Dengan Variasi Dimensi	Perencanaan Ulang Struktur Bawah Dengan Pondasi Bored Pile Pada Gedung White Hotel Sedan Yogyakarta	Perencanaan Pondasi Tiang Bor Pada Rusunami Sentraland Bekasi Jawa Barat	Studi Perencanaan Pondasi Tiang Bor ( <i>Bored Pile</i> ) Pada Gedung Trans Mart Malang	Perencanaan Ulang Struktur Bawah Gedung Dengan Pondasi Bored Pile	Analisa Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Bor ( <i>Bored Pile</i> ) Pada Gedung Masjid Hajjah Yuliana
Metode	Metode Statis (SPT & Lab), Metode Elemen Hingga, Metode Numerik ( <i>SAP 2000</i> & <i>PLAXIS v8.s</i> )	Metode Schmetmann, Metode Nottingham, Metode Mayerhoff dan Reese & Wright, Metode Numerik ( <i>SAP 2000</i> )	Metode Statis (SPT), Metode Mayerhoff, Metode Numerik ( <i>STAAD Pro V8i</i> )	Metode Statis (SPT), Metode Mayerhoff, Metode Semi Empiris	Metode Skempton, Reese and Wright, Metode Numerik ( <i>ETABS</i> )	Metode Meyerhoff, Metode Numerik ( <i>SAP 2000</i> ), Metode Poulos Davis (1980), Metode Vesic
Tujuan	Mengetahui Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi dengan Variasi Diameter	Mengetahui Perbandingan Kapasitas Dukung Ultimit Hasil Desain Eksisting dengan Alternatif Desain Pondasi Bored Pile Kedalaman 18 m	Mengetahui Daya Dukung, Penurunan, dan Penulangan Pondasi Tiang Bor dan <i>Pilecap</i>	Mengetahui Daya Dukung, Jumlah Tulangan, dan Penurunan Pondasi Tiang Bor dan <i>Pilecap</i>	Mengetahui Daya Dukung Pondasi Bored Pile Dengan Variasi Dimensi	Mengetahui Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Bor Yang Akan Dibandingkan Pada Pondasi Eksisting (telapak)
Hasil	Besarnya kapasitas dukung di pengaruhi oleh dimensi. Semakin besar ukuran diameter, maka daya dukung semakin besar. Untuk penurunan, semakin besar ukuran diameter, maka penurunan semakin kecil.	Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Ditentukan Oleh Kemampuan Material Tiang Untuk Menahan Beban Struktural. Tegangan Pada Tiang Lebih Kecil Dari Tegangan Ijin, Sehingga Pondasi Aman Digunakan.	Berdasarkan Perhitungan Daya Dukung Digunakan Pondasi Dengan Kedalaman 20 dan 2 diameter yaitu 0,8 m dan 0,9 m	Pondasi Tiang Bor Dapat Digunakan Karena $P_{max}$ yang Dihasilkan Dari Gaya Eksentrisitas Lebih Kecil Dari Kapasitas Ijin Tiang.	Pondasi Tiang Bor Secara Keseluruhan Aman Terhadap Beban Total Yang Akan Diterima	Pondasi eksisting (telapak) dan pondasi alternatif (pondasi tiang bor) secara keseluruhan telah memenuhi syarat penurunan pada pondasi menurut SNI 8460-2017

(Sumber : Dhiya'ul Haq (2018), Hidayat (2018), Idris (2019), Ramadhani (2019), Tamimi (2020))

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Tanah**

##### **3.1.1 Tinjauan Umum**

Peran tanah pada bidang teknik sipil sangat penting untuk merencanakan sebuah bangunan. Untuk bidang ini membedakan jenis tanah digunakan istilah seperti pasir, krikil, lanau dan lempung. Pada umumnya sebuah bangunan dibuat di atas ataupun di bawah permukaan tanah, maka dari itu diperlukan suatu sistem pondasi yang akan menyalurkan beban dari bangunan ke tanah (*Bowless, 1997*).

##### **3.1.2 Klasifikasi Jenis Tanah**

Secara umum tanah diklasifikasikan sebagai tanah kohesif dan non kohesif. Klasifikasi didasarkan oleh ukuran partikel yang diperoleh dari analisa saringan (uji sedimentasi) dan plastis (*Hardiyatmo, 2012*). Salah satu system klasifikasi yang sering digunakan yaitu *Unfied Soil Classification System (USCS)*. System ini menggunakan sifat – sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisnya.

Pada system *USCS* tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang dapat dilihat pada Tabel 3.1. Simbol – simbol yang digunakan tersebut adalah sebagai berikut.

- 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 sand*)  
W = gradasi baik (*well-graded*)  
P = gradasi buruk (*poorly-graded*)  
H = plastisitas tinggi (*high-plasticity*)  
L = plastisitas rendah (*low-plasticity*)

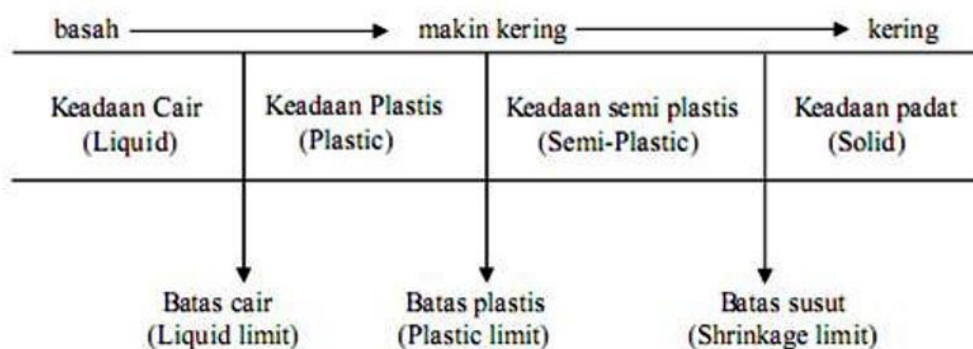


Tabel 3. 1 Sistem Klasifikasi Tanah USCS

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama jenis	
tanah berbutir kasar Lebih dari 50% butiran tertahan saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil Gradasi baik dan campuran pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4, C_c = \frac{(D_{20})^2}{D_{20} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		GP	Kerikil Gradasi buruk dan campuran pasir kerikil, atau tidak mengandung butiran halus		
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung		
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung		
	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar bertahan saringan no. 4 (4,75 mm)	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir Gradasi baik, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6, C_c = \frac{(D_{20})^2}{D_{20} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
			SP	Pasir Gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		Pasir dengan butiran halus	SM	pasir berlanau, campuran pasir lanau	
			SC	pasir berlempung, campuran pasir-lempung	
	tanah berbutir halus Lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 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	<p>Diagram Plastisitas:                      Untuk mengidentifikasi kadar butiran halus yang tertahan dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar, batas Atterberg yang termasuk dalam diagram yang ditunjukkan akan lebih banyak dan lebih banyak akan lebih banyak menggunakan dua simbol</p>
			CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('lean clays')	
		Lanau dan lempung batas cair > 50%	OL	lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
			MH	lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elasis.	
CH			lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fatclays')		
OH			lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi		
Tanah dengan kadar organik tinggi		Pt	Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488	

### 3.1.3 Batas – batas Atterberg

Sifat plastisitas pada tanah berbutir halus adalah yang harus diperhatikan, karena sifat plastis disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Plastisitas merupakan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak – retak. Tanah dapat berwujud cair, plastis, semi plastis, dan padat tergantung dari besarnya nilai kadar air tanah. *Atterberg* (1991) dalam *Hardiyatmo* (2012), memberikan cara untuk menggambarkan batas – batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar airnya. Batas – batas tersebut adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), batas susut (*shrinkage limit*), dan indeks plastisitas (*plasticity indeks*). Batas konsistensi untuk tanah kohesif dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



**Gambar 3. 1** Batas- batas Atterberg

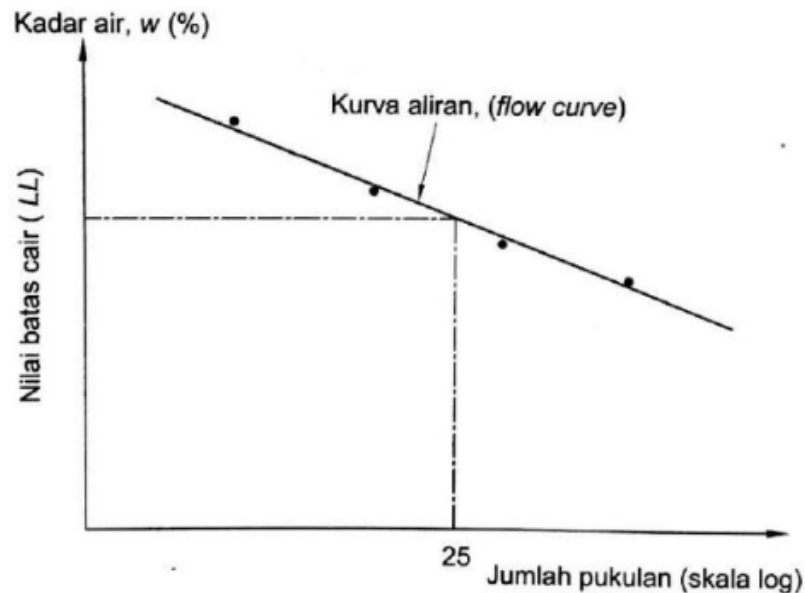
(Sumber : *Hardiyatmo*, 2012)

#### 1. Batas cair

Batas cair (LL) adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair biasanya ditentukan dari uji Casagrande. Kemudian, hubungan kadar air dan jumlah pukulan yang didapatkan dari hasil pengujian menggunakan alat *Casagrande*



digambarkan dalam grafik semi logaritmik untuk menentukan kadar air pada 25 kali pukulan. Gambar 3.2 merupakan nilai batas cair tanah lempung.



**Gambar 3. 2** Kurva pada Penentuan Batas Cair Tanah Lempung

(Sumber: Hardiyatmo,2012)

#### 2. Batas plastis

Batas plastis (PL) merupakan kadar air tanah pada kedudukan antara daerah plastis dan semi plastis, yaitu presentase kadar air yang dimana tanah silinder diameter 3,2 mm dalam keadaan mulai retak ketika digulung.

#### 3. Batas susut

Batas susut (SL) merupakan kadar air pada kedudukan antara daerah semi plastis dan padat, yaitu presentase kadar air yang dimana penguapan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah.

#### 4. Indeks plastisitas

Indeks plastisitas (PI) merupakan selisih antara nilai batas cair (LL) dan batas plastis (PL). karena itu, indeks plastisitas menunjukkan nilai keplastisitan tanahnya. Jika tanah mempunyai PI tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika PI rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air

berakibat tanah menjadi kering. Indeks plastisitas (PI) adalah selisih batas cair dan batas plastis. Batasan mengenai indeks plastis, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh *Atterberg* dalam Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3. 2** Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non Kohesif
< 7,00	Plastisitas Rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7,00 - 17,00	Plastisitas > Sedang	Lempung Berlanau	Kohesif
> 17,00	Plastisitas Tinggi	Lempung	Kohesif

(Sumber : Hardiyatmo, 2012)

### 3.2 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah diperlukan ketika ingin merencanakan pembangunan, penyelidikan ini mencakup penyelidikan di lapangan (lokasi rencana bangunan baru) dan penelitian di laboratorium. Penyelidikan tersebut bertujuan untuk mengetahui letak/kedalaman lapisan tanah padat, dan kapasitas daya-dukung tanah (*bearing capacity*) yang diizinkan agar bangunan dapat berdiri dengan stabil dan tidak mengalami penurunan (*settlement*) yang terlalu besar (Gunawan, 1991).

Berikut adalah tujuan dilakukannya penyelidikan tanah :

1. untuk mendapatkan informasi kondisi alamiah dari lapisan-lapisan tanah pada lokasi yang ditinjau
2. untuk mendapatkan informasi kedalaman muka air tanah
3. untuk mendapatkan informasi sifat-sifat fisis dan mekanis tanah batuan
4. menentukan parameter tanah untuk analisis pondasi dan simulasi proses konstruksi

Penyelidikan tanah yang dapat dilakukan di lapangan antara lain uji *Sondir* atau *cone penetration test* (CPT), *standart penetration test* (SPT) dan lain-lain. Terbagi dalam 3 tahapan yaitu pengeboran atau penggalian lubang uji, pengambilan contoh tanah, dan pengujian contoh tanah di laboratorium. Pengujian

dilakukan pada tanah terganggu (*disturbed sample*) dan tidak terganggu (*undisturbed sample*). Tanah yang diambil untuk contoh pengujian merupakan tanah asli yang bebas humus dan akar tumbuh-tumbuhan.

Pada penelitian ini, data yang akan digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari instansi yang terkait.

### **3.3 Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*)**

Pondasi tiang bor adalah pondasi yang pemasangannya dilakukan dengan cara mengebor terlebih dahulu, kemudian diisi tulangan yang telah dirangkai lalu dilanjutkan dengan pengecoran beton (Hardiyatmo, 2015). Dalam dunia konstruksi ada beberapa alasan dan keunggulan digunakannya pondasi ini antara lain adalah sebagai berikut :

1. tiang bor dapat dipasangi menembus batuan,
2. kedalaman tiang dapat divariasikan,
3. penulangan tidak dipengaruhi oleh tegangan pada waktu pengangkutan dan pemancangan,
4. pada pelaksanaannya tidak menimbulkan polusi suara dari alat pancang seperti yang terjadi pada pemasangan pondasi tiang pancang,
5. pada pondasi tiang pancang, proses pemancangan pada tanah lempung berpotensi adanya tanah yang bergelombang dan menyebabkan tiang pancang bergerak dari posisi awal. Hal ini tidak akan terjadi pada pondasi tiang bor,
6. tidak menimbulkan getaran tanah yang berpotensi adanya kerusakan pada bangunan di sekitarnya,
7. dapat memberikan ketahanan terhadap beban lateral dan gaya ke atas karena dasar pondasi ini dapat diperbesar.

### **3.4 Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Bor**

Kapasitas daya dukung tiang adalah kemampuan tiang dalam mendukung beban pondasi dari struktur yang terletak di atasnya. Kapasitas dukung ini menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan,

yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah sepanjang bidang-bidang gesernya (Raharjo, 2005).

Dikaji dari cara menghitung beban, tiang dibagi menjadi 2 macam, diantaranya sebagai berikut :

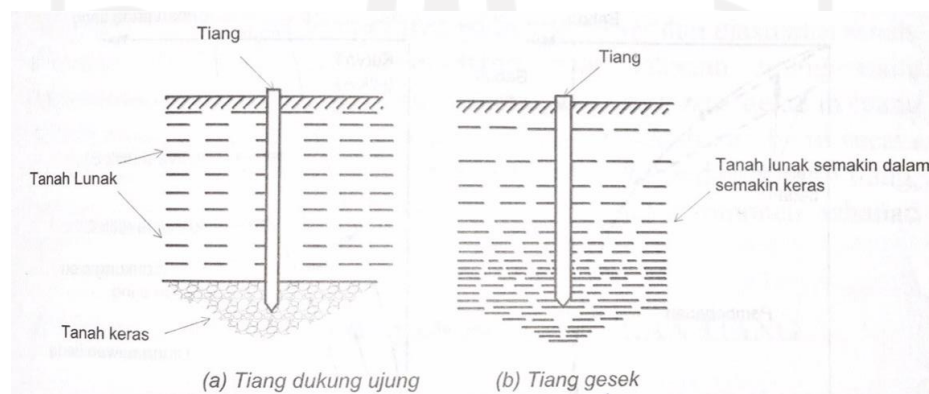
1. tiang dukung ujung (*end bearing pile*)

Tiang dukung ujung adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Pada umumnya tahanan ujung tiang terletak di zona tanah lunak yang didasari tanah keras. Tiang dipancang hingga mencapai batuan dasar/ lapisan keras, diharapkan dapat mendukung beban yang diperhitungkan dengan tidak mengakibatkan penurunan berlebih. Kapasitas dukung tiang ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada di bawah ujung tiang.

2. tiang gesek (*friction pile*)

Tiang gesek adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh perlawanan gesek antara sisi tiang dan tanah di sekitarnya. Tahanan gesek dan pengaruh konsolidasi lapisan tanah di bawahnya diperhitungkan pada hitungan kapasitas dukung tiang

Berikut adalah gambaran tiang yang ditinjau dari cara mendukung bebannya menurut Tomlinson (1997) dapat dilihat pada Gambar 3.1



**Gambar 3. 3** Tiang yang ditinjau dari cara Mendukung Beban

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

Daya dukung pondasi tiang bor dapat dirumuskan dalam Persamaan 3.1 berikut.

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s - W \quad (3.1)$$

keterangan,

- $Q_{ult}$  = daya dukung ultimit tiang (ton)  
 $Q_p$  = daya dukung ultimit ujung tiang (ton)  
 $Q_s$  = daya dukung ultimit selimut tiang (ton)  
 $W$  = berat tiang (kN)

Pada perhitungan kapasitas dukung dapat disesuaikan dengan jenis tanah. Berdasarkan hasil penyelidikan tanah, didapatkan informasi jenis tanah proyek ini merupakan dominan tanah lempung kelanauan.

### 3.4.1 Kapasitas Dukung Tiang Tunggal

#### 3.4.1.1 Kapasitas Dukung Berdasarkan Data Laboratorium Metode Meyerhoff

##### 1. Daya dukung ujung

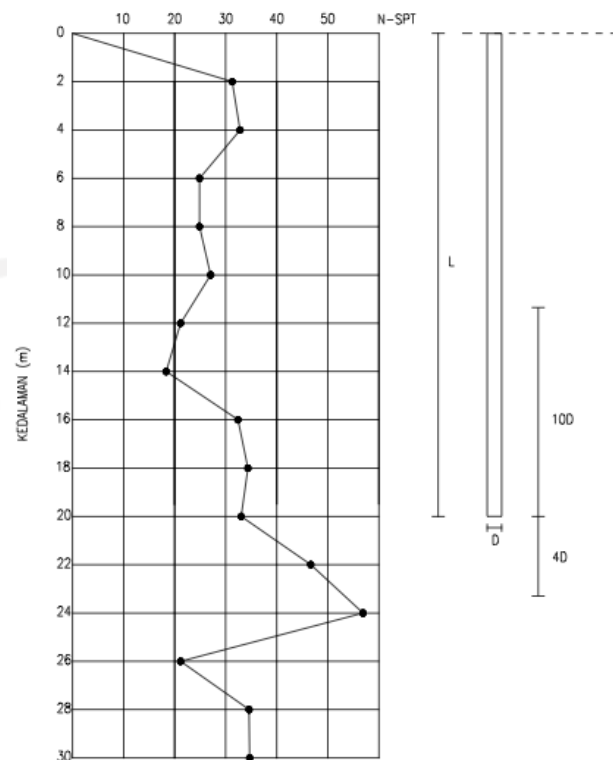
Daya dukung tiang menggunakan Persamaan 3.2 dan 3.3 berikut.

Untuk tanah kohesif

$$Q_p = A_p \cdot (40 N_r) \cdot L_b/D \leq A_p \cdot 400 N_r \quad (3.2)$$

Keterangan,

- $Q_p$  = daya dukung ujung tiang (kN)  
 $N_1$  = nilai SPT pada kedalaman 10D dari ujung tiang kebawah  
 $N_2$  = nilai SPT pada kedalaman 4D dari ujung tiang keatas  
 $N_r$  = nilai SPT rata-rata pada elevasi tiang  
 $A_p$  = luas penampang tiang (m)  
 $L_b$  = panjang tiang (m)



**Gambar 3. 4** Nilai N-SPY yang digunakan untuk Desain Tahanan Ujung

(Sumber : Meyerhof)

## 2. Daya dukung selimut

Daya dukung selimut tiang ditentukan berdasarkan Persamaan 3.4 berikut.

$$Q_s = L \cdot p \cdot f_{av} \quad (3.4)$$

Untuk tanah kohesif

$$f_{s\ av} = 2 (N_r) \quad (3.5)$$

Keterangan,

$Q_s$  = daya dukung selimut (kN)

$p$  = keliling tiang ( $m^2$ )

$f$  = gesekan selimut ( $kN/m^2$ )

$f_{s\ av}$  = gesekan selimut rata-rata ( $kN/m^2$ )

Nr = nilai SPT rata-rata sepanjang tiang

L = panjang tiang (m)

### 3.4.2 Kapasitas Dukung Ijin

Cara untuk mendapatkan kapasitas ijin tiang adalah membagi kapasitas ultimit dengan faktor aman tertentu. Faktor aman diberikan guna :

1. memberi keamanan terhadap ketidakpastian metode hitungan yang digunakan,
2. memberi keamanan terhadap variasi kuat geser dan kompresibilitas tanah,
3. memastikan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja,
4. memastikan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok masih tetap dalam batas-batas toleransi,
5. memastikan bahwa penurunan tidak seragam diantara tiang-tiang masih dalam batas toleransi.

Kapasitas daya dukung ijin dinyatakan pada Persamaan 3.10 berikut ini.

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \quad (3.10)$$

keterangan,

$Q_{all}$  = kapasitas daya dukung ijin pondasi

$Q_u$  = kapasitas ultimit pondasi

$SF$  = angka aman untuk tahanan ujung (2,5)

### 3.4.3 Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

Tiang kelompok adalah sekumpulan tiang yang dipasang secara relatif berdekatan dan diikat menjadi satu bagian dengan menggunakan pile cap. Dalam menghitung kapasitas dukung kelompok tiang hal yang harus diperhatikan dahulu adalah jarak tiang, jumlah dalam satu kelompok dan efisiensi kelompok tiang. Stabilitas kapasitas kelompok tiang tergantung pada dua hal berikut ini :

1. kapasitas dukung tanah disekitar dan di bawah kelompok tiang untuk mendukung beban total struktur,

2. terdapat pengaruh konsolidasi tanah yang terletak di bawah kelompok tiang. Ketika kelompok tiang berada di tanah lunak, timbunan/ pasir tidak padat dengan dasar tiang yang bertumpu pada lapisan kaku, maka kelompok tiang tersebut tidak mempunyai resiko adanya keruntuhan geser umum (general shear failure), jika memiliki faktor aman yang cukup terhadap bahaya keruntuhan tiang tunggalnya. Walaupun begitu, penurunan kelompok tiang masih tetap harus diperhitungkan secara keseluruhan ke dalam tanah lempung lunak (Hardiyatmo, 2010).

#### 3.4.3.1 Jumlah tiang (n)

Untuk menentukan jumlah tiang dapat di rumuskan dalam Persamaan 3.11 berikut.

$$n = \frac{P}{Q_{all}} \quad (3.11)$$

keterangan,

$P$  = beban yang bekerja

$Q_{all}$  = kapasitas dukung ijin tiang tunggal

#### 3.4.3.2 Jarak tiang (s)

Berdasarkan Dirjen Bina Marga Departemen P.U.T.L menghitung jarak antar tiang dapat menggunakan Persamaan 3.12 dan 3.13 Serta digambarkan oleh Gambar 3.3 berikut.

$$S \geq 2,5D \quad (3.12)$$

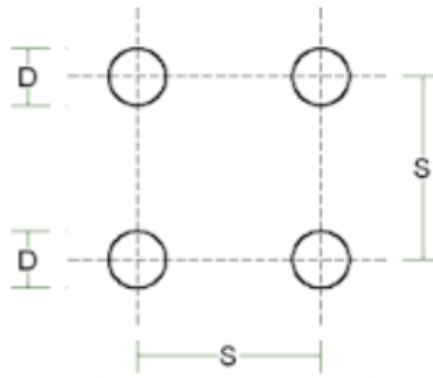
$$S \leq 3D \quad (3.13)$$

Keterangan,

$S$  = jarak pusat tiang ke pusat tang lainnya

$D$  = diameter (m)





**Gambar 3. 5** Jarak Antar Tiang

(Sumber : Sardjono, 1991)

Jarak antar tiang dalam kelompok disyaratkan minimum 0,6 m – 2,0 m. Hal tersebut didasarkan atas pertimbangan-pertimbangan berikut:

- a. bila  $S \geq 2,5D$

Tanah di sekitar kelompok tiang akan mengalami kenaikan yang berlebihan. Hal tersebut disebabkan oleh tiang-tiang dipancang berdekatan, sehingga pada pemasangannya tiang yang dipancang terlebih dahulu akan terangkat.

- b. bila  $S \leq 3D$

dengan jarak tiang sebesar  $3D$  kelompok tiang tidak ekonomis, karena akan memperbesar dimensi *pile cap*.

### 3.4.3.3 Efisiensi kelompok tiang

Menurut *Converse-Laborre Formula* formasi tiang menentukan besar kecilnya daya dukung tiang kelompok yang dirumuskan pada Persamaan 3.14 berikut.

$$Eg = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \quad (3.14)$$

keterangan,

$Eg$  = efisiensi kelompok tiang

$m$  = jumlah baris

- $n$  = jumlah baris tiang dalam satu baris  
 $\theta$  = arc tg  $d/s$  dalam derajat  
 $S$  = jarak pusat ke pusat tiang (m) (lihat Tabel 3.3)  
 $D$  = diameter tiang (m)

#### 3.4.3.4 Kapasitas Izin Kelompok Tiang

Kapasitas ultimit kelompok tiang dapat dinyatakan pada Persamaan 3.15 berikut.

$$Q_g = E_g \times n \times Q_u \quad (3.15)$$

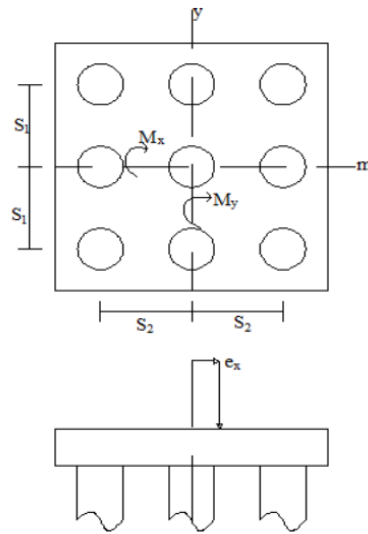
keterangan,

- $Q_g$  = beban maksimum kelompok tiang (ultimit)  
 $E_g$  = efisiensi kelompok tiang  
 $n$  = jumlah tiang dalam kelompok  
 $Q_u$  = beban maksimum tiang tunggal yang mengakibatkan reruntuhan

Jika kelompok tiang berada pada tanah lempung lunak, pasir tidak padat, atau timbunan, dengan dasar tiang yang bertumpu pada lapisan kaku, maka kelompok tiang tersebut tidak beresiko keruntuhan geser umum, asalkan diberi faktor aman yang cukup terhadap keruntuhan tiang tunggal. Pada kelompok tiang yang dasar tanahnya bertumpu pada lempung lunak, faktor aman terhadap keruntuhan blok harus dipertimbangkan, terutama untuk jarak tiang yang relatif dekat.

#### 3.4.4 Analisis Distribusi Beban Ke Tiap Tiang Bor

Menurut Hardiyatmo 2015, kelompok tiang yang bekerja dua arah (x dan y), dipengaruhi oleh beban vertikal dan momen (x dan y) dimana hal tersebut akan mempengaruhi kapasitas daya dukung pondasi tiang. Gambaran pembebanan dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



**Gambar 3. 6** Pembebanan Pondasi dan Momen Kelompok Tiang

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Menghitung tekanan aksial pada masing-masing tiang dapat digunakan Persamaan 3.16 berikut ini.

$$P_i = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y X_i}{\Sigma X^2} \pm \frac{M_x Y_i}{\Sigma Y^2} \quad (3.16)$$

keterangan,

$P_i$  = 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

$X_i, Y_i$  = absis atau jarak tiang ke pusat berat kelompok tiang ke tiang no-i

$\Sigma X^2$  = jumlah kuadrat absis-absis tiang bor

$\Sigma Y^2$  = jumlah kuadrat ordinat-ordinat tiang bor

### 3.5 Penurunan Pondasi Tiang

Penurunan (*settlement*) digunakan untuk menunjukkan gerakan titik tertentu pada bangunan terhadap titik referensi yang tetap. Kondisi tanah di sekitar lokasi

pembangunan akan mengalami penurunan dan panjang tiang akan berkurang ketika tiang terbebani. Untuk menghitung penurunan yang akan terjadi, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini

### 3.5.1 Tiang Tunggal

Penurunan jangka panjang untuk pondasi tiang tunggal relatif kecil akibat konsolidasi, dalam Hardiyatmo (2015) tidak perlu ditinjau. Dikarenakan pada perencanaanya pondasi tiang meliputi kuat dukung ujung dan kuat dukung friksi atau penjumlahan dari keduanya. Formula penurunan yang ditunjukkan pada Persamaan 3.17 dan 3.18 berikut.

1. Untuk tiang apung atau tiang friksi

$$S = \frac{Q I}{E_s D} \quad (3.17)$$

$$I = I_o R_k R_h R_\mu$$

2. Untuk tiang dukung ujung

$$S = \frac{Q I}{E_s D} \quad (3.18)$$

$$I = I_o R_k R_b R_\mu$$

keterangan,

$S$  = penurunan untuk tiang tunggal

$Q$  = beban yang bekerja

$I_o$  = faktor pengaruh penurunan tiang yang tidak mudah mampat  
(Gambar 3.5 (a))

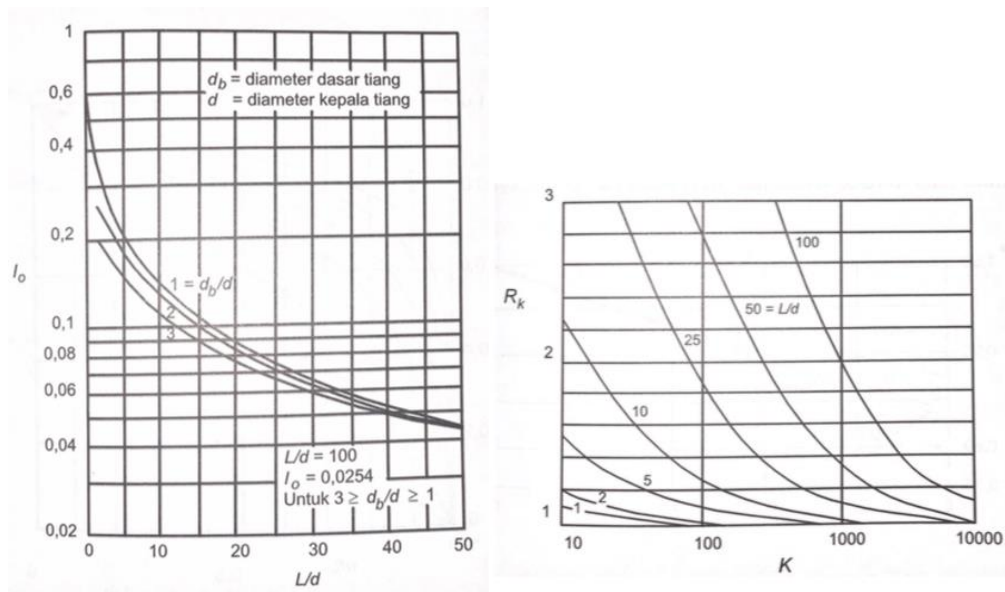
$R_k$  = faktor koreksi kemudahan mempatan tiang (Gambar 3.6 (b))

$R_h$  = faktor koreksi ketebalan lapisan yang terletak pada tanah keras  
(Gambar 3.6 (a))

$R_\mu$  = faktor koreksi angka *poisson*  $\mu$  (Gambar 3.6 (b))

$R_b$  = faktor koreksi untuk kekakuan lapisan pendukung (Gambar 3.7)

$h$  = kedalaman total lapisan tanah ujung tiang ke muka tanah

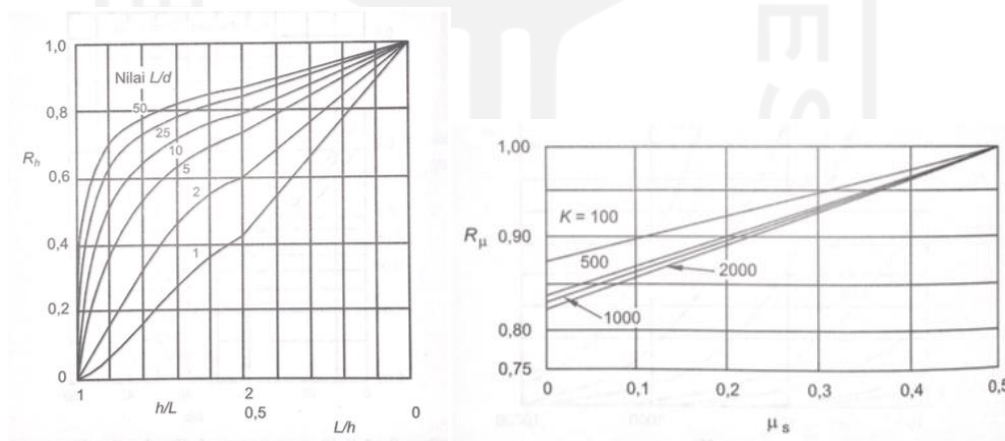


(a)

(b)

**Gambar 3. 7** (a) Faktor Penurunan  $I_o$  Poulus dan Davis; (b) Koreksi

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

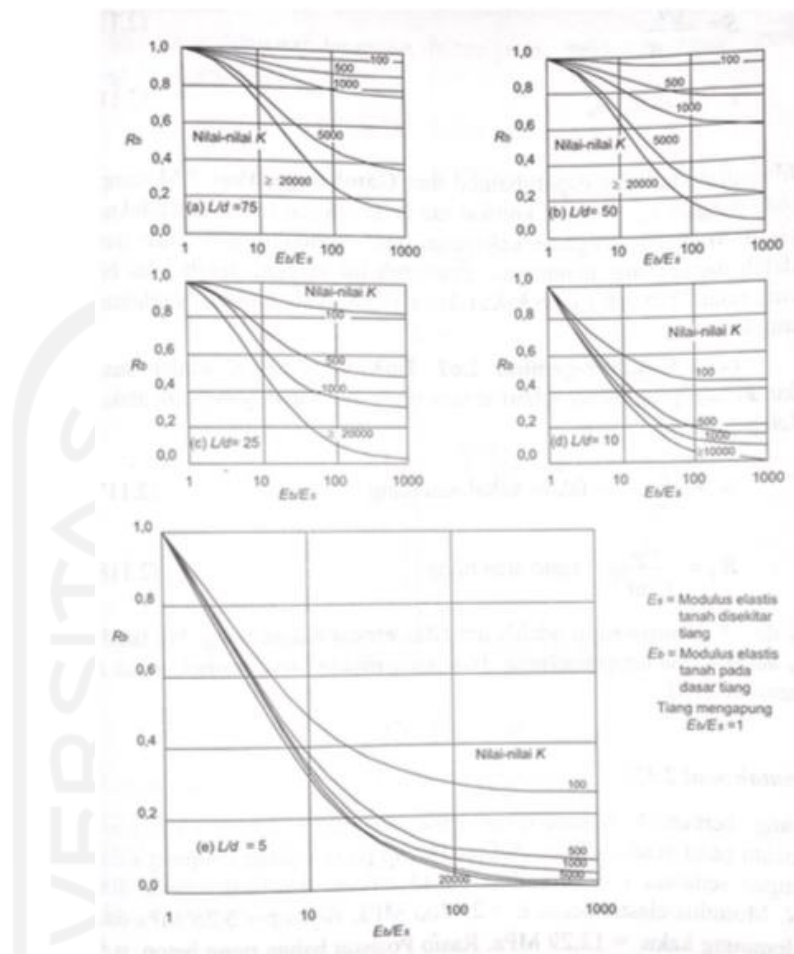


(a)

(b)

**Gambar 3. 8** (a) Koreksi Kedalaman  $R_h$ ; Koreksi Angka Poisson,  $R_\mu$ 

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)



**Gambar 3.9** Koreksi Kekakuan lapisan Pendukung,  $R_b$

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

Nilai koefisien dapat digunakan dari grafik pada Gambar 3.6 – 3.7, dengan  $R_b$  = faktor koreksi untuk kekuatan lapisan pendukung (Gambar 3.8). Penurunan dapat mempengaruhi kekerasan tanah pendukung dasar tiang, maka dilakukan pengurangan pada penurunan. Pengaruh ini menjadi lebih jelas jika tiang relative pendek (tiang kaku) dan terletak pada lapisan pendukung yang keras. Pada Gambar 3.6 dan 3.7, K adalah suatu ukuran kompresibilitas relatif antara tiang dan tanah yang dinyatakan oleh Persamaan 3.19 dan 3.20 berikut ini

$$K = \frac{E_p R_A}{E_s} = \text{faktor kekakuan tiang} \quad (3.19)$$

$$R_A = \frac{A_p}{\frac{1}{4} \pi d^2} = \text{rasio area tiang} \quad (3.20)$$

keterangan,

$K$  = faktor kekuatan tiang

$E_p$  = modulus elastisitas tiang

$E_s$  = modulus elastisitas tanah di sekitar tiang

$E_b$  = modulus elastisitas tanah di dasar tiang

$E_p$  dan  $E_s$  berturut-turut adalah modulus elastis bahan tiang dan tanah,  $A_p$  adalah luas tampak tiang. Jika tiang makin kompresibel, maka  $K$  semakin kecil. Nilai *modulus young* menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah, dimana nilai ini merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Dapat ditentukan dari jenis tanah, data sondir, dan data  $N_{SPT}$ . Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

**Tabel 3. 3** Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Bowles,1977)

Macam Tanah	E ( $kN/m^2$ )
<b>Lempung</b>	
Sangat Lunak	300 - 3000
Lunak	2000 - 4000
Sedang	4500 - 9000
Keras	7000 - 20000
Berpasir	30000 - 42500
<b>Pasir</b>	
Berlanau	5000 - 20000
Tidak padat	10000 - 25000
Padat	50000 - 100000
<b>Pasir dan Kerikil</b>	
Padat	80000 - 200000
Tidak padat	50000 - 140000
<b>Lanau</b>	2000 - 20000
<b>Loes</b>	15000 - 60000
<b>Serpih</b>	140000 - 1400000

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

### 3.5.2 Penurunan Kelompok Tiang

Menghitung penurunan kelompok tiang pada tanah pasir terdapat berbagai cara, dalam hal ini penulis menggunakan metode *Vesic* (1969). Penurunan pondasi tiang kelompok lebih besar dari penurunan pondasi tiang tunggal. Hal ini disebabkan oleh pengaruh tegangan yang terjadi pada daerah yang lebih luas dan dalam, Berikut adalah Persamaan 3.21 penurunan kelompok tiang.

#### 1. Penurunan Segera

$$S_g = S \sqrt{\frac{B_g}{D}} \quad (3.21)$$

keretangan :

$S_g$  = penurunan pondasi kelompok tiang

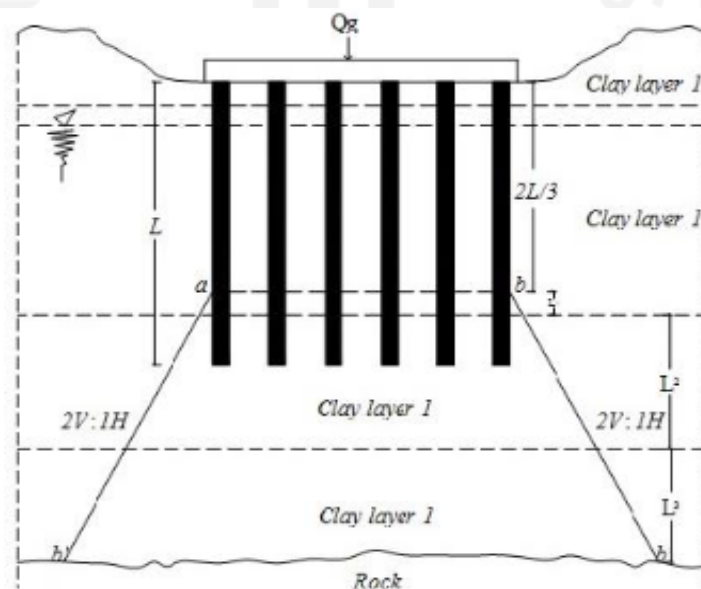
$S$  = penurunan pondasi tiang tunggal

$B_g$  = lebar kelompok tiang

$D$  = diameter tiang tunggal

#### 2. Penurunan Jangka Panjang

Penurunan jangka panjang terjadi secara berangsur – angsur dapat dilihat pada Gambar 3. Berikut ini.



**Gambar 3. 10** Penurunan Tiang Dengan Metode Penyebaran 2:1

(Sumber : Tomlinson, 1986)



Penurunan kelompok tiang menggunakan prosedur sebagai berikut :

- a.) tentukan beban kerja,
- b.) beban kerja di atas dialihkan pada kedalaman  $2/3D$ . di bawah *pile cap*.  
Penurunan tanah di atas kedalaman tersebut amat kecil dan dapat diabaikan,
- c.) beban kerja disebarkan ke bawah pondasi tiang dengan perkiraan pola penyebaran vertikal : horizontal = 2 : 1, dan
- d.) tanah dibagi atas lapis – lapis dengan masing – masing lapis ditentukan parameter kompresibelnya, tegangan efektif awal ( $Po'$ ) dan besarnya beban luar ( $\Delta P$ ). kemudian penurunan tiap lapis dijumlahkan.

Perhitungan penurunan pada masing-masing lapis dihitung menggunakan Persamaan 3. berikut.

$$S_{pg} = \sum \frac{C_c \Delta H.}{1+e_o} \cdot \log \frac{P_o' + \Delta P}{P_o'} \quad (3.)$$

keterangan :

$S_{pg}$  = penurunan kelompok tiang (m)

$C_c$  = indeks kompresi (lihat tabel 3.)

$\Delta H$  = tebal lapisan (m)

$\Delta P$  = tegangan efektif tanah pada lapisan ke-1 ( $kN/m^2$ )

$e_o$  = angka pori

$P_o'$  = tegangan efektif tanah ( $kN/m^2$ )

**Tabel 3. 4** Nilai Indeks Kompresi ( $C_c$ )

Jenis tanah	Nilai $C_c$
Gambut	1,00 - 4,50
Lempung plastis	0,15 - 1,00
Lempung kaku	0,06 - 0,15
Lempung setengah kaku	0,03 - 0,06
Pasir lepas	0,025 - 0,05
Pasir padat	0,005 - 0,01

(Sumber : Soedarno dan Purnomo (1993))

### 3.5.3 Penurunan yang Diizinkan

Menurut SNI 8460-2017 besarnya penurunan total dan penurunan yang diizinkan ditentukan berdasarkan toleransi struktur atas dan bangunan disekitar yang harus ditinjau berdasarkan masing-masing kasus tersendiri dengan mengacu integritas, stabilitas, dan fungsi dari struktur di atasnya.

Penurunan maksimum dapat diketahui dengan ketetapan yang memadai, dimana pada umumnya dapat diadakan hubungan antara penurunan yang diizinkan dengan penurunan total. Syarat perbandingan penurunan yang aman adalah  $S_{total} \leq S_{izin}$  dapat dirumuskan pada Persamaan 3.22 berikut ini

$$S_{izin} = 15 \text{ cm} + B/600 \quad (3.22)$$

keterangan,

$S_{izin}$  = penurunan yang diizinkan (cm)

B = diameter tiang (cm)

## 3.6 Pondasi Eksisting Telapak Setempat

### 3.6.1 Kapasitas Daya Dukung

#### 1. Daya dukung

Untuk mencari nilai kapasitas dukung ultimit pondasi telapak berbentuk bujur sangkar dapat digunakan dengan metode Terzaghi. Berikut adalah formula kapasitas dukung yang disajikan dalam Persamaan 3.23.

$$q_u = (0,4 \times \gamma \times B \times N_\gamma) + (1,3 \times C_u \times N_c) + (p_o \times N_q) \quad (3.23)$$

Keterangan,

$q_u$  = kapasitas dukung ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

$\gamma$  = berat volume tanah yang dipertimbangkan terhadap kedudukan muka air tanah ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )

$p_o$  =  $Df\gamma$  = tekanan overburden pada dasar fondasi ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

$Df$  = kedalaman fondasi (m)

B = lebar fondasi (m)

L = panjang fondasi (m)

$C_u$  = kohesi tanah ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

$N_\gamma, N_c, N_q$  = faktor/koeffisien daya dukung (lihat Tabel 3.4)

Menurut meyerhoff (1953) untuk mencari koeffisien daya dukung dapat dihitung menggunakan persamaan atau tabel korelasi dengan menyesuaikan parameter sudut geser dalam ( $\phi$ ) yang berada dibawah dasar pondasi,

**Tabel 3. 5** Korelasi Nilai  $N_\gamma, N_c, N_q$

$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5,14	1	0	17	12,34	4,77	1,66	34	42,16	29,44	31,15
1	5,38	1,09	0,002	18	13,1	5,26	2	35	46,12	33,3	37,15
2	5,63	1,2	0,01	19	13,93	5,8	2,4	36	50,59	37,75	44,43
3	5,9	1,31	0,02	20	14,83	6,4	2,87	37	55,63	42,92	53,27
4	6,19	1,43	0,04	21	15,82	7,07	3,42	38	61,35	48,93	64,07
5	6,49	1,57	0,07	22	16,88	7,82	4,07	39	67,87	55,96	77,33
6	6,81	1,72	0,11	23	18,05	8,66	4,82	40	75,31	64,2	93,69
7	7,16	1,88	0,15	24	19,32	9,6	5,72	41	83,86	73,9	113,99
8	7,53	2,06	0,21	25	20,72	10,66	6,77	42	93,71	85,38	139,32
9	7,92	2,25	0,28	26	22,25	11,85	8	43	105,11	99,02	171,14
10	8,35	2,47	0,37	27	23,94	13,2	9,46	44	118,37	115,31	211,41
11	8,8	2,71	0,47	28	25,8	14,72	11,19	45	133,88	134,88	262,74
12	9,28	2,97	0,6	29	27,86	16,44	13,24	46	152,1	158,51	328,73
13	9,81	3,26	0,74	30	30,14	18,4	15,67	47	173,64	187,21	414,32
14	10,37	3,59	0,92	31	32,67	20,63	18,56	48	199,26	222,31	526,44
15	10,98	3,94	1,13	32	35,49	3,18	22,02	49	229,93	265,51	674,91
16	11,63	4,34	1,38	33	38,64	26,09	26,17	50	266,89	319,07	873,84

(Sumber : Hardiyatmo, 2015)

## 2. Kontrol tegangan tanah

Tahanan momen arah x dan y dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.24 dan 3.25 berikut.

$$W_x = \frac{1}{6} x B_y x B_x^2 \quad (3.24)$$

$$W_y = \frac{1}{6} x B_x x B_y^2 \quad (3.25)$$

Keterangan,

W = tahanan momen ( $m^3$ )

B = lebar (m)

Eksentrisitas pada pondasi dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.26 berikut.

$$e = \frac{M_u}{P_u} \quad (3.26)$$

Dengan syarat,  $e < \frac{B}{6}$

Keterangan,

$e$  = eksentrisitas (m)

$B$  = lebar pondasi (m)

$M_u$  = momen ultimate (kNm)

$P_u$  = gaya ultimate (kN)

Tegangan maksimum yang terjadi pada dasar pondasi dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.27 berikut.

$$q = \frac{P_u}{A} \pm \frac{M_{ux}}{W_x} \pm \frac{M_{uy}}{W_y} + q \quad (3.27)$$

dengan syarat,  $q_{max} < q_a$  dan  $q_{min} > 0$

Keterangan,

$P_u$  = gaya ultimate (kN)

$A$  = luas dasar pondasi ( $m^2$ )

$M_{ux}$  = momen ultimate arah x (kNm)

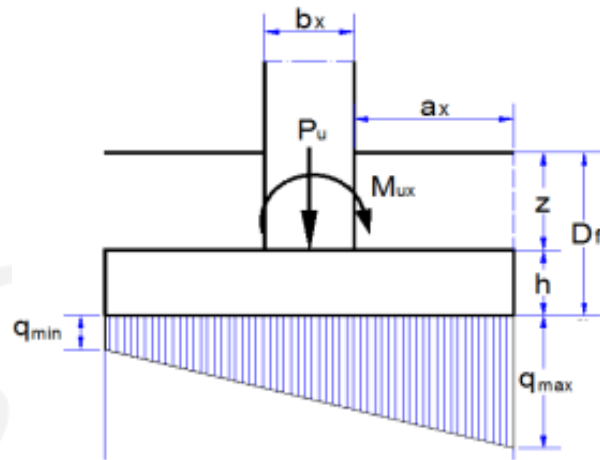
$M_{uy}$  = momen ultimate arah y (kNm)

$W_x$  = tahanan momen arah x ( $m^3$ )

$W_y$  = tahanan momen arah y ( $m^3$ )

$q$  = tekanan akibat berat pondasi dan tanah ( $kN/m^2$ )

Dibawah ini merupakan Gambar 3.8 skema tegangan tanah.



**Gambar 3. 11** Skema Tegangan Tanah

### 3.6.2 Penurunan

Penurunan pondasi dangkal diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu penurunan seketika (*Immediately Settlement*) dan penurunan konsolidasi (*Consolidation Settlement*). Penurunan seketika terjadi langsung ketika pembebanan bekerja, kebanyakan berkisar dari 0-7 hari dan terjadi pada tanah jenis lanau, pasir, dan tanah liat yang memiliki derajat kejenuhan ( $S_r\%$ )  $< 90\%$ . Sedangkan penurunan konsolidasi terjadi akibat adanya air yang keluar dalam pori tanah dikarenakan beban bekerja pada pondasi ditentukan oleh waktu pembebanan dan terjadi pada tanah jenuh ( $S_r = 100\%$ ) atau yang mendekati jenuh ( $S_r\% = 90$  s.d  $100\%$ ) atau pada tanah berbutir halus, yang memiliki nilai  $K \leq 10^{-6} m/s$ . Penurunan konsolidasi dibagi lagi menjadi 2 periode yaitu penurunan konsolidasi primer dan sekunder. Berikut adalah Persamaan 3.28 penurunan total ( $S_t$ ) yang terjadi :

$$S_t = S_i + S_{cp} + S_{cs} \quad (3.28)$$

keterangan,

$S_t$  = penurunan total

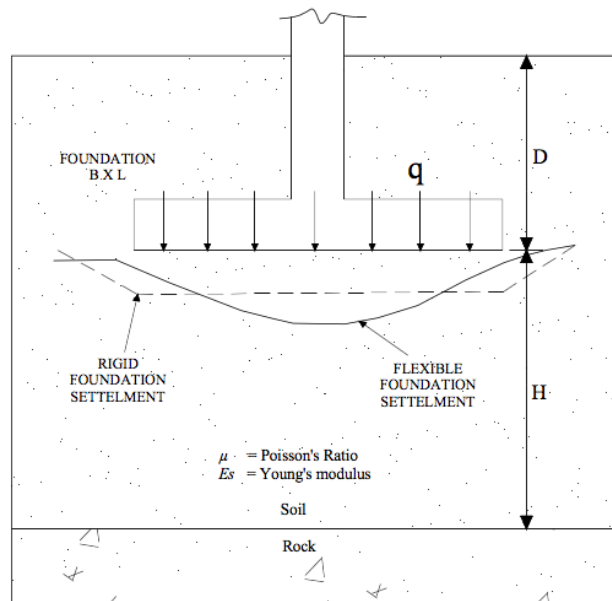
$S_i$  = penurunan seketika

$S_{cp}$  = penurunan konsolidasi primer

$S_{cs}$  = penurunan konsolidasi sekunder

### 1. Penurunan seketika

Berikut adalah Gambar 3.9 ilustrasi penurunan ketika fondasi akibat beban yang bekerja,



**Gambar 3. 12** Elastic Settlement of Flexible and Rigid Foundations

(Sumber : Rekayasa Pondasi Jilid 2, Gunadarma)

Persamaan penurunan seketika dikembangkan berdasarkan teori elastis dari Timoshenko dan Goodier (1951). Formula mencari penurunan seketika ditujukan pada Persamaan 3.29 berikut.

$$S_i = q \cdot B \frac{1 - \mu^2}{E_s} I_p \quad (3.29)$$

keterangan,

$q$  = tekanan pada dasar fondasi ( $\text{kN}/\text{m}^2$ )

$B$  = lebar pondasi (m)

$I_p$  = faktor pengaruh yang tergantung dari bentuk pondasi dan kekuatan pondasi (lihat tabel 3.5)

$\mu$  = rasio poisson (lihat tabel.3.6)

$E_s$  = modulus elastisitas tanah ( $\text{kN}/\text{m}^2$ ) (lihat tabel 3.3)

**Tabel 3. 6** Faktor Pengaruh  $I_p$  Untuk Pondasi Kaku (Schleicher,1962)

Bentuk pondasi	Fleksibel			Kaku	
	Pusat	Sudut	Rata-rata	$I_p$	m
Lingkaran	1,00	0,64	0,85	0,88	
Bujur sangkar	1,12	0,36	0,95	0,82	3,70
Empat persegi panjang					
L/B = 1,5	1,36	0,68	1,20	1,06	4,12
2,0	1,53	0,77	1,31	1,20	4,38
5,0	2,10	1,05	1,83	1,70	4,82
10,0	2,52	1,26	2,25	2,10	4,93
100,0	3,38	1,69	2,96	3,40	5,06

(Sumber : Hardiyatmo,2015)

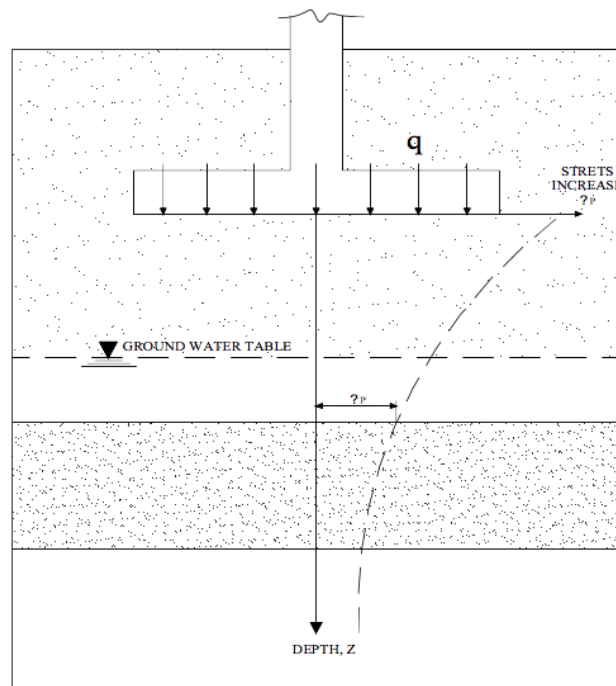
**Tabel 3. 7** Perkiraan Rasio Poison (Bowles,1968)

Macam tanah	$\mu$
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 = 0,4 - 0,7	0,15
Pasir halus (angka pori = 0,4 - 0,7	0,25
Batu (agak tergantung dari macamnya)	0,1 - 0,4
Loess	0,1 - 0,3

(Sumber : Hardiyatmo, 2017)

## 2. Penurunan Konsolidasi

Penurunan ini diakibatkan oleh keluarnya air pori dalam tanah akibat tambahan tegangan pada tanah tersebut. Dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut.



**Gambar 3. 13** Consolidation Settlement Calculation

(Sumber : Rekayasa Pondasi Jilid 2, Gunadarma)

a. Penurunan konsolidasi primer

Formula penurunan konsolidasi primer disajikan pada Persamaan 3.30 berikut.

$$S_{cp} = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_o} \left( \text{Log} \frac{p_o + \Delta P}{p_o} \right) \quad (3.30)$$

Keterangan,

$C_c$  = Compression Index (Tabel 3.7)

$H$  = Tinggi lapisan yang mengalami konsolidasi

$e_o$  = angka pori

$p_o$  = Tegangan efektif vertikal

$\Delta P$  = Tambahan tegangan



Besarnya tambahan tegangan ( $\Delta P$ ) pada lapisan tanah lempung tidak konstan tergantung pada kedalaman yang ditinjau. Besarnya  $P$  akan mengecil dengan bertambahnya kedalaman yang ditinjau terhadap dasar pondasi. Rata-rata pertambahan tegangan dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3.31 berikut.

$$\overline{\Delta P} = \frac{1}{6} (\Delta P_t + 4\Delta P_m + \Delta P_b) \quad (3.31)$$

keterangan,

- $P_t$  = tambahan tegangan pada lapisan lempung bagian atas  
 $P_m$  = tambahan tegangan pada lapisan lempung bagian tengah  
 $P_b$  = ttambahan tegangan pada lapisan lempung bagian bawah

### 3.7 Distribusi Beban Gempa

#### 3.7.1 Analisis Distribusi Beban Gempa

Dalam menganalisis distribusi beban gempa, ada beberapa perhitungan yang harus dilakukan. Berikut formula yang disajikan dalam Persamaan 3.36

##### 1. Klasifikasi profil tanah

Berdasarkan SNI Gempa 1726-2012 Pasal 5.3, menjelaskan mengenai prosedur klasifikasi tanah untuk memberikan kriteria desain seismic berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Klasifikasi profil tanah dapat dilihat pada Tabel 3.12 berikut.

**Tabel 3. 8** Klasifikasi Profil Tanah

Kelas Situs	V <sub>s</sub> (m/det)	N atay Na	Su (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15-50	50-100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu lebih dari karakteristik berikut : - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$ )  Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa		

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

## 2. Periode struktur bangunan (T)

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 periode struktur bangunan menentukan besar beban gempa yang akan dioperasikan pada gedung.

## a. Waktu getar struktur (T)

Menurut SNI 03-1726-2012 waktu getar struktur pada rangka beton dapat menggunakan Persamaan 3.33 berikut

$$T_a = 0,0466 \times H^{0,9} \quad (3.33)$$

Keterangan,

$H$  = tinggi struktur bangunan

b. Faktor keutamaan (I) dan kategori risiko struktur bangunan

Menurut SNI 03-1726-2012 bagian 4.1.2 Tabel 1 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa. Pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan (I) yang disajikan dalam Tabel 3.8 Berikut ini

**Tabel 3. 9** Faktor Keutamaan (I) Untuk Berbagai Kategori Bangunan

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

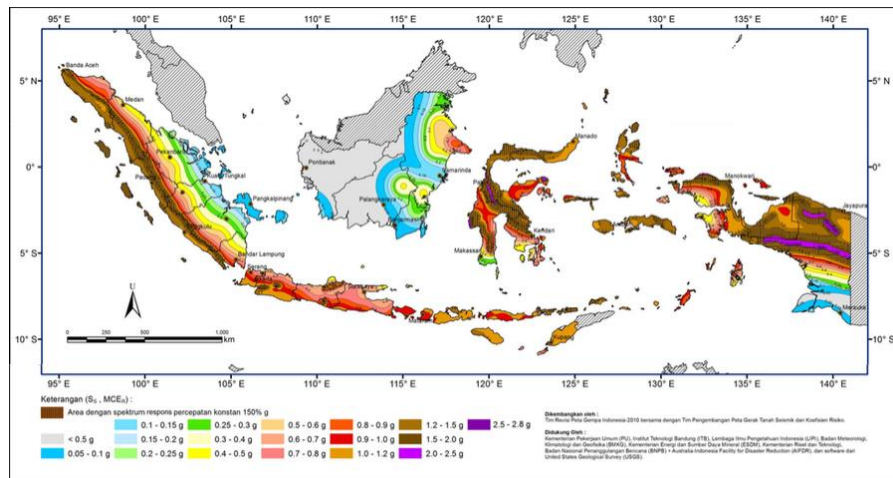
(Sumber : Badan Standarisasi Nasional SNI, 03-1726-2012)

c. Nilai respon spektrum gempa (C)

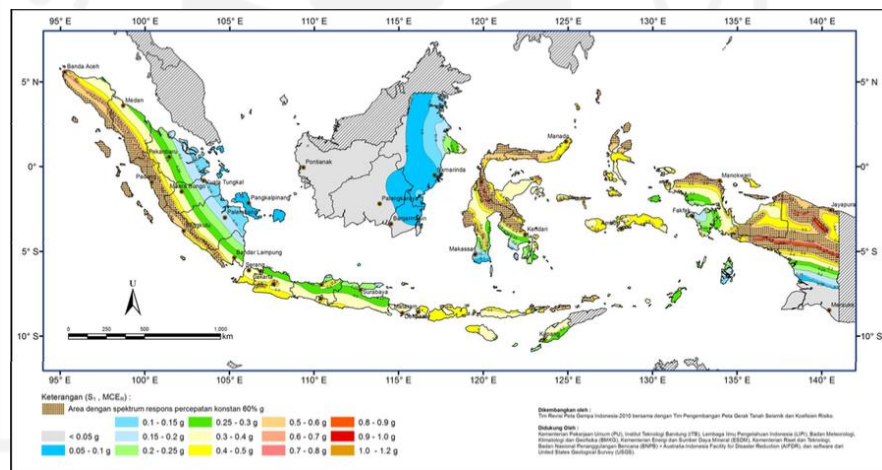
Menurut SNI SNI 03-1726-2012 untuk mencari nilai respon spektrum gempa diketahui dengan cara mencari parameter percepatan terpetakan. Parameter tersebut terdiri dari percepatan batuan dasar pada perioda pendek ( $S_s$ ) dan percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik ( $S_1$ ) yang dapat dilihat pada Gambar 3.12 dan 3.13.

Data  $F_a$ ,  $F_v$ ,  $S_s$ , dan  $S_1$  dapat ditentukan dalam pasal-pasal SNI 03-1726-2012 berikut ini:

- 1.) Koefisien situs untuk perioda pendek pada perioda 0,2 detik ( $F_a$ ) dapat dilihat pada pasal 6.2
- 2.) Koefisien situs untuk perioda jangka panjang ( $F_v$ ) dapat dilihat pada pasal 6.2
- 3.) Parameter percepatan respon sprectal MCE dari peta gempa pada perioda pendek redaman 5% ( $S_s$ ) dapat dilihat pada 6.1.1
- 4.) Parameter percepatan respon spectral MCE dari peta gempa pada perioda 1 detik, redaman 5% ( $S_1$ ) dapat dilihat pada pasal 6.1.1



**Gambar 3. 14** Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar pada Periode Pendek  
 (Sumber : Badan Standarisasi Nasional SNI, 03-1726-2012)



**Gambar 3. 15** Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar pada Periode Pendek (S<sub>1</sub>)  
 (Sumber : Badan Standarisasi Nasional SNI, 03-1726-2012)

d. Beban geser nominal (V)

Menurut SNI 03-1726-2012 perhitungan beban geser nominal menggunakan Persamaan 3.34 berikut.

$$V = C_s \times W_t \tag{3.34}$$

- e. Cek gaya geser dinamik dan statik ekuivalen

Nilai gaya geser gempa dinamik tidak boleh diambil < 85% dari nilai gempa statik. Jika nilai gempa dinamik < 85% dari nilai gempa statik maka harus dikalikan dengan faktor skala pada Persamaan 3.35 berikut.

$$\text{Faktor skala} = \frac{0,85 \times V_s}{V_d} \geq 1 \quad (3.35)$$

### 3.8 Structural Analysis Program (SAP2000)

SAP merupakan *software* computer yang digunakan untuk menganalisis dan merancang kekuatan struktur bangunan. Prinsip penggunaan *software* ini adalah permodelan struktur, eksekusi analisis, dan pemeriksaan/ optimasi desain yang dilakukan bersamaan pada satu tampilan. Tampilan tersebut berupa model secara *real time* dimana hal tersebut memudahkan penggunanya melakukan permodelan secara menyeluruh dalam waktu singkat namun dengan hasil yang tepat.

*Output* yang dihasilkan dapat ditampilkan sesuai dengan kebutuhan, baik berupa model struktur, grafik, maupun *spreadsheet*. Semua itu dapat disesuaikan dengan kebutuhan penyusunan laporan analisis dan desain. Berikut merupakan beberapa kemampuan yang dimiliki pada *SAP2000* :

1. Analisis yang cepat serta akurat,
2. Model pembebanan lebih lengkap baik berupa *static* maupun *dynamic loading*,
3. Permodelan elemen shell yang lebih akurat,
4. Analisis *dynamic* dengan *Ritz and eigenvalue*,
5. System koordinat ganda untuk bentuk geometri struktur yang kompleks.

Langkah awal yang dilakukan pada *software SAP2000* adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi *joint, frame, restraint, dan constraint* dengan menyesuaikan gambar teknik yang digunakan,
2. Pendefinisian karakteristik material dan *frame section* menyesuaikan karakteristik material seperti kuat tekan beton, mutu baja, dan lain-lain,
3. Menentukan penmapang yaitu menggunakan balok, kolom, dan pelat, kemudian dikodefikasi menyesuaikan gambar teknik,

4. Pendefinisian beban (*load*), meliputi beban mati ( $W_D$ ), beban hidup ( $W_L$ ), dan kombinasi (*combo*) dengan koefisien berikut

- a.  $1,4 D$
- b.  $1,2 D + 1,6 L$
- c.  $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 1,3 R_{sx} + 0,39 R_{sy}$
- d.  $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 1,3 R_{sx} - 0,39 R_{sy}$
- e.  $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 1,3 R_{sx} + 0,39 R_{sy}$
- f.  $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 1,3 R_{sx} - 0,39 R_{sy}$
- g.  $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 0,39 R_{sx} + 1,3 R_{sy}$
- h.  $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 0,39 R_{sx} - 1,3 R_{sy}$
- i.  $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 0,39 R_{sx} + 1,3 R_{sy}$
- j.  $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 0,39 R_{sx} - 1,3 R_{sy}$
- k.  $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 1,3 R_{sx} + 0,39 R_{sy}$
- l.  $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 1,3 R_{sx} - 0,39 R_{sy}$
- m.  $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - 1,3 R_{sx} + 0,39 R_{sy}$
- n.  $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - 1,3 R_{sx} - 0,39 R_{sy}$
- o.  $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 0,39 R_{sx} + 1,3 R_{sy}$
- p.  $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 0,39 R_{sx} - 1,3 R_{sy}$
- q.  $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - 0,39 R_{sx} + 1,3 R_{sy}$
- r.  $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - 0,39 R_{sx} - 1,3 R_{sy}$

dengan :

$S_{DS}$  = Parameter percepatan spectrum respons desain pada periode pendek

$D$  = Beban Mati

$L$  = Beban hidup

$R_{sx}$  = Beban gempa dinamik arah x

$R_{sy}$  = Beban gempa dinamik arah y

5. Analisis struktur dengan *run analysis*,

Dari analisis tersebut akan didapatkan gaya-gaya dalam akibat kombinasi beban {kombinasi 1} yaitu gaya normal (P), gaya geser (H), dan momen (M) yang bekerja pada tiap kolom dasar, dimana kombinasi beban tersebut akan dipakaisebagai beban rencana pada analisis kapasitas dukung fondasi tiang bor.

## **BAB IV METODE PENELITIAN**

### **4.1 Metode Penelitian**

Analisis penelitian merupakan analisis kapasitas dukung pondasi tiang bor yang mengambil objek di proyek pembangunan gedung Masjid Hajjah Yuliana Madrasah Muallimin Muhammadiyah Yogyakarta. Metode yang digunakan adalah metode *Meyerhoff*. Dari hasil kapasitas dukung yang dilakukan, diharapkan dapat menahan beban struktur atas dan mengalami penurunan (*settlement*) yang berada pada batas toleransi (tidak berlebihan).

Pondasi merupakan struktur bawah pada suatu bangunan, nilai kapasitas dukung pondasi dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut.

1. Jenis, bentuk, serta dimensi,
2. Beban struktur di atas pondasi (struktur atas),
3. Jarak antar pondasi,
4. Kondisi tanah (propertis tanah),
5. Tinggi muka air tanah, dsb.

Berikut ini adalah variabel – variabel yang terdapat dalam penelitian analisis daya dukung dan penurunan pondasi tiang bor pada proyek pembangunan gedung Masjid Hajjah Yuliana Madrasah Muallimin.

1. Variabel bebas, meliputi dimensi dari pondasi yang digunakan,
2. Variabel terikat, meliputi kapasitas dukung pondasi (kapasitas dukung ujung, kapasitas dukung selimut, kapasitas dukung ultimit, kapasitas dukung ijin, kapasitas dukung kelompok tiang), dan penurunan pondasi.

### **4.2 Pengumpulan Data**

Data pada penelitian ini diperoleh dari proyek pembangunan gedung Masjid Hajjah Yuliana Madrasah Muallimin Muhammadiyah Yogyakarta. Dimana data

yang digunakan sebagai sarana mencapai maksud dan tujuan penelitian adalah sebagai berikut. Gambar teknis pembangunan gedung Masjid Hajjah Yuliana Madrasah Muallimin Muhammadiyah

1. Data beban pada pembangunan gedung Masjid Hajjah Yuliana Madrasah Muallimin Muhammadiyah
2. Data penyelidikan tanah hasil laboratorium dan SPT

#### **4.3 Analisis Pembebanan**

Analisis pembebanan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besar beban yang akan ditumpu oleh pondasi. Penulis melakukan analisis pembebanan dengan bantuan *software* (aplikasi komputer) *SAP2000*. Pengoperasian ini dilakukan dengan cara memasukkan data struktur gedung (kolom, balok, pelat) dan beban yang bekerja (beban mati, beban hidup, beban gempa). Kemudian data tersebut diperoleh gaya-gaya akan yang bekerja pada kolom yaitu gaya aksial, geser, dan momen dimana selanjutnya digunakan untuk analisis selanjutnya.

#### **4.4 Analisis Pondasi Tiang Bor**

Beberapa hal yang dilakukan pada metode analisis penelitian diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Studi pustaka  
Studi pustaka sebagai acuan peneliti untuk analisis setelah subjek ditentukan. Meliputi buku, pendapat, penelitian terdahulu, maupun teori-teori yang berhubungan dengan penelitian,
2. Metode pengumpulan data  
Data merupakan faktor yang sangat penting dalam menentukan jenis pekerjaan yang akan dipilih dalam perencanaan pekerjaan konstruksi. Pada penelitian ini data tersebut diperoleh dari Manajemen Konstruksi Tim Pengembangan Kampus Terpadu Mu'allimin Muhammadiyah YK.

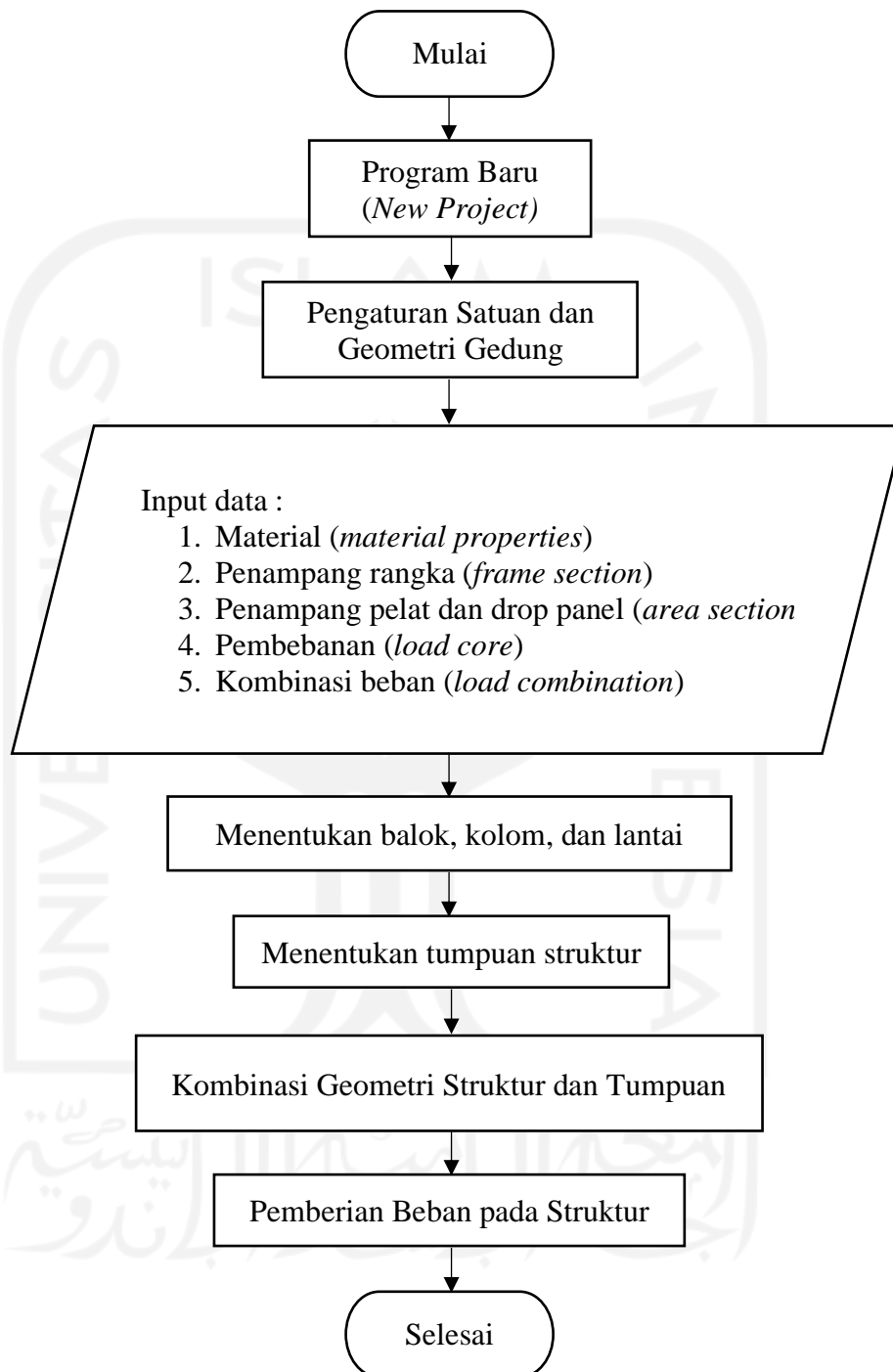
Langkah selanjutnya adalah menghitung kapasitas dukung tiang (tunggal dan kelompok) dan penurunan. Adapun langkah-langkah yang diambil untuk perhitungan yaitu sebagai berikut.



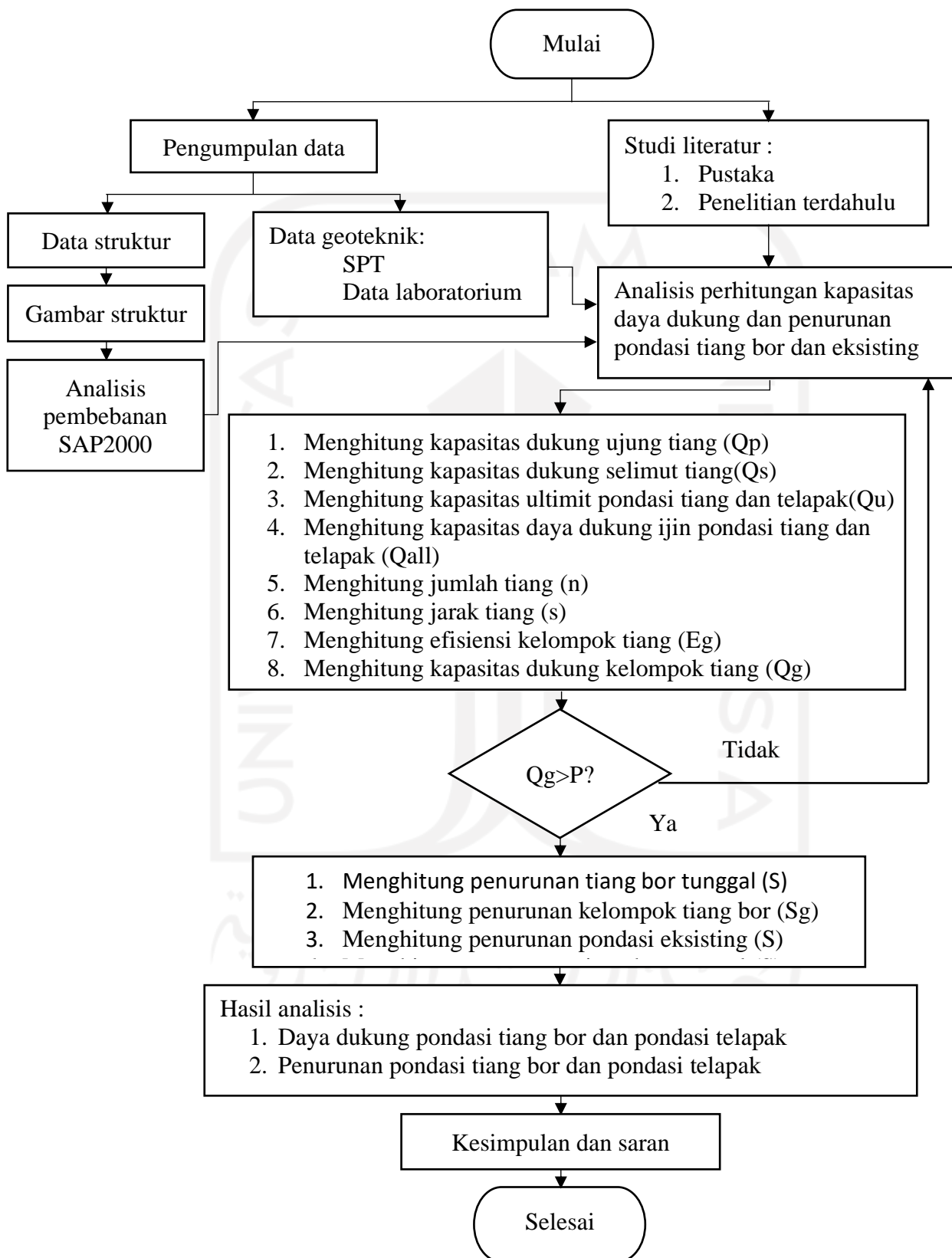
1. Menghitung kapasitas dukung  
Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam perhitungan yaitu :
  - a. mencari nilai daya dukung ujung pada ujung tiang,
  - b. mencari daya dukung ultimit tiang,
  - c. mencari daya dukung ijin tiang,
  - d. Mencari jumlah tiang,
  - e. Mencari daya dukung pondasi eksisting.
2. Menghitung kapasitas dukung tiang bor kelompok
  - a. Faktor efisiensi ( $E_g$ ),
  - b. Jumlah tiang ( $n$ ),
  - c. Jarak tiang kelompok ( $s$ ).
3. Menghitung penurunan pondasi
  - a. penurunan pondasi tiang bor tunggal ( $S$ ),
  - b. penurunan pondasi tiang bor kelompok ( $S_g$ ),
  - c. Penurunan pondasi eksisting.

#### **4.5 Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian**

Pelaksanaan penelitian dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu pengumpulan data dan studi literature, analisis data dan perhitungan kapasitas daya dukung dan penurunan pondasi tiang bor, perhitungan kapasitas daya dukung dan penurunan pondasi eksisting, hasil dan pembahasan serta kesimpulan dan saran. Bagan alir pembebanan menggunakan program SAP2000 dan metode pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2



Gambar 4. 1 Bagan Alir Analisis Struktur dengan *Software* SAP2000



**Gambar 4. 2** Bagan Alir Metode Pelaksanaan Penelitian

## BAB V ANALISIS PONDASI TIANG BOR

### 5.1 Data Gedung Masjid Hajjah Yuliana Madrasah Muhammadiyah Muallimin

Gedung Masjid Hajjah Yuliana Madrasah Muhammadiyah Muallimin Yogyakarta merupakan gedung yang dibangun sebagai sarana untuk mendapatkan ilmu guna mempermudah proses belajar mengajar. Gedung ini berada di Desa Arjosari, Sedayu, Bantul, Yogyakarta. Perencanaan pembangunan akan dibangun 3 lantai dengan panjang bentang dan jarak antar portal bervariasi. Elevasi lantai dasar berada pada kedalaman -2,5 m terhadap elevasi patok referensi yang digunakan di lokasi tersebut, sehingga sebagian besar bangunan akan berada di atas timbunan. Lokasi proyek dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut ini.



**Gambar 5. 1** Lokasi Gedung Masjid Hajjah Yulianan

(Sumber : Google Earth)

### 5.1.1 Data Umum Proyek

Data umum pembangunan gedung Masjid Hajjah Yuliana Madrasah Muhammadiyah Muallimin adalah sebagai berikut :

1. Nama proyek : Masjid Hajjah Yuliana Kampus Terpadu  
Madrasah Mu'allimin Muhammadiyah  
Yogyakarta
2. Pemilik proyek : Madrasah Mu'allimin Muhammadiyah
3. Kontraktor : PT. PP (PERSERO), TBK
4. Perencana : PT. CIPTA TUNTAS LARAS
5. Konsultan pengawas : Manajemen Konstruksi Tim Pengembangan  
Kampus Terpadu Mu'allimin  
Muhammadiyah YK
6. Lokasi proyek : Desa Argorejo
7. Konstruksi bagian atas : Beton bertulang
8. Konstruksi bagian bawah : Telapak setempat
9. Biaya Proyek : Rp. 24.600.000.000,-
10. Waktu penyelesaian : 333 hari kalender

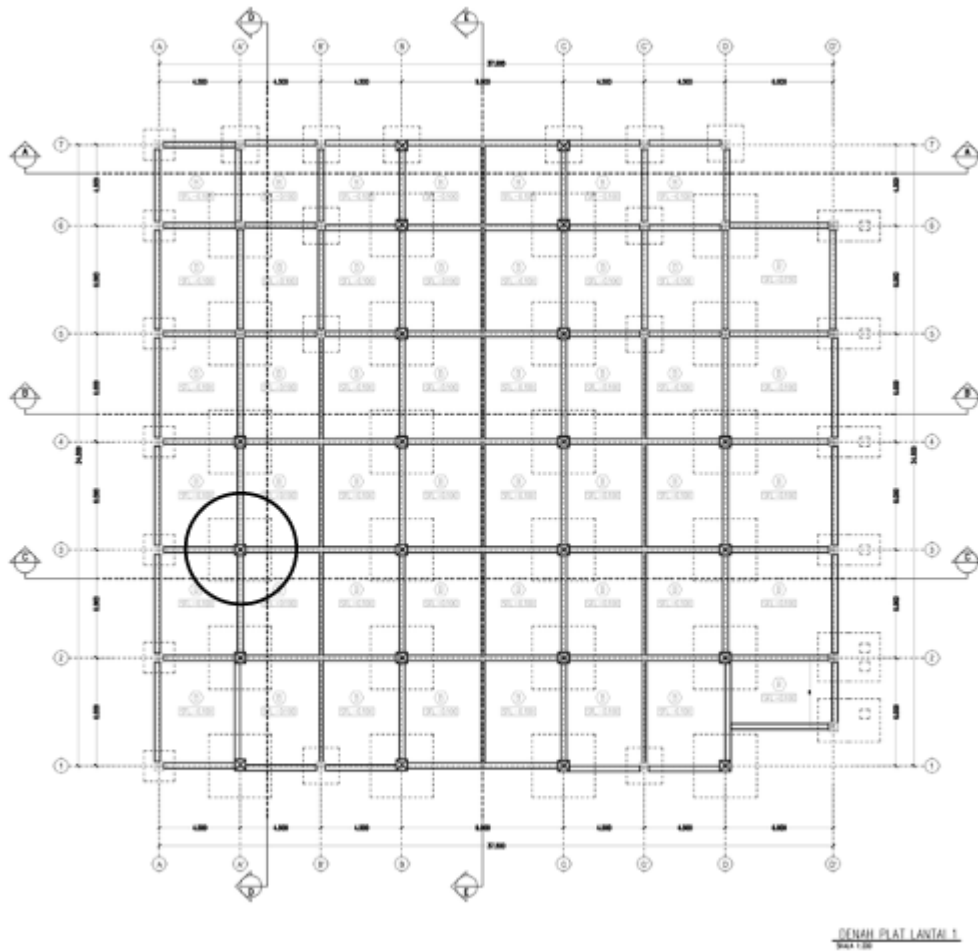
### 5.1.2 Spesifikasi Material

Material yang digunakan pada pembangunan gedung masjid Hajjah Yulianan Madrasah Muhammadiyah Muallimin adalah sebagai berikut :

1. Beton telapak dengan mutu  $f_c$  ' sebesar 30 Mpa
2. Tulangan baja ulir mutu baja  $f_y$  ' sebesar 400 Mpa
3. Tulangan baja polos mutu baja  $f_y$  ' sebesar 240 MPa
4. Tulangan baja struktur BJ 37 ( $f_y = 240$  MPa,  $f_u = 370$  MPa)

### 5.1.3 Denah Konstruksi

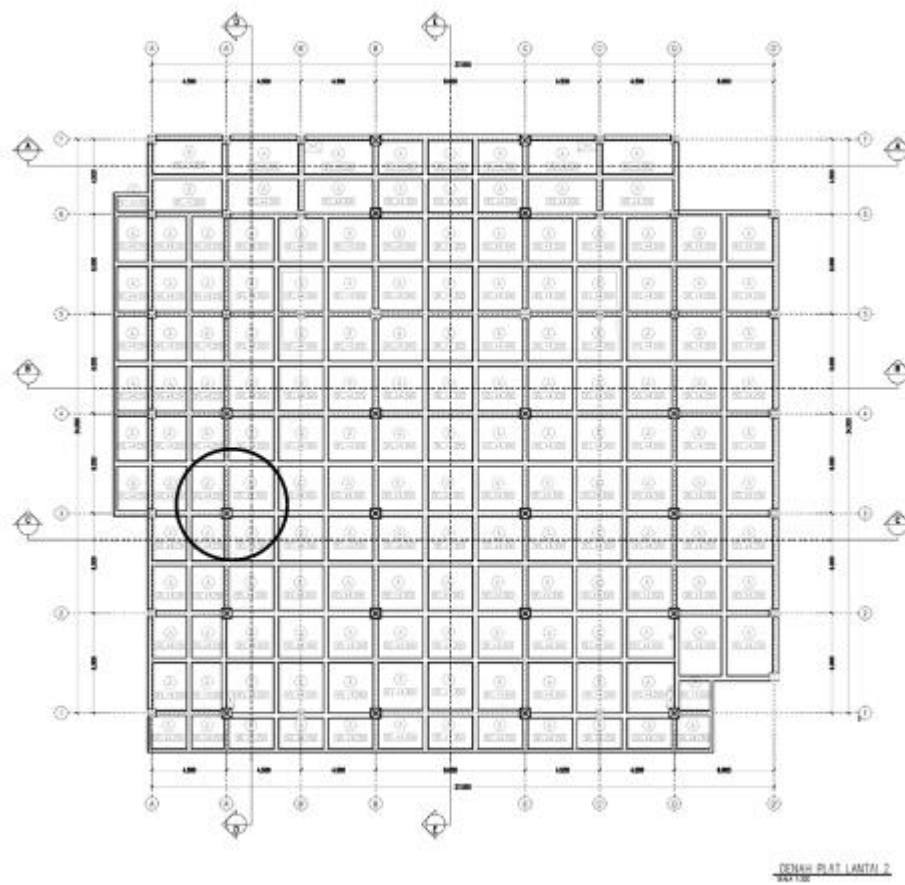
Denah gedung masjid Hajjah Yuliana Madrasah Muhammadiyah Muallimin dapat dilihat pada Gambar 5.2, 5.3, 5.4, dan 5.5 berikut ini.



**Gambar 5. 2** Denah Pelat Lantai 1

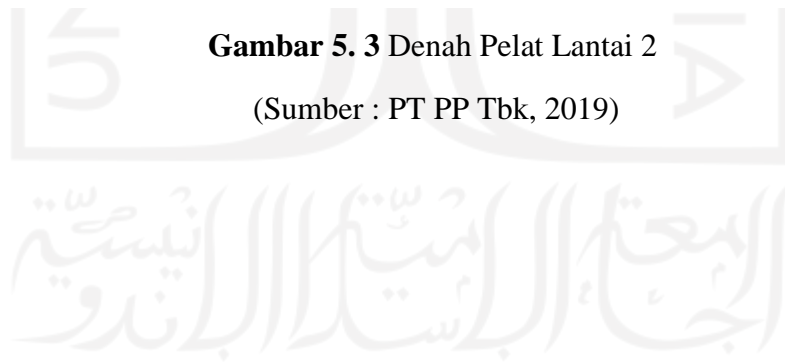
(Sumber : PT PP Tbk, 2019)

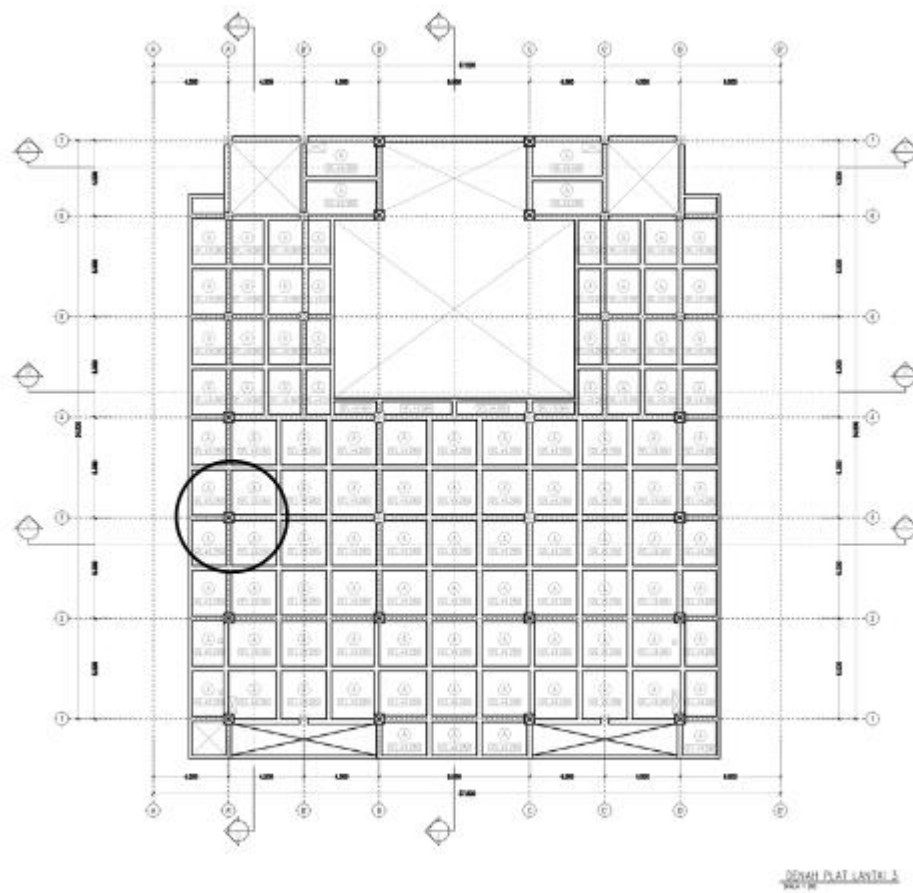
الجامعة الإسلامية  
الاستدائدية



**Gambar 5. 3** Denah Pelat Lantai 2

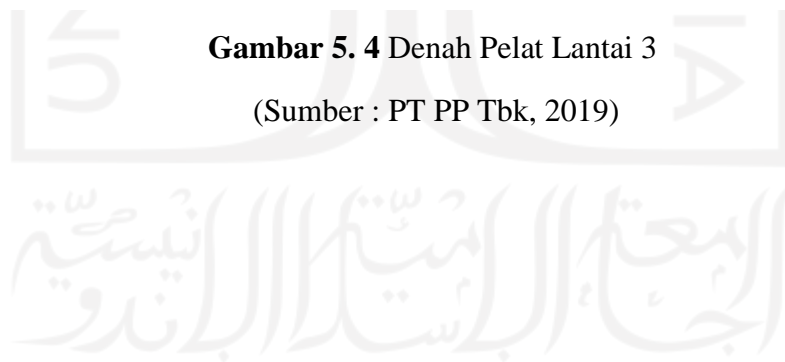
(Sumber : PT PP Tbk, 2019)



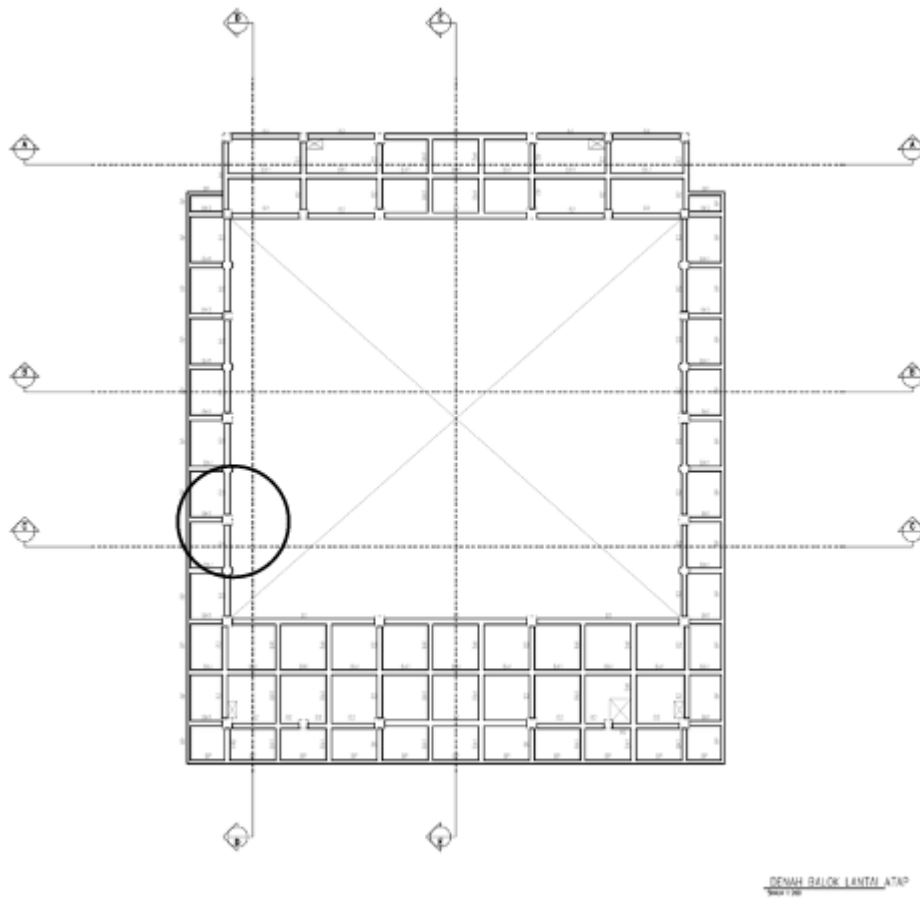


**Gambar 5. 4** Denah Pelat Lantai 3

(Sumber : PT PP Tbk, 2019)







**Gambar 5. 5** Denah Balok Lantai Atap

(Sumber : PT PP Tbk, 2019)

#### 5.1.4 Data Struktur

Struktur utama gedung ini meliputi struktur atas berupa beton bertulang dan struktur bawah berupa pondasi telapak setempat. Penulis akan menghitung struktur bawah bangunan tersebut menggunakan pondasi tiang bor meliputi perhitungan kapasitas daya dukung dan penurunan.

Struktur atas adalah struktur yang berada tegak lurus diatas pondasi atau berada diatas muka tanah. Struktur bagian atas terdiri dari kolom, balok, pelat, dan atap. Kolom merupakan bagian dari kerangka bangunan yang menempati bagian terpenting pada system struktur bangunan. Jika terjadi kegagalan dengan kolom, dapat mengakibatkan keruntuhan struktur yang berhubungan dengannya, di kondisi

terburuknya dapat terjadi keruntuhan total pada struktur bangunan (Istimawan D., 1999). Kolom berfungsi meneruskan beban bangunan dari atas hingga sampai ke pondasi. Balok merupakan komponen struktur yang dirancang untuk menanggung, mentransfer beban menuju elemen kolom penumpang serta pengikat kolom-kolom agar ketika terjadi pergerakan pada bangunan kolom-kolom tetap bersatu mempertahankan posisi seperti semula.

Komponen struktur atas yang digunakan dalam proyek pembangunan gedung masjid Hajjah Yuliana adalah sebagai berikut :

1. Kolom  
Digunakan kolom beton bertulang dengan mutu beton  $f'c$  sebesar 30 MPa.
2. Balok  
Digunakan balok dengan mutu beton  $f'c$  sebesar 30 MPa.

## 5.2 Pembebanan Struktur

Berikut pembebanan yang digunakan dalam proyek pembangunan gedung Masjid Hajjah Yuliana Madrasah Muallimin.

1. Beban Hidup  
Pada SNI 1727 : 2013 dikatakan bahwa beban hidup merupakan beban dari pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang bukan termasuk beban konstruksi. Beban hidup dikategorikan dari fungsinya menurut SNI 03-1726-2012 bangunan Masjid nilainya sebesar 4,79,
2. Beban Mati  
Pembebanan beban mati 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

no	Material	Dimensi	Berat volume	Beban	Ket
		m	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	
1	Plat beton	0.12	2400	312.00	
2	Spesi	0.03	1700	51.00	
3	Pasir	0.03	1600	48.00	
4	Keramik			10.42	
5	Plafond			9.27	
6	Mechanical/Electrical			12.00	
7	Partisi			73.40	
Qd Lantai				204.09	kg/m <sup>2</sup>
				0.20	t/m <sup>2</sup>
				2.002	kN/m <sup>2</sup>

## b. Atap

Analisis beban mati pada atap dapat dilihat pada tabel 5.2 berikut ini

**Tabel 5. 2** Analisis Beban Hidup Pada Atap

no	Material	Dimensi	Berat volume	Beban	Ket
		m	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	
1	Beton bertulang	0.10	2400	240.00	
2	Spesi	0.03	1700	51.00	
3	Water proofing			3.00	
Qd Atap				54.00	kg/m <sup>2</sup>
				0.054	t/m <sup>2</sup>
				0.53	kN/m <sup>2</sup>

## 3. Beban Gempa

Pada pembangunan ini difungsikan sebagai gedung pendidikan yang memiliki tipe tanah lempung.

## a. Perioda struktur bangunan (T)

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 perioda struktur bangunan menentukan besar beban gempa yang akan dioperasikan pada gedung.

## 1) Perioda Fundamental Pendekatan (Ta)

Masjid Hajjah Yuliana memiliki tinggi bangunan 20 m dengan tipe struktur rangka beton pemikul momen. Nilai koefisien pendekatan Ct

dan  $x$  dapat dilihat pada Tabel 15 Nilai Parameter Periode Pendekatan  $T_c$  dan  $x$  SNI 03-1726-2012. Berikut adalah persamaan yang digunakan

$$\begin{aligned} T_a &= 0,0466 \times H^{0,9} \\ &= 0,0466 \times 18,5^{0,9} \\ &= 0,6408 \text{ detik} \end{aligned}$$

2) Periode Computed ( $T_c$ )

Periode computed didapatkan dari hasil analisis pada aplikasi SAP2000 yaitu sebesar 3,5730 detik

3) Periode ( $T$ )

Periode fundamental didapatkan dari penggunaan pendekatan koefisien batas atas disesuaikan berdasarkan SNI 03-1726-2012 pada Tabel 14. Didapatkan nilai batas atas ( $C_u$ ) sebesar 1,5 Sehingga berikut adalah persamaan yang digunakan

$$\begin{aligned} T &= C_u \times T_a \\ &= 1,5 \times 0,6408 \\ &= 0,9612 \text{ detik} \end{aligned}$$

Persyaratan periode sebagai berikut :

Jika  $T_c > C_u T_a$  maka  $T = C_u T_a$

Jika  $T_a < T_c < C_u T_a$  maka  $T = T_c$ , dan

Jika  $T_c < T_a$  maka  $T = T_a$

Dari hasil perhitungan didapatkan 0,9612 detik, maka  $T$  yang digunakan menurut persyaratan diatas sebesar 0,9612 Detik

b. Faktor keutamaan (I) dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Menurut SNI 03-1726-2012 bagian 4.1.2 dikatakan bahwa kategori risiko bangunan untuk gedung pendidikan termasuk kategori risiko III dengan nilai sebesar 1,25.

c. Nilai Respon Spektrum Gempa

Menurut SNI SNI 03-1726-2012 untuk mencari nilai respon spektrum gempa diketahui dengan cara mencari parameter percepatan terpetakan. Parameter tersebut terdiri dari percepatan batuan dasar pada perioda pendek ( $S_s$ ) dan percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik ( $S_1$ ) yang dapat dilihat pada Gambar 5.6 dan 5.7.

Data  $F_a$ ,  $F_v$ ,  $S_s$ , dan  $S_1$  dapat di tentukan dalam pasal-pasal SNI 03-1726-2012 berikut.

1. Koefisien situs untuk perioda pendek pada perioda 0,2 detik ( $F_a$ ) dapat dilihat pada pasal 6.2
2. Koefisien situs untuk perioda jangka panjang ( $F_v$ ) dapat dilihat pada pasal 6.2
3. Parameter percepatan respon sprectal MCE dari peta gempa pada perioda pendek redaman 5% ( $S_s$ ) dapat dilihat pada pasal 6.1.1. Disajikan pada Gambar 3.15
4. Parameter percepatan respon spectral MCE dari peta gempa pada perioda 1 detik, redaman 5% ( $S_1$ ) dapat dilihat pada pasal 6.1.1. disajikan pada Gambar 3.16

Berdasarkan pasal-pasal tersebut didapatkan nilai yang digunakan dalam perhitungan respon spektrum yang dapat dilihat pada Tabel 5.3, 5.4 , Dan 5.5 serta hasil respon spektrum tersaji pada Gambar 3.8 berikut.

**Tabel 5. 3** Respon Spektrum Percepatan Periode Pendek

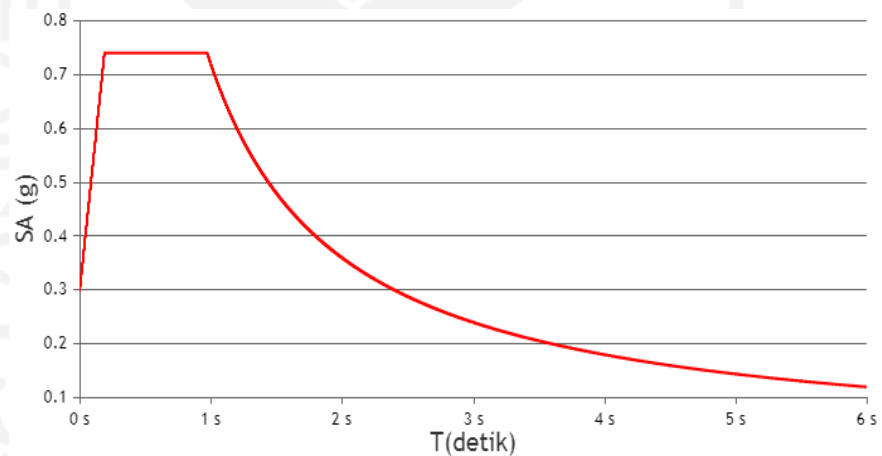
Respon Spectrum Percepatan Periode Pendek	
$S_s$	1,041
$F_a$	0,900
$S_{MS}$	0,937
$S_1$	0,485
$F_v$	2,400
$S_{M1}$	1,165

**Tabel 5. 4** Parameter Percepatan Spektrum Desain

Parameter Percepatan Spectrum Desain	
$S_{DS}$	0,6245
$S_{D1}$	0,7768

**Tabel 5. 5** Faktor Koreksi Kerentanan

Faktor Koreksi Kerentanan	
$C_{RS}$	0,900
$C_{R1}$	1,000
$S_{DSr}$	0,567
$S_{D1r}$	0,260

**Gambar 5. 6** Hasil Respon Spektrum

(Sumber : Desain Spektra Indonesia, 2020)

## d. Beban Geser Nominal (V)

Menurut SNI 03-1726-2012 perhitungan beban geser nominal adalah sebagai berikut.

$$V = C_s \times W_t$$

$$= 0,0423 \times 4887,6238$$

$$= 206,5751 \text{ kN}$$

e. Cek Gaya Geser Dinamik dan Statik Ekuivalen

Nilai gaya geser gempa dinamik tidak boleh diambil  $< 85\%$  dari nilai gempa statik. Jika nilai gempa dinamik  $< 85\%$  dari nilai gempa statik maka harus dikalikan dengan faktor skala berikut persamaannya

$$\text{Faktor skala} = \frac{0,85 \times V_s}{V_d} \geq 1$$

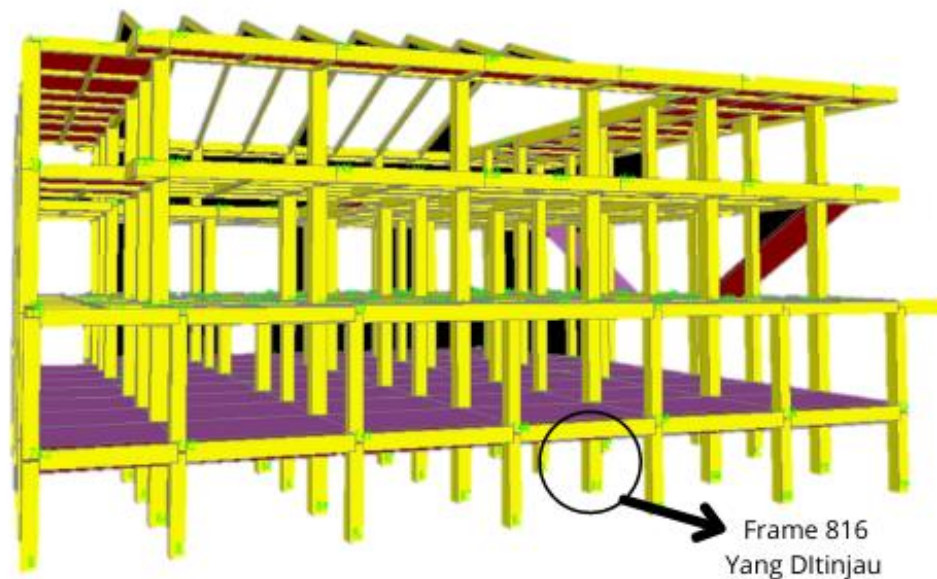
Untuk mengecek gaya geser pada analisis pembebanan gedung, dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

**Tabel 5. 6** Pengecekan Gaya Geser Dinamik dan Statik Ekuivalen

	VRS <sub>x</sub>	VRS <sub>y</sub>
Dinamik (kN)	7334,879	7334,840
Simbol	>	>
Statik (kN) (0,85.V <sub>s</sub> )	7334,8319	7334,8319
Keterangan (V <sub>d</sub> > 0,85.V <sub>s</sub> )	OKE	OKE

### 5.2.1 OUTPUT Program SAP2000

Analisis perhitungan pembebanan gedung dilakukan dengan menggunakan *software SAP2000* dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



**Gambar 5. 7** Permodelan SAP2000 Dalam 3 Dimensi

(Sumber : Software SAP2000)

Analisis struktur dengan program SAP2000 menggunakan asumsi perletakan jepit-jepit dengan tujuan tidak adanya pergeseran pada struktur. Beban mati terdiri dari berat tiap pelat lantai dari lantai 1 hingga lantai 4(atap). Beban mati untuk lantai 1-3 sebesar  $2,002 \text{ kN/m}^2$  dan untuk lantai 4(atap) diperoleh sebesar  $0,53 \text{ kN/m}^2$ .

Beban gempa dihitung dan dimasukkan berdasarkan masing-masing ketinggian serta portal di setiap lantai. Input beban gempa dilakukan secara dua arah, yaitu horizontal (x) dan vertikal (y). Tinggi lantai akan mempengaruhi besar beban gempa, semakin tinggi lantai maka nilai beban gempa semakin besar.

Hasil *output* dari software SAP2000 didapatkan gaya-gaya dalam *frame 816* akibat kombinasi beban yaitu :

Beban aksial (P)	= 3304,229 kN
Gaya geser (H)	= 270,058 kN
Momen arah x (Mx)	= 161,595 kNm
Momen arah y (My)	= 447,625 kNm



Gaya-gaya maksimum pada kolom dasar digunakan sebagai beban rencana untuk analisis pondasi tiang bor. Hasil dari perhitungan (*output*) software SAP2000 dapat dilihat pada lampiran

### 5.3 Data Karakteristik Tanah

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah yang dilakukan di lokasi secara geologis, daerah tersebut merupakan daerah tanah lempung. Penyelidikan tanah pada wilayah proyek Masjid Hajjah Yuliana dilakukan berdasarkan penyelidikan tanah dilapangan metode Standard Penetration Test (SPT) dan hasil pengujian sample tanah di laboratorium. Berikut hasil pengujian tanah pada lokasi yang dapat dilihat pada tabel 5.7, 5.8 dan 5.9 berikut ini

**Tabel 5. 7** Rangkuman Hasil Bor Mesin 1

Kedalaman (m)	N-SPT	Keterangan
2	31	
4	33	
6	25	
8	25	
10	27	
12	21	
14	19	
16	32	
18	34	
20	33	Lempung
22	47	
24	57	Lempung
26	21	pasiran
28	34	
30	34	Lempung

**Tabel 5. 8** Rangkuman Hasil Uji Laboratorium

Test Point	Depth	Bulk Density	Dry Density	Saturated Density	Specific Gravity	Void Ratio	Porositas	Sudut Geser	Kohesi
	H	$\gamma_{bulk}$	$\gamma_{dry}$	$\gamma_{sat}$	G <sub>s</sub>	e		$\phi$	c
	m	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )				°	(kN/cm <sup>2</sup> )
BH-1	3.00 - 3.50	1.38	0.99	1.62	2.68	1.7	0.63	-	-
	7 - 7.5	1.77	1.23	1.76	2.63	1.14	0.53	41.13	0.02
	13-13,50	1.49	1.04	1.64	2.59	1.48	0.60	38.17	0.12

(Sumber : PT. Pembangunan Perumahan Tbk, 2019)

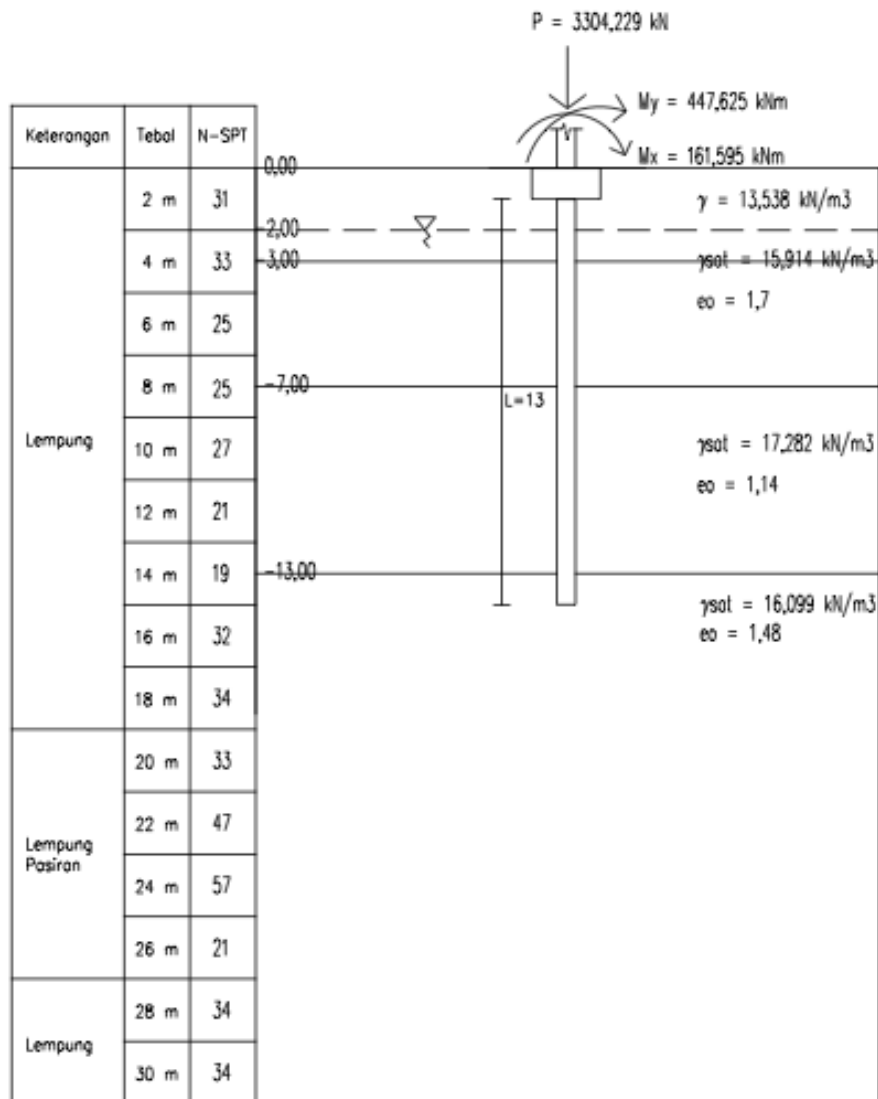
**Tabel 5. 9** Rangkuman Data Plastisitas Tanah

Test Point	Depth (m)	Liquid Limit	Plastic Limit	Platicity Index
		LL	PL	PI
		(%)	(%)	(%)
BH-1	3,00 - 3,50	66.09	35.83	30.26
	7,00 - 7,50	54.34	43.44	10.9
	13,00 - 13,50	Non Plastis		

(Sumber : PT. Pembangunan Perumahan Tbk, 2019)

#### 5.4 Desain Pondasi Tiang Bor

Hasil *output* dari analisis pembebanan *SAP2000 frame* 816 berupa beban aksial, geser, momen x dan momen y masing-masing sebesar 3304,229 kN, 270,058 kN, 161,595 kNm, dan 447,625 kNm. Sketsa desain pondasi tiang bor menggunakan beban tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



**Gambar 5. 8** Permodelan Beban Pada Pondasi Tiang Bor

#### 5.4.1 Kapasitas Dukung Tiang Bor Tunggal

##### 1. Kapasitas Dukung Ujung Tiang

Letak N1 dan N2 pada tiang dengan diameter 0,6 m dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.

Gambar 5.8 Letak N1 dan N2 Pada Tiang Dengan Diameter 0,6 m

$$\begin{aligned} \text{Luas tiang (A}_p\text{)} &= \pi \times r^2 \\ &= \pi \times 0,3^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,283 \text{ m}^2 \\
 10D &= 10 \times 0,6 \\
 &= 6 \text{ m} \\
 4D &= 4 \times 0,6 \\
 &= 2,4 \text{ m} \\
 N_r &= \frac{(2 \times 27) + (2 \times 21) + (2 \times 19) + (2 \times 32) + (0,4 \times 36)}{8,4} \\
 &= 25,286 \\
 Q_p &= A_p \cdot (40 N_r) \cdot L_b/D \leq A_p \cdot 400 N_r \\
 &= 0,283 \times (40 \times 25,286) \times \frac{13}{0,6} \leq 0,283 \times 400 \times 25,286 \\
 &= 6189,612 \leq 2860,898 \\
 &= 6189,612 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

## 2. Kapasitas Dukung Selimut Tiang

$$\begin{aligned}
 p &= 2 \times \pi \times 0,3 \\
 &= 1,886 \\
 N_r &= \frac{(31+33+25+25+27+21+19)}{7} \\
 &= 25,857 \\
 Q_s &= L \cdot p \cdot f_{av} \\
 &= L \cdot p \cdot 2 (N_r) \\
 &= 13 \times 1,886 \times 2 \times 25,857 \\
 &= 633,869 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

## 3. Kapasitas dukung ultimit tiang ( $Q_u$ )

$$\begin{aligned}
 \text{Berat tiang (W)} &= L \times A_p \times \gamma_{\text{beton}} \\
 &= 13 \times 0,283 \times 24 \\
 &= 88,251 \text{ kNm} \\
 Q_u &= Q_p + Q_s - W \\
 &= 6189,612 + 633,869 - 88,251
 \end{aligned}$$

$$= 6744,230 \text{ kN}$$

#### 4. Kapaditas dukung ijin tiang (Qall)

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{Q_u}{SF} \\ &= \frac{6744,230}{2,5} \\ &= 2697,692 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### 5. Jumlah tiang (n)

$$\begin{aligned} n &= \frac{P}{Q_{all}} \\ &= \frac{3304,229}{2697,692} \\ &= 1,225 \\ &= 2 \text{ tiang} \end{aligned}$$

**Tabel 5. 10** Rekapitulasi Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Bor

Keterangan	MEYERHOF
Daya Dukung Ujung	6189,612
Daya Dukung selimut	633,869
Daya dukung ultimit	6744,230
Daya dukung izin	2697,692
Jumlah tiang	2

#### 5.4.2 Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Bor

Kapasitas dukung tiang kelompok sebagai fondasi blok dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.14 dengan nilai efisiensi kelompok tiang berdasarkan  $S \geq 3D$ , maka  $E_g = 1$ .

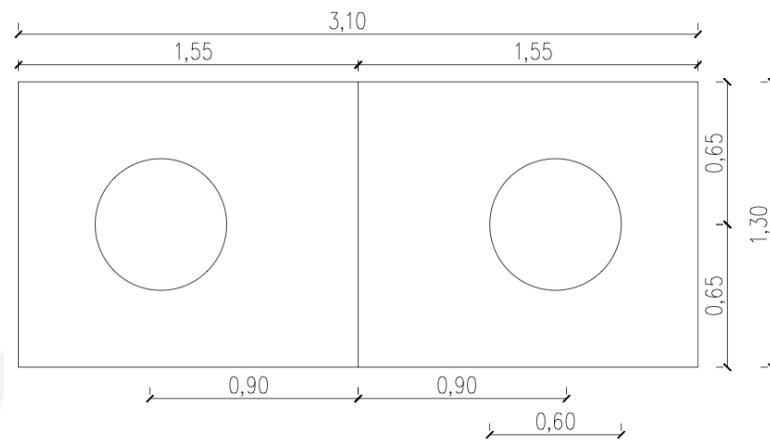
$$\begin{aligned} Q_g &= E_g \times n \times Q_{all} \\ &= 1 \times 2 \times 2697,692 \\ &= 5395,384 \text{ kN} \end{aligned}$$

### 5.4.3 Distribusi Beban ke Tiap Kelompok

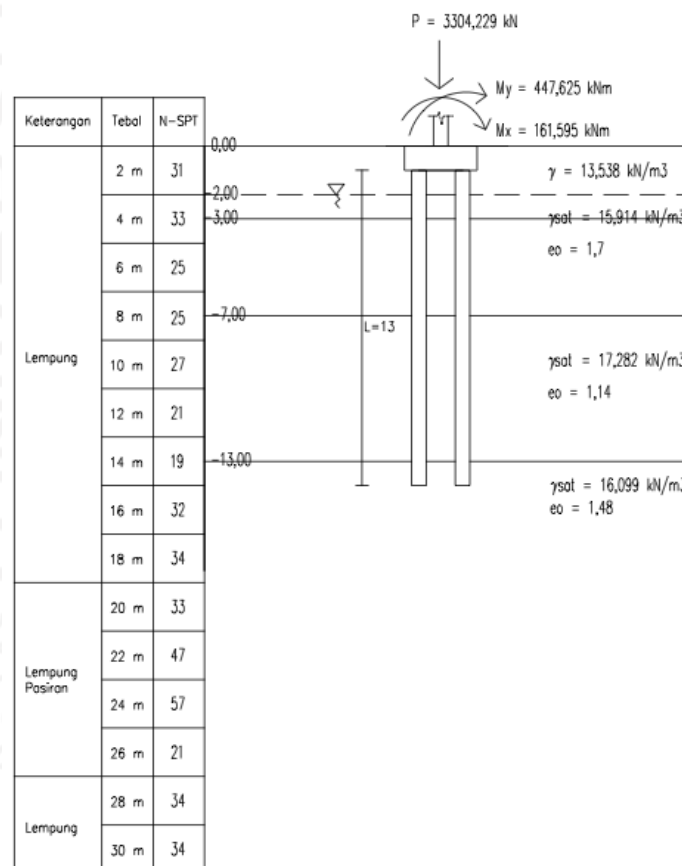
Pada kelompok tiang bor, beban yang dapat diterima tiap tiang ( $P_i$ ) ditentukan dengan Persamaan 3.15 berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Beban aksial (P)} &= 3304,229 \text{ kN} \\
 \text{Berat pile cap (W)} &= (B_g \times L_g \times t) \gamma \\
 &= (1,3 \times 3,1 \times 1) 2,4 \\
 &= 96,720 \text{ kN} \\
 \text{Berat tiang (W}_g) &= A_p \times \gamma \times n \times L \\
 &= 0,283 \times 2,4 \times 2 \times 13 \\
 &= 176,503 \text{ kNm}^2 \\
 \text{Berat total (P}_t) &= P + W + W_g \\
 &= 3304,229 + 96,720 + 176,503 \\
 &= 3577,452 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Menurut Teng 1962 untuk mencari dimensi pelat penutup tiang (*pile cap*) ditentukan dengan banyaknya tiang dalam satu kelompok, sehingga jarak tiang akan mempengaruhi dimensi pelat penutup tiang. Jarak minimum dan dimensi *pile cap* yang disarankan ditunjukkan dalam Tabel 3.3 Sehingga susunan pilecap dan permodelan pondasi tiang bor kelompok dapat dilihat pada Gambar 5.8 dan 5.9 berikut.



**Gambar 5. 9** Susunan Tiang Bor Pada Pilecap Dalam Satuan Meter



**Gambar 5. 10** Permodelan Pondasi Tiang Bor Kelompok

n = 2 tiang

Absis tiang terhadap pusat *pile cap* :

$$\begin{aligned}\Sigma x^2 &= 2 \times 0,9^2 \\ &= 1,62 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma y^2 &= 1 \times 0,65^2 \\ &= 0,423 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$M_x = 161,595 \text{ kNm (didapatkan dari SAP2000)}$$

$$M_y = 447,625 \text{ kNm (didapatkan dari SAP2000)}$$

$$P_i = \frac{\Sigma Pt}{n} \pm \frac{M_y \times x_i}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_x \times y_i}{\Sigma y^2}$$

$$\begin{aligned}P_1 &= \frac{3577,452}{2} + \frac{447,625 \times 0,9}{1,62} + \frac{161,555 \times 0,65}{0,423} \\ &= 2286,014 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_2 &= \frac{3577,452}{2} - \frac{447,625 \times 0,9}{1,62} - \frac{161,555 \times 0,65}{0,423} \\ &= 1291,438 \text{ kN}\end{aligned}$$

## 5.5 Penurunan Pondasi Tiang Bor

### 1. Penurunan Tiang Tunggal

Penurunan dipengaruhi oleh mekanisme pengalihan beban, sehingga penyelesaian perhitungan penurunan bersifat pendekatan. Maka dari itu perhitungan penurunan tiang tunggal dapat dihitung dengan Persamaan 3.16 dan 3.17 berikut.

a. Perkiraan penurunan tiang apung atau friksi

$$Q = 3304,229 \text{ kN}$$

$$E_s = 20.000 \text{ kN/m}^2$$

$$E_b = 5 \times E_s$$

$$= 5 \times 20.000$$



$$= 100.000 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} E_p &= 4700 \times \sqrt{f'c'} \\ &= 4700 \times \sqrt{30} \\ &= 25.743 \text{ Mpa} \\ &= 25.742.960 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Untuk  $\frac{db}{d} = \frac{0,6}{0,6} = 1$ , diameter ujung atas sama besarnya

$$\text{Untuk } \frac{L}{d} = \frac{13}{0,6} = 22$$

Dari masing-masing grafik diperoleh :

$$I_o = 0,075 \text{ (untuk } \frac{L}{d} = 25, \frac{db}{d} = 1 \text{) (Gambar 3.6 (a))}$$

$$R_\mu = 0,96 \text{ (untuk } \mu_s = 0,35, K = 1288 \text{) (Gambar 3.7 (b))}$$

$$R_k = 1,15 \text{ (untuk } \frac{L}{d} = 25, K = 1288 \text{) (Gambar 3.6 (a))}$$

$$R_h = 0,75 \text{ (untuk } \frac{L}{d} = 25, \frac{L}{h} = 0,7 \text{) (Gambar 3.7 (a))}$$

$$R_b = 0,85 \text{ (untuk } \frac{L}{d} = 25, \frac{Eb}{Es} = 5, K = 1288 \text{) (Gambar 3.8)}$$

Maka diperoleh penurunan tiang apung atau friksi sebagai berikut

$$\begin{aligned} I &= I_o \times R_k \times R_h \times R_\mu \\ &= 0,075 \times 1,15 \times 0,75 \times 0,96 \end{aligned}$$

$$= 0,060$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{Q \times I}{Es \times D} \\ &= \frac{3304,229 \times 0,060}{20.000 \times 0,6} \end{aligned}$$

$$= 0,016 \text{ m}$$

b. Perkiraan penurunan tiang dukung ujung

$$\begin{aligned} I &= I_o \times R_k \times R_b \times R_\mu \\ &= 0,075 \times 1,15 \times 0,85 \times 0,96 \\ &= 0,07 \end{aligned}$$

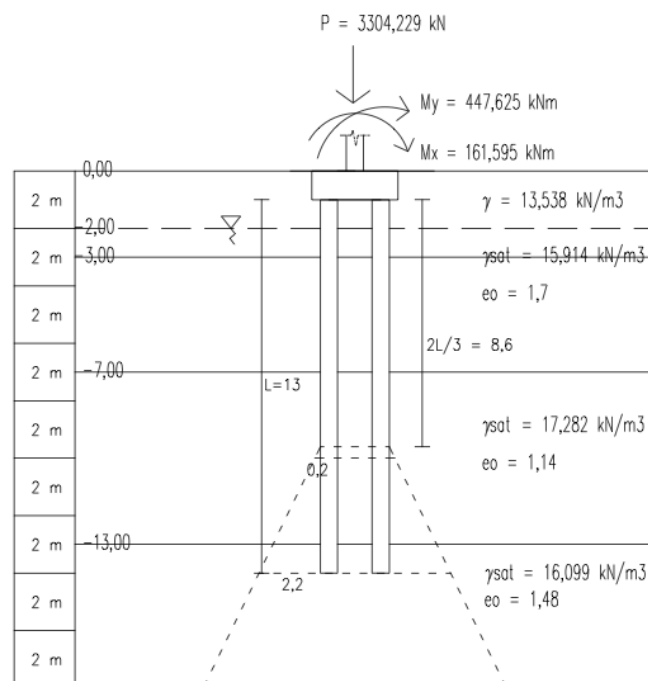
$$\begin{aligned}
 S &= \frac{Q \times l}{E_s \times D} \\
 &= \frac{3304,229 \times 0,07}{20.000 \times 0,6} \\
 &= 0,019 \text{ m}
 \end{aligned}$$

c. Penurunan total

$$\begin{aligned}
 S &= S_{frikasi} + S_{ujung} \\
 &= 0,016 + 0,019 \\
 &= 0,036 \text{ m}
 \end{aligned}$$

## 2. Penurunan Tiang Kelompok

Penurunan kelompok tiang dipengaruhi oleh tegangan pada daerah yang lebih luas dan lebih dalam. Berdasarkan Gambar 5.12 ujung tiang berada pada lapisan tanah lempung, maka perhitungan penurunan tiang kelompok menggunakan persamaan 3.21 adalah sebagai berikut.



**Gambar 5. 11** Distribusi Beban Pada Kelompok Tiang

Beban aksial (P) = 3304,229 kN

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar } \textit{pile cap} \text{ (Bg)} &= 1,3 \text{ m} \\
 \text{Panjang } \textit{pile cap} \text{ (Lg)} &= 3,1 \text{ m} \\
 \text{Panjang tiang (L)} &= 13 \text{ m} \\
 \text{Luas penampang 1 (A1)} &= (1,3 + 0,2) \times (3,1 + 0,2) \\
 &= 4,950 \\
 \text{Luas penampang 1 (A1)} &= (1,3 + 2,2) \times (3,1 + 2,2) \\
 &= 18,550 \\
 \text{Tegangan efektif (Po'1)} &= (13,538 \times 2) + ((15,914 - 9,81) \times 1,5) + \\
 &\quad ((17,282 - 9,81) \times 4) + ((16,099 - 9,81) \times 1,3) \\
 &= 74,296 \text{ kN} \\
 \text{Tegangan efektif (Po'2)} &= (13,538 \times 2) + ((15,914 - 9,81) \times 1,5) + \\
 &\quad ((17,282 - 9,81) \times 4) + ((16,099 - 9,81) \times 1,5) + \\
 &\quad ((16,099 - 9,81) \times 1,1) \\
 &= 82,473 \text{ kN} \\
 \text{Distribusi beban } (\Delta P1) &= \frac{P}{A1} \\
 &= \frac{3304,229}{4,950} \\
 &= 667,521 \\
 \text{Distribusi beban } (\Delta P2) &= \frac{P}{A2} \\
 &= \frac{3304,229}{18,550} \\
 &= 178,126
 \end{aligned}$$

a. Kedalaman 8,6 m – 10 m

$$\begin{aligned}
 S_c &= \frac{Cc}{1+e_0} \Delta H \log \frac{P_{o'1} + \Delta P_1}{P_{o'1}} \\
 &= \frac{0,06}{1+1,14} 0,4 \log \frac{74,296+178,126}{74,296} \\
 &= 0,011 \text{ m}
 \end{aligned}$$

b. Kedalaman 10 m – 14 m

$$\begin{aligned}
 S_c &= \frac{Cc}{1+e_0} \Delta H \log \frac{P_{o'2} + \Delta P_2}{P_{o'2}} \\
 &= \frac{0,06}{1+1,48} 4,4 \log \frac{82,473+667,521}{82,473} \\
 &= 0,053 \text{ m} \\
 \text{Total } S_c &= 0,011 + 0,053 \\
 &= 0,064 \text{ m}
 \end{aligned}$$

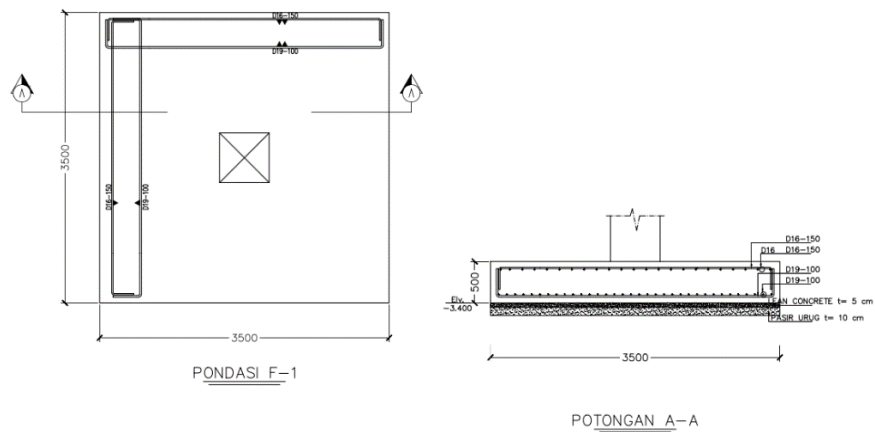
### 5.6 Penurunan Yang Diizinkan

Penurunan maksimum pada umumnya diprediksi dengan mengadakan hubungan antara penurunan diizinkan dengan penurunan total. Syarat perbandingan penurunan yaitu  $S_{total} \leq S_{izin}$ . Sehingga berikut ini merupakan perhitungan penurunan izin mengacu pada SNI 8460-2017 menggunakan Persamaan 3.24.

$$\begin{aligned}
 S_{izin} &= 15 \text{ cm} + \frac{b}{600} \\
 &= 15 \text{ cm} + \frac{60}{600} \\
 &= 15,1 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

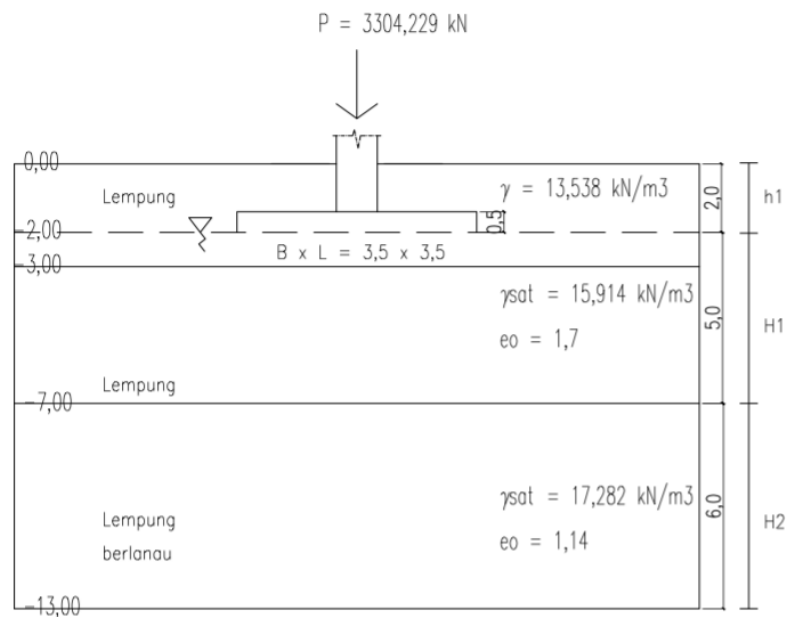
### 5.7 Pondasi Eksisting

Detail pondasi *eksisting* (telapak) dan permodelan beban pada pondasi disajikan pada Gambar 5.9 dan 5.10 berikut.



**Gambar 5. 12** Pondasi Eksisting (Telapak)

(Sumber : PT. PP)



**Gambar 5. 13** Permodelan Beban Pada Pondasi Telapak

### 5.7.1 Kapasitas Dukung

#### 1. Kapasitas Dukung

Kapasitas dukung fondasi telapak dapat dihitung dengan Persamaan 3.26 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 D_f &= 2 \text{ m} \\
 \gamma &= 13,538 \text{ kN/m}^2 \\
 B &= 3,5 \text{ m} \\
 \phi &= 41,13 \\
 c &= 0,02 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 1,962 \text{ t/m}^2 \\
 N_c &= 95,7 \\
 N_q &= 81,3 \\
 N_\gamma &= 100,4 \\
 Q_u &= (1,3 \times c \times N_c) + (\gamma \times D_f \times N_q) + (0,4 \times \gamma \times B \times N_\gamma) \\
 &= (1,3 \times 1,962 \times 95,7) + (13,538 \times 2 \times 81,3) + (0,4 \times (15,914 - \\
 &\quad 9,81) \times 3,5 \times 100,4) \\
 &= 3304,349 \text{ kN} \\
 Q_{all} &= \frac{Q_u}{SF} \\
 &= \frac{3304,349}{2,5} \\
 &= 1321,340 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

## 2. Kontrol tegangan tanah

$$\begin{aligned}
 A &= B_x \times B_y \\
 &= 3,5 \times 3,5 \\
 &= 12,25 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Tahanan momen arah x dan y menggunakan Persamaan 3.27 dan 3.28 adalah sebagai berikut.

$$W_x = \frac{1}{6} \times B_y \times B_x^2$$

$$= \frac{1}{6} \times 3,5 \times 3,5^2$$

$$= 7,146 \text{ m}^3$$

$$W_y = \frac{1}{6} \times B_x \times B_y^2$$

$$= \frac{1}{6} \times 3,5 \times 3,5^2$$

$$= 7,146 \text{ m}^3$$

Tinggi tanah di atas *footplate* dan tanah adalah sebagai berikut.

$$z = D_f - h$$

$$= 2 - 0,5$$

$$= 1,5 \text{ m}$$

Tekanan akibat berat *footplate* dan tanah adalah sebagai berikut.

$$q_0 = (z \times \gamma_c)$$

$$= 1,5 \times 24$$

$$= 36 \text{ kN/m}^2$$

Eksentrisitas pada pondasi dihitung dengan Persamaan 3.29 sebagai berikut.

$$e_x = \frac{M_{ux}}{P_u}$$

$$= \frac{161,595}{3304,0739}$$

$$= 0,049 \text{ m}$$

$$\frac{B_x}{6} = \frac{1,7}{6}$$

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

Disyaratkan  $e_x < B_x/6$ , sehingga  $0,049 < 0,283$  terpenuhi

$$e_y = \frac{M_{uy}}{P_u}$$

$$= \frac{447,625}{3304,0739}$$

$$= 0,135 \text{ m}$$

$$\frac{B_y}{6} = \frac{1,7}{6}$$

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

Disyaratkan  $e_y < B_y/6$ , sehingga  $0,135 < 0,283$  terpenuhi

Tegangan maksimum dan minimum yang terjadi pada dasar pondasi dihitung menggunakan Persamaan 3.30 berikut ini

$$q_{max} = \frac{Pu}{A} + \frac{Mux}{Wx} + \frac{Muy}{Wy} + q_0$$

$$= \frac{3.304,0739}{12,25} + \frac{161,595}{7,146} + \frac{447,625}{7,146} + 36$$

$$= 390,988 \text{ kN/m}^2$$

Disyaratkan  $q_{max} < Q_u$ , sehingga  $390,988 < 20.730,149$  terpenuhi

$$q_{min} = \frac{Pu}{A} - \frac{Mux}{Wx} - \frac{Muy}{Wy} + q_0$$

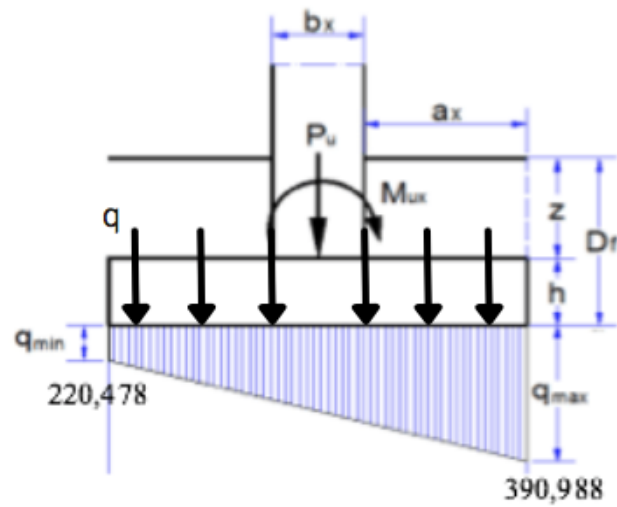
$$= \frac{3.304,0739}{12,25} - \frac{161,595}{7,146} - \frac{447,625}{7,146} + 36$$

$$= 220,478 \text{ kN/m}^2$$

Disyaratkan  $q_{min} > 0$ , sehingga  $220,478 > 0$  terpenuhi

Skema besar tegangan tanah yang terjadi ditunjukkan pada Gambar 5.11 berikut.





**Gambar 5. 14** Skema Tegangan Tanah Pada Pondasi Telapak

### 5.7.2 Penurunan

Perhitungan penurunan pondasi telapak menggunakan persamaan 3.32 dan 3.33 berikut.

#### 1. Penurunan seketika

$$\begin{aligned} \mu &= 0,35 \text{ (didapat dari Tabel 3.6)} \\ E &= 20.000 \text{ kN/m}^2 \\ I_p &= 0,82 \text{ (didapat dari Tabel 3.5)} \\ q_0 &= 36 \text{ kN/m}^2 \\ B &= 3,5 \text{ m} \\ S_i &= q \times B \times \frac{1-\mu^2}{E} \times I_p \\ &= 36 \times 3,5 \times \frac{1-0,35^2}{20.000} \times 0,82 \\ &= 0,005 \text{ m} \end{aligned}$$

#### 2. Penurunan konsolidasi

##### a. Lapisan1 (Top)

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

$$q_0 = 36 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{L}{B} \\ &= \frac{3,5}{3,5} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{z}{B/2} \\ &= \frac{5,5}{3,5/2} \\ &= 3,1 \end{aligned}$$

$$I_c = 0,20431 \text{ (didapat dari tabel 3.6)}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_1 &= q \times I_c \\ &= 36 \times 0,20431 \\ &= 7,355 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

b. Lapisan 2 (Middle)

$$z = 8,25 \text{ m}$$

$$q_0 = 36 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{L}{B} \\ &= \frac{3,5}{3,5} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{z}{B/2} \\ &= \frac{8,25}{3,5/2} \\ &= 4,7 \end{aligned}$$

$$I_c = 0,20429 \text{ (didapat dari tabel 3.6)}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_2 &= q \times I_c \\ &= 390,988 \times 0,20429 \\ &= 7,354 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

c. Lapisan 3 (Bottom)

$$z = 11 \text{ m}$$

$$q_0 = 36 \text{ kN/m}^2$$

$$m = \frac{L}{B}$$

$$= \frac{3,5}{3,5}$$

$$= 1$$

$$n = \frac{z}{B/2}$$

$$= \frac{11}{3,5/2}$$

$$= 6,3$$

$$I_c = 0,20449 \text{ (didapat dari table 3.6)}$$

$$\Delta P_3 = q \times I_c$$

$$= 390,988 \times 0,20449$$

$$= 7,362 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta P = \frac{1}{6} \times (\Delta P_1 + 4\Delta P_2 + \Delta P_3)$$

$$= \frac{1}{6} \times (7,355 + 4 \times 7,354 + 7,362)$$

$$= 7,356 \text{ kN/m}^2$$

$$C_c = 0,15 \text{ (didapat dari Tabel 3.4)}$$

$$P_o' = ((13,538 \times 2) + ((15,914 - 9,81) \times 5) +$$

$$((17,282 - 9,81) \times 6/2))$$

$$= 80,012 \text{ kN/m}^3$$

$$S_c = \left[ \frac{C_c \Delta H}{1+e_0} \log \left( \frac{P_o' + \Delta P}{P_o'} \right) \right]$$

$$= \frac{0,60 \times 11}{1+1,14} \times \log \frac{80,012+7,356}{80,012}$$

$$= 0,118 \text{ m}$$

$$S = S_i + S_c$$

$$= 0,005 + 0,118$$

$$= 0,122 \text{ m}$$

$$= 12,2 \text{ cm}$$

## 5.8 Pembahasan

Pada perencanaan pembangunan gedung, tidak lepas dari perencanaan pondasi. Pondasi dari sebuah bangunan direncanakan dan dibangun sedemikian rupa harus aman dalam memikul beban-beban yang bekerja padanya tanpa mengurangi kestabilan ataupun deformasi yang besar pada bangunan tersebut maupun bangunan disekitarnya. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dari itu perancangan pondasi memenuhi dua(2) hal berikut :

1. memenuhi persyaratan kekuatan, baik untuk struktur pondasinya maupun untuk lapisan tanah pendukung pondasi tersebut (*strength requirement*),
2. memenuhi persyaratan penurunan yang ditentukan (*serviceability requirement*).

Untuk mendukung hal tersebut perlu dilakukan dengan memperhatikan data penyelidikan tanah, beban yang dipikul oleh pondasi, dimensi tiang, jarak antar tiang, data pendukung seperti kedalaman pondasi dan mutu beton.

Memperoleh perhitungan pondasi yang akurat dibutuhkan data penyelidikan tanah guna menentukan stratigrafi dan sifat fisik tanah. Data penyelidikan tanah pada proyek pembangunan gedung Masjid Hajjah Yuliana digunakan data laboratorium. Analisis kapasitas daya dukung pondasi tiang bor menggunakan metode statik.

### 5.8.1 Hasil Analisis Struktur Program SAP2000

Pondasi dikatakan aman apabila pondasi tersebut dapat menyalurkan beban struktur yang terdapat di atasnya ke tanah dasar dengan tidak adanya kerusakan tanah di bawahnya. Beban struktur tersebut berupa gaya-gaya yang ditimbulkan dari struktur bangunan, diantaranya beban aksial, gaya geser, dan momen. Hasil output dari program SAP2000 pada frame akibat kombinasi beban sebesar :

beban aksial (P)	= 3304,229 kN
gaya geser (H)	= 270,058 kN
momen arah x (Mx)	= 161,595 kNm
momen arah y (My)	= 447,625 kNm

### 5.8.2 Hasil Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Tunggal

Kapasitas dukung pondasi tiang bor yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan diameter tiang 0,6 m dengan kedalaman 13 m. Perhitungan analisis digunakan metode *Meyerhoff* yaitu berdasarkan data hasil uji laboratorium. Kapasitas dukung pondasi ( $Q_u$ ) didapatkan dari kapasitas dukung ujung tiang ( $Q_p$ ) dan kapasitas dukung selimut ( $Q_s$ ). Rekapitulasi hasil dari analisis daya dukung pondasi tiang bor dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

**Tabel 5. 11** Rekapitulasi Hasil Analisis Pondasi Tiang Bor

	<i>Meyerhoff</i>
$Q_u$ (kN)	6744,230
$Q_{all}$ (kN)	2697,692

Berdasarkan Tabel 5.13 hasil analisis kapasitas dukung ultimit ( $Q_u$ ) tiang bor dengan menggunakan data hasil laboratorium diperoleh sebesar 6744,230 kN. Dan nilai kapasitas dukung ijin tiang tunggal ( $Q_{all}$ ) sebesar 2697,692 kN.

### 5.8.3 Hasil Analisis Kapasitas Dukung Tiang Bor Kelompok

Berdasarkan perhitungan dari kapasitas dukung pondasi tiang bor tunggal didapatkan 2 buah tiang untuk tiang bor kelompok. Hasil analisis kapasitas dukung kelompok tiang ( $Q_g$ ) sebesar 5395,384 kN. Dilakukan pengecekan terhadap keamanan kelompok tiang bahwa pondasi dikatakan aman apabila nilai  $Q_g$  lebih besar dari pada beban ( $P$ ) yang diterima oleh pondasi yaitu sebesar 3304,229 kN. Dari perhitungan analisis yang sudah dilakukan menunjukkan nilai  $Q_g$  telah memenuhi syarat.

### 5.8.4 Hasil Penurunan Pondasi Tiang Bor

Penurunan pondasi tiang tunggal menggunakan metode Poluos dan Davis (1980). Sedangkan penurunan pondasi kelompok tiang menggunakan metode Vesic (1969). Nilai penurunan tiang kelompok biasanya lebih besar dibandingkan dengan tiang tunggal, dikarenakan adanya pengaruh tegangan pada daerah cakupan yang lebih luas. Semakin besar beban yang didukung oleh tiang, maka nilai penurunan

juga akan semakin besar. Hasil rekapitulasi analisis penurunan tiang tunggal dan kelompok tiang dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut.

**Tabel 5. 12** Rekapitulasi Analisis Penurunan Tiang Bor

PENURUNAN	
TUNGGAL	KELOMPOK
3,6 cm	6,4 cm

Berdasarkan Tabel 5.16 di atas, penurunan tiang bor tunggal sebesar 3,6 cm dan tiang kelompok sebesar 6,4 cm. Berdasarkan SNI 8460 – 2017 pondasi dikatakan aman dari penurunan berlebih apabila  $S < S_{ijin}$  yaitu sebesar 15,1 cm. Dari perhitungan yang sudah dilakukan menunjukkan nilai penurunan tiang tunggal maupun kelompok telah memenuhi syarat.

#### **5.8.5 Hasil Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Eksisting**

Perhitungan daya dukung pondasi eksisting (telapak) menggunakan metode Terzaghi dengan lebar pondasi 3,5 m x 3,5 m x 0,5 m. Data yang digunakan yaitu hasil dari pengujian laboratorium. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai daya dukung ultimit ( $Q_u$ ) dan ijin pondasi ( $Q_{all}$ ) sebesar 3303,349 kN dan 1321,340 kN. Nilai penurunan pondasi telapak merupakan hasil dari dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi yaitu sebesar 12,2 cm. Berdasarkan SNI 8460 – 2017 pondasi dikatakan aman dari penurunan berlebih apabila  $S < S_{ijin}$  yaitu sebesar 15,1 cm. Dari perhitungan yang sudah dilakukan menunjukkan nilai penurunan telapak telah memenuhi syarat.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis kapasitas dukung dan penurunan tiang bor pada gedung Masjid Hajjah Yuliana Madrasah Muallimin Muhammadiyah Yogyakarta dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Nilai daya dukung ultimit ( $Q_u$ ) dan daya dukung ijin ( $Q_{all}$ ) pada pondasi eksisting (telapak) sebesar 3303,349 kN dan 1321,340 kN,
2. 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,
3. 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  $0,15 + \left(\frac{D}{600}\right)$  sebesar 15,1 cm.

#### **6.2 Saran**

Pada perencanaan pondasi tiang bor agar mendapatkan hasil yang lebih optimal maka penulis menyarankan untuk melakukan analisis-analisis sebagai berikut :

1. melakukan analisis kapasitas dukung tiang bor dengan menggunakan metode lainnya agar mendapatkan nilai kapasitas dukung yang lebih akurat,
2. melakukan perbandingan analisis kapasitas dukung dengan menggunakan software geoteknik lainnya seperti Soil Vision, Plaxis 3D, dan lain-lain,
3. melakukan analisis perbandingan biaya dan waktu pelaksanaan dalam menentukan jenis pondasi,

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim., 2017, BUKU PEDOMAN TUGAS AKHIR DAN PRAKTIK KERJA, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Badan Standarisasi Nasional, 2017, SNI-8460-2017; Persyaratan Perancangan Geoteknik, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional, 2012, SNI-1726-2012; Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- Bowles, J. E., 1997, Analisis dan Desain Pondasi. Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta
- Gunawan, R., 1983, Pengantar Teknik Pondasi, Kansius, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2010, Analisis dan Perancangan FONDASI I, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Hardiyatmo, H.C., 2010, Analisis dan Perancangan FONDASI II, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Hardiyatmo, H.C., 2015, Analisis dan Perancangan FONDASI I, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Hardiyatmo, H.C., 2015, Analisis dan Perancangan FONDASI II, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Hadihardaja, Joetata., 1997, Rekayasa Fondasi II (Pondasi Dalam dan Pondasi Dangkal). Jakarta: Gunadarma Press.
- Haq, Dhiya'ul, 2018, Pengaruh Variasi Dimensi Terhadap Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Bor Kelompok dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

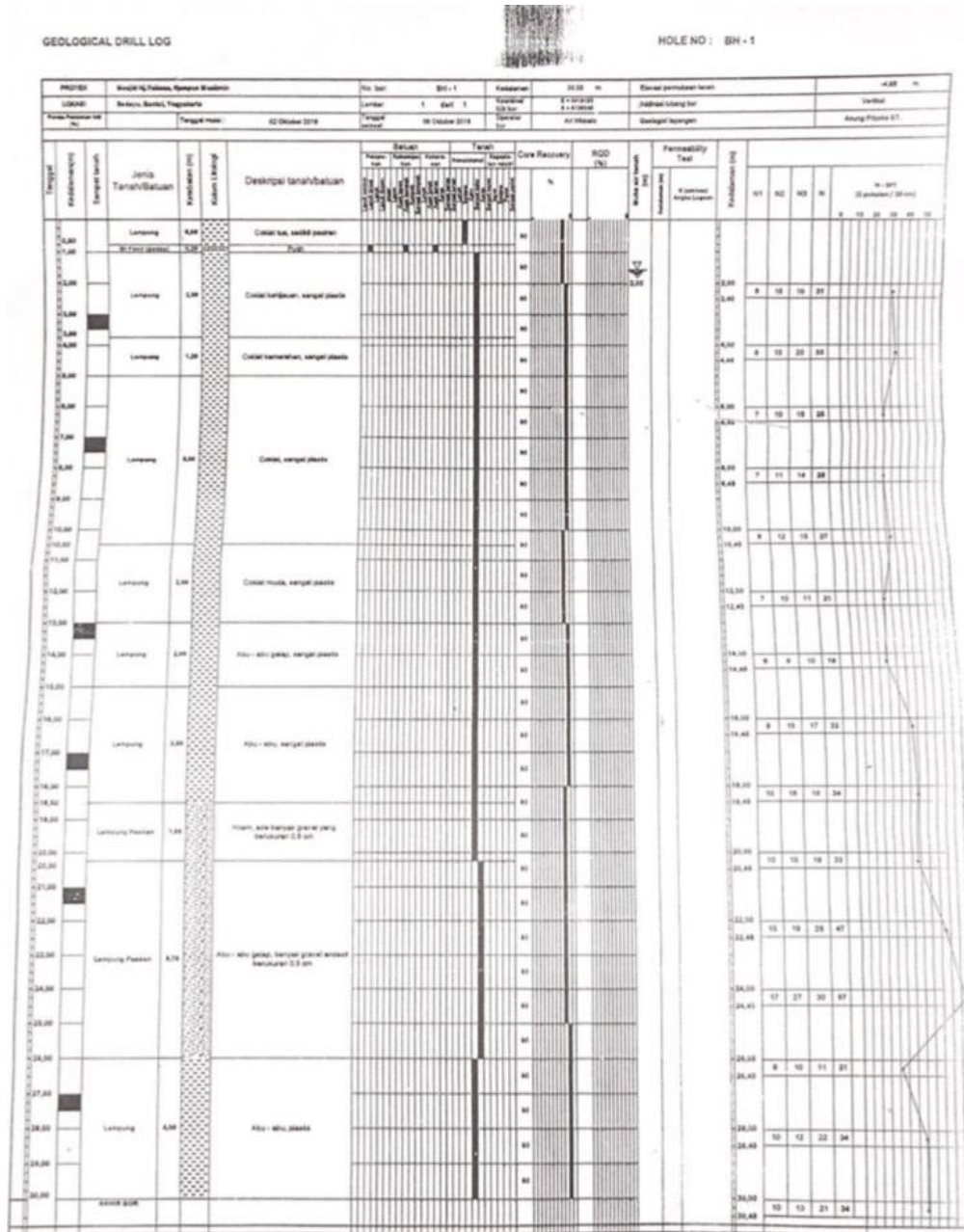


- Hidayat, 2018, Perencanaan Ulang Struktur Bawah dengan Pondasi *Bored Pile* Pada Gedung *White Hotel Sedan* Yogyakarta. Tugas Akhir, Universitas Ilam Indonesia, Yogyakarta
- Idris, 2019 Perencanaan Pondasi Tiang Bor Pada Rusunami Sentraland Bekasi Jawa Barat. Skripsi, Universitas Muhammadiyah Malang, Jawa Timur.
- Mayerhof, G.G., 1951. The Ultimate Bearing Capacity of Foundation. *Geotechnique*, vol. 2, 1951
- Purnama Putra, Paksitya. “Teknik Pondasi – 3. Daya Dukung Pondasi Dangkal (Beban Eksentris)” *Youtube, uploaded by Pay Presents, 9 March 2021, <https://www.youtube.com/watch?v=1iAePXBupoc>. Accessed 14 Sep 2021*
- Purnama Putra, Paksitya. “Teknik Pondasi – 5. Penurunan Pondasi Dangkal” *Youtube, uploaded by Pay Presents, 24 March 2020, <https://www.youtube.com/watch?v=pMUBQ1YRFZ0>. Accessed 14 September 2021*
- Purnama Putra, Paksitya. “Teknik Pondasi – 9. Daya Dukung Tiang Grup & Penurunannya” *Youtube, uploaded by Pay Presents, 27 April 2020, <https://www.youtube.com/watch?v=pMUBQ1YRFZ0>. Accessed 14 Sep 2021*
- Ramadhani, 2019, Studi Perencanaan Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*) Pada Gedung
- Raharjo, P.P., 2005, Manual Pondasi Tiang, Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung
- Sardjono, HS, 1998, Fondasi Tiang Pancang, Sinar Wijaya, Surabaya, Transmart Malang, Skripsi, Institut Teknologi Nasional, Jawa Timur.
- Sudarmo, Djatmiko dan Purnomo, Edy, 1993, Mekanika Tanah 1, Yogyakarta : Kanisius.



# LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Tanah





UNIVERSITAS GADJAH MADA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL & LINGKUNGAN  
LABORATORIUM MEKANIKA Tanah & GEOTEKNIK

### SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULTS

Project : Masjid Hajjah Yuliana Mu'allimin Muhammadiyah  
Location : Bantul, Yogyakarta

Test Point No	Depth m	Moisture content $w_n$ (%)	Specific Gravity $G_s$	Liquid Limit $LL$ (%)	Plastic Limit $PL$ (%)	Plasticity Index $PI$ (%)	Void Ratio $e$	Degree of Saturation $S_r$ (%)	Finer #200 (%)	Coef. of Gradation		Classification Unified	Bulk density $\rho_{dry}$ ( $g/cm^3$ )	Dry density $\rho_{dry}$ ( $g/cm^3$ )	Strength Parameters	
										$C_c$	$C_u$				Direct shear $\psi^\circ$	Unconfined $q_u$ ( $kg/cm^2$ )
BH-1	3.00 - 3.50	39,22	2,68	66,09	35,83	30,26	1,70	61,70	71,96	-	-	MH	1,38	0,99	-	1,13
	7.00 - 7.50	43,69	2,63	54,34	43,44	10,90	1,14	100,00	50,26	-	-	MH	1,77	1,23	41,13	0,02
BH-2	13.00 - 13.50	42,73	2,59	Non Plastis			1,48	74,73	26,63	-	-	SM	1,49	1,04	38,17	0,12
	4.50 - 5.00	41,58	2,70	70,80	40,10	30,71	1,55	72,50	64,15	-	-	MH	1,50	1,06	-	0,95
	8.50 - 9.00	66,47	2,80	65,16	42,72	22,46	1,91	97,28	96,69	-	-	MH	1,60	0,96	-	0,20
	19.00 - 19.50	59,59	2,13	112,60	36,24	74,37	1,46	86,74	96,13	-	-	CH	1,38	0,86	-	1,09

NOTE :  $C_c$  and  $C_u$  if only finer #200 less than 12 %



**UNIVERSITAS GADJAH MADA**  
 FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL & LINGKUNGAN  
 LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - GEOTEKNIK

### WATER CONTENT DETERMINATION

Project : Masjid Hajah Yuliana Mu'allimin Muhammadiyah      Depth : 3.00 - 3.50 m  
 Location : Bantul, Yogyakarta      Date : 25 Oktober 2019  
 Bor no. : BH-1      Made by : Tri

1	Can no.		1	2
2	Mass of can	M <sub>1</sub> gram	21,65	21,95
3	Mass of wet soil + can	M <sub>2</sub> gram	133,20	121,76
4	Mass of dry soil + can	M <sub>3</sub> gram	101,33	94,04
5	Mass of moisture	(M <sub>2</sub> -M <sub>3</sub> ) gram	31,87	27,72
6	Mass of dry soil	(M <sub>3</sub> -M <sub>1</sub> ) gram	79,68	72,09
7	Water content, w	$[(M_2-M_3)/(M_3-M_1)] \times 100\%$	40,00	38,45
8	Average water content, w		<b>39,22</b>	

SOIL MECHANICS LABORATORY - CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING DEPT.- GADJAH MADA UNIVERSITY

الجامعة الإسلامية  
 الباندا



**UNIVERSITAS GADJAH MADA**  
 FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL & LINGKUNGAN  
 LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - GEOTEKNIK

### WATER CONTENT DETERMINATION

Project : Masjid Hajjah Yuliana Mu'allimin Muhammadiyah      Depth : 7.00 - 7.50 m  
 Location : Bantul, Yogyakarta      Date : 25 Oktober 2019  
 Bor no. : BH-1      Made by : Tri

1	Can no.		1	2
2	Mass of can	M <sub>1</sub> gram	21,77	20,65
3	Mass of wet soil + can	M <sub>2</sub> gram	135,01	128,89
4	Mass of dry soil + can	M <sub>3</sub> gram	100,3	96,25
5	Mass of moisture	(M <sub>2</sub> -M <sub>3</sub> ) gram	34,71	32,64
6	Mass of dry soil	(M <sub>3</sub> -M <sub>1</sub> ) gram	78,53	75,6
7	Water content, w	$[(M_2-M_3)/(M_3-M_1)] \times 100\%$	44,20	43,17
8	Average water content, w		43,69	

جامعة البعث  
 البعث للدراسات والبحوث



UNIVERSITAS GADJAH MADA  
FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL & LINGKUNGAN  
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - GEOTEKNIK

### WATER CONTENT DETERMINATION

Project : Masjid Hajjah Yuliana Mu'allimin Muhammadiyah      Depth : 13.00 - 13.50 m.  
Location : Bantul, Yogyakarta      Date : 25 Oktober 2019  
Bor no. : BH-1      Made by : Tri

1	Can no.		1	2
2	Mass of can	$M_1$ gram	22,03	20,72
3	Mass of wet soil + can	$M_2$ gram	120,49	111,33
4	Mass of dry soil + can	$M_3$ gram	92,24	83,11
5	Mass of moisture	$(M_2 - M_3)$ gram	28,25	28,22
6	Mass of dry soil	$(M_3 - M_1)$ gram	70,21	62,39
7	Water content, w	$[(M_2 - M_3) / (M_3 - M_1)] \times 100\%$	40,24	45,23
8	Average water content, w		<b>42,73</b>	

جامعة البستنة والبيئة



UNIVERSITAS GADJAH MADA  
FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL & LINGKUNGAN  
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - GEOTEKNIK

### SPECIFIC GRAVITY

Project : Masjid Hajah Yuliana Mu'allimin Muhammadiyah  
Location : Bantul, Yogyakarta  
Bor no. : BH-1

Depth : 3.00 - 3.50 m  
Date : 6 November 2019  
Made by : Arif

1	Piknometer no.		1	2
2	Mass of piknometer	$M_1$ gram	28,48	30,99
3	Mass of dry soil + piknometer	$M_2$ gram	52,41	51,19
4	Mass of dry soil + water + piknometer	$M_3$ gram	94,05	93,00
5	Mass of water + piknometer	$M_4$ gram	79,04	80,33
6	Temperature $t^\circ\text{C}$		27,50	
7	$A = M_2 - M_1$		23,93	20,20
8	$B = M_3 - M_4$		15,01	12,67
9	$C = A - B$		8,92	7,53
10	Specific Gravity, $G_1 = A/C$		2,68	2,68
11	Average specific gravity, $G_1$		2,68	
12	$G_{\text{water}}$ at $t^\circ\text{C}$		0,9963	
13	$G$ for $27,5^\circ\text{C} = G = (G_1 \times G_{\text{water}} \text{ at } t^\circ\text{C}) / (G_{\text{water}} \text{ at } 27,5^\circ\text{C})$		2,68	





UNIVERSITAS GADJAH MADA  
FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL & LINGKUNGAN  
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - GEOTEKNIK

### SPECIFIC GRAVITY

Project : Masjid Hajah Yuliana Mu'allimin Muhammadiyah      Depth : 7.00 - 7.50 m  
Location : Bantul, Yogyakarta      Date : 6 November 2019  
Bor no. : BH-1      Made by : Arif

1	Piknometer no.		1	2
2	Mass of piknometer	M <sub>1</sub> gram	29,95	30,70
3	Mass of dry soil + piknometer	M <sub>2</sub> gram	48,44	53,53
4	Mass of dry soil + water + piknometer	M <sub>3</sub> gram	91,37	94,43
5	Mass of water + piknometer	M <sub>4</sub> gram	79,90	80,32
6	Temperature t°C		27,50	
7	A = M <sub>2</sub> - M <sub>1</sub>		18,49	22,83
8	B = M <sub>3</sub> - M <sub>4</sub>		11,47	14,11
9	C = A - B		7,02	8,72
10	Specific Gravity, G <sub>1</sub> = A/C		2,63	2,62
11	Average specific gravity, G <sub>1</sub>		2,63	
12	G <sub>water</sub> at t°C		0,9963	
13	G for 27,5 °C = G = (G <sub>1</sub> x G <sub>water</sub> at t°C)/(G <sub>water</sub> at 27.5°C)		2,63	

SOIL MECHANICS LABORATORY - CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING DEPT. - GADJAH MADA UNIVERSITY

الجامعة الإسلامية  
الاستد الاندو



UNIVERSITAS GADJAH MADA  
FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL & LINGKUNGAN  
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - GEOTEKNIK

### SPECIFIC GRAVITY

Project : Masjid Hajah Yuliana Mu'allimin Muhammadiyah  
Location : Bantul, Yogyakarta  
Bor no. : BH-1

Depth : 7.00 - 7.50 m  
Date : 6 November 2019  
Made by : Arif

1	Piknometer no.		1	2
2	Mass of piknometer	M <sub>1</sub> gram	29,95	30,70
3	Mass of dry soil + piknometer	M <sub>2</sub> gram	48,44	53,53
4	Mass of dry soil + water + piknometer	M <sub>3</sub> gram	91,37	94,43
5	Mass of water + piknometer	M <sub>4</sub> gram	79,90	80,32
6	Temperature t°C		27,50	
7	A = M <sub>2</sub> - M <sub>1</sub>		18,49	22,83
8	B = M <sub>3</sub> - M <sub>4</sub>		11,47	14,11
9	C = A - B		7,02	8,72
10	Specific Gravity, G <sub>s</sub> = A/C		2,63	2,62
11	Average specific gravity, G <sub>s</sub>		2,63	
12	G <sub>water</sub> at t°C		0,9963	
13	G for 27,5 °C = G = (G <sub>s</sub> × G <sub>water</sub> at t°C)/(G <sub>water</sub> at 27.5°C)		2,63	

SOIL MECHANICS LABORATORY - CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING DEPT. - GADJAH MADA UNIVERSITY

الجامعة الإسلامية  
الاستاذ الدكتور



UNIVERSITAS GADJAH MADA  
 FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL & LINGKUNGAN  
 LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - GEOTEKNIK

**ATTERBERG LIMITS**

Project : Masjid Hajjah Yuliana Mu'allimin Muhammadiyah  
 Location : Bantul, Yogyakarta  
 Boring no. : BH-1

Depth : 3.00 - 3.50 m  
 Date : 6 November 2019  
 Made by : Arif

Soil sample  
 Description of soil :  
 Specific Gravity,  $G_s$  :

*Liquid Limit Determination*

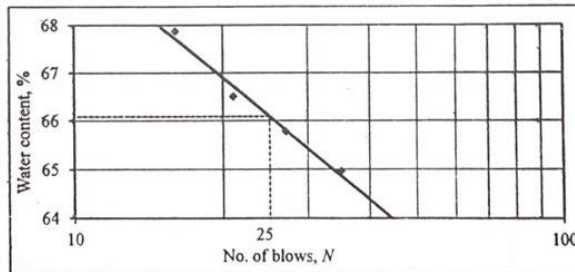
Can no.	1	2	3	4				
No. of blows, $N$	16	21	27	35				
Mass of can (gr)	21,32	21,08	20,33	20,77	20,55	21,55	20,75	22,43
Mass of wet soil + can (gr)	47,22	49,99	50,97	51,22	52,47	52,41	52,94	53,32
Mass of dry soil + can (gr)	36,76	38,29	38,71	39,08	39,78	40,19	40,28	41,14
Mass of dry soil (gr)	15,44	17,21	18,38	18,31	19,23	18,64	19,53	18,71
Mass of moisture (gr)	10,46	11,70	12,26	12,14	12,69	12,22	12,66	12,18
Water content, $w$ (%)	67,75	67,98	66,70	66,30	65,99	65,56	64,82	65,10
	67,86	66,50	65,77	64,96				

*Plastic Limit Determination*

1	2
16,41	16,45
33,58	35,37
29,05	30,38
12,64	13,93
4,53	4,99
35,84	35,82
35,83	

*Shrinkage Limit Determination*

Mass of shrinkage dish	$W_1$ (gr)	
Mass of shrinkage dish + wet soil	$W_2$ (gr)	
Mass of shrinkage dish + dry soil	$W_3$ (gr)	
Mass of dry soil	$W_0 = W_3 - W_1$ (gr)	
Mass of soil cake dish	$W_4$ (gr)	
Mass of soil cake dish + Hg	$W_5$ (gr)	
Mass of Hg	$W_6 = W_5 - W_4$ (gr)	
Volume of dry soil	$V_0 = W_0 / 13,6$ (cm <sup>3</sup> )	
Shrinkage limit	$SL = (V_0 / W_0 - 1/G) \times 100\%$	



Liquid Limit,	$LL = 66,09 \%$
Plastic Limit,	$PL = 35,83 \%$
Plasticity Index,	$PI = 30,26 \%$



UNIVERSITAS GADJAH MADA  
 FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL & LINGKUNGAN  
 LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - GEOTEKNIK

**ATTERBERG LIMITS**

Project : Masjid Hajah Yuliana Mu'allimin Muhammadiyah  
 Location : Bantul, Yogyakarta  
 Boring no. : BH-1

Depth : 7.00 - 7.50 m  
 Date : 6 November 2019  
 Made by : Arif

Soil sample  
 Description of soil :  
 Specific Gravity,  $G_s$  :

*Liquid Limit Determination*

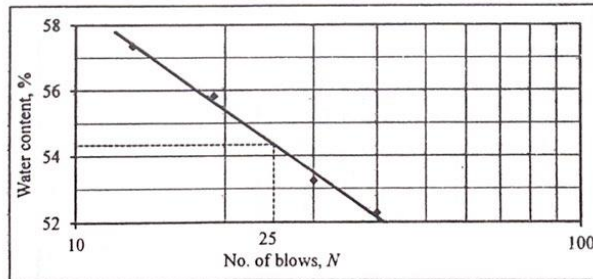
Can no.	1	2	3	4
No. of blows, $N$	13	19	30	40
Mass of can (gr)	14,73	14,38	14,36	16,26
Mass of wet soil + can (gr)	52,74	46,58	50,99	-51,65
Mass of dry soil + can (gr)	38,88	34,85	37,87	38,97
Mass of dry soil (gr)	24,15	20,47	23,51	22,71
Mass of moisture (gr)	13,86	11,73	13,12	12,68
Water content, $w$ (%)	57,39	57,30	55,81	55,83
	57,35	55,82	53,22	52,27

*Plastic Limit Determination*

1	2
14,47	14,55
33,38	34,31
27,64	28,34
13,17	13,79
5,74	5,97
43,58	43,29
43,44	

*Shrinkage Limit Determination*

Mass of shrinkage dish	$W_1$ (gr)	
Mass of shrinkage dish + wet soil	$W_2$ (gr)	
Mass of shrinkage dish + dry soil	$W_3$ (gr)	
Mass of dry soil	$W_0 = W_3 - W_1$ (gr)	
Mass of soil cake dish	$W_4$ (gr)	
Mass of soil cake dish + Hg	$W_5$ (gr)	
Mass of Hg	$W_6 = W_5 - W_4$ (gr)	
Volume of dry soil	$V_0 = W_0 / 13,6$ (cm <sup>3</sup> )	
Shrinkage limit	$SL = (V_0 / W_0 - 1/G) \times 100\%$	



Liquid Limit,	$LL = 54,34$ %
Plastic Limit,	$PL = 43,44$ %
Plasticity Index,	$PI = 10,90$ %



**UNIVERSITAS GADJAH MADA**  
 FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL & LINGKUNGAN  
 LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - GEOTEKNIK

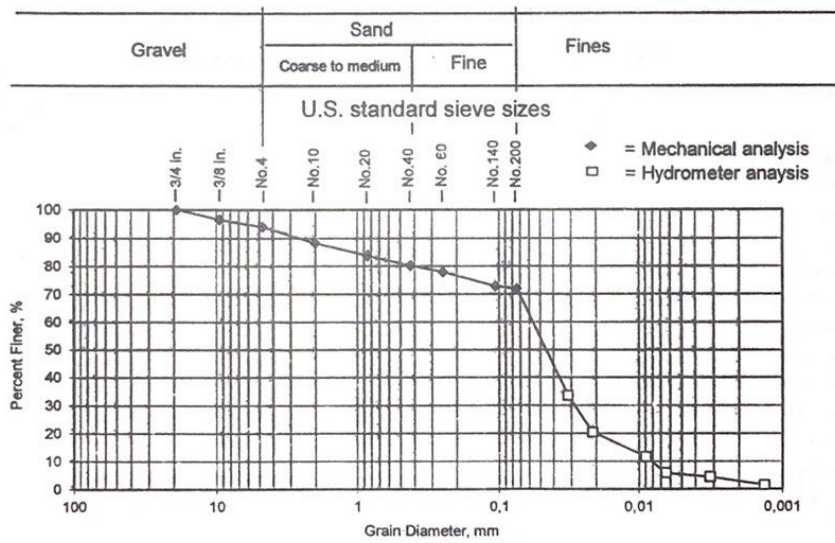
### GRAIN SIZE ANALYSIS

Project : Masjid Hajjah Yuliana Mu'allimin Muhammadiyah  
 Location : Bantul, Yogyakarta  
 Boring no. : BH-1

Depth : 3.00 - 3.50  
 Date : 5 November 2019  
 Made by : Arif

Specific Gravity : 2,68

Description of soil :



Finer # 200 = 71,96 %

Gravel = 6,08 %

Sand = 21,96 %

Silt/Clay = 71,96 %

D <sub>10</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>60</sub>	C <sub>u</sub> = D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>	C <sub>c</sub> = (D <sub>30</sub> ) <sup>2</sup> / (D <sub>10</sub> × D <sub>60</sub> )
-	-	-	-	-



**UNIVERSITAS GADJAH MADA**  
 FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL & LINGKUNGAN  
 LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - GEOTEKNIK

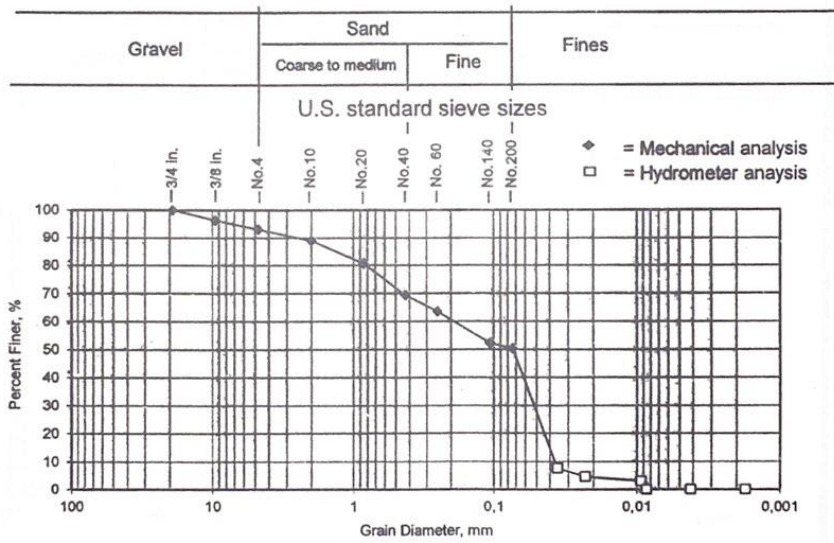
**GRAIN SIZE ANALYSIS**

Project : Masjid Hajjah Yuliana Mu'allimin Muhammadiyah  
 Location : Bantul, Yogyakarta  
 Boring no. : BH-1

Depth : 7.00 - 7.50  
 Date : 5 November 2019  
 Made by : Arif

Specific Gravity : 2,63

Description of soil :



Finer # 200 = 50,26 %  
 Gravel = 7,03 %  
 Sand = 42,71 %  
 Silt/Clay = 50,26 %

D <sub>10</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>60</sub>	C <sub>u</sub> = D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>	C <sub>c</sub> = (D <sub>30</sub> ) <sup>2</sup> / (D <sub>10</sub> × D <sub>60</sub> )
-	-	-	-	-



**UNIVERSITAS GADJAH MADA**  
 FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL & LINGKUNGAN  
 LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - GEOTEKNIK

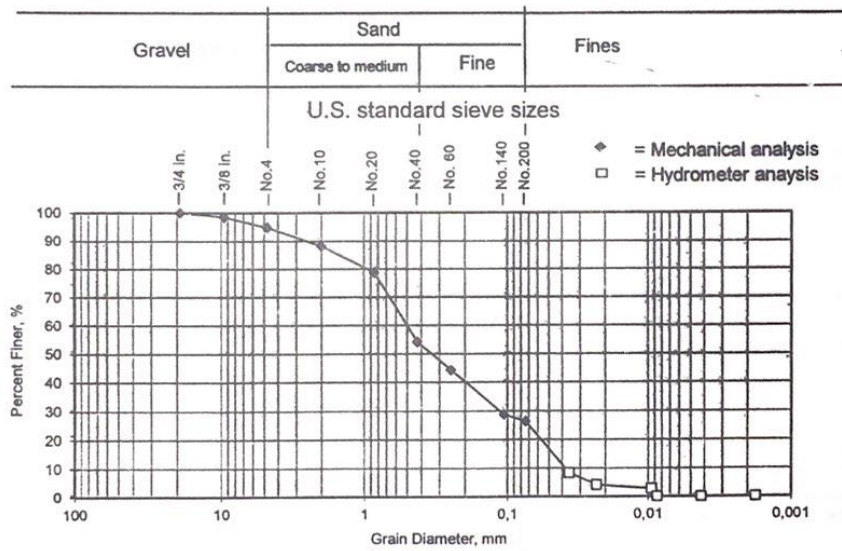
### GRAIN SIZE ANALYSIS

Project : Masjid Hajjah Yuliana Mu'allimin Muhammadiyah  
 Location : Bantul, Yogyakarta  
 Boring no. : BH-1

Depth : 13.00 - 13.50  
 Date : 5 November 2019  
 Made by : Arif

Specific Gravity : 2,59

Description of soil :



Finer # 200 = 26,33 %

Gravel = 5,28 %

Sand = 68,39 %

Silt/Clay = 26,33 %

D <sub>10</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>60</sub>	C <sub>u</sub> = D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>	C <sub>c</sub> = (D <sub>30</sub> ) <sup>2</sup> / (D <sub>10</sub> × D <sub>60</sub> )
-	-	-	-	-



UNIVERSITAS GADJAH MADA  
FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL & LINGKUNGAN  
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - GEOTEKNIK

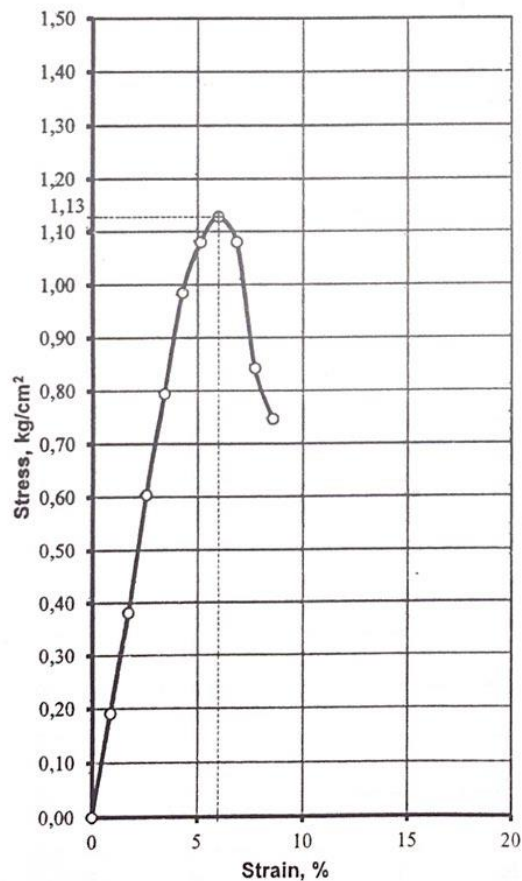
## UNCONFINED COMPRESSION TEST

Project : Masjid Hajah Yuliana Mu'allimin Muhammadiyah Depth : 3.00 - 3.50 m  
Location : Bantul, Yogyakarta Date : 25 Oktober 2019  
Boring No. : BH-1 Tested by : Tri

Diameter of Sample = 6 cm  
Area = 28,29 cm<sup>2</sup>  
Height of Sample = 14,00 cm  
Soil description =

Water Content	0,00 %
Mass of Sample	545,80 gr
Density	1,38 gr/cm <sup>3</sup>

Specific Gravity, G <sub>s</sub>	
Void ratio, e	
Degree of Saturation, S <sub>a</sub>	%



Compression strength :

$$q_u = 1,13 \text{ kg/cm}^2$$

Soil shear strength :

$$c_u = 0,56 \text{ kg/cm}^2$$





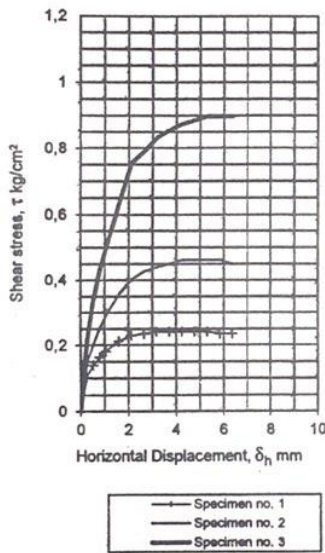
**UNIVERSITAS GADJAH MADA**  
 FAKULTAS TEKNIK - DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL & LINGKUNGAN  
 LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - GEOTEKNIK

**DIRECT SHEAR TEST**

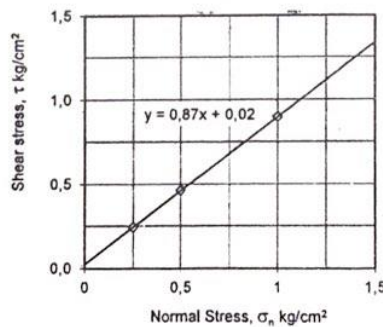
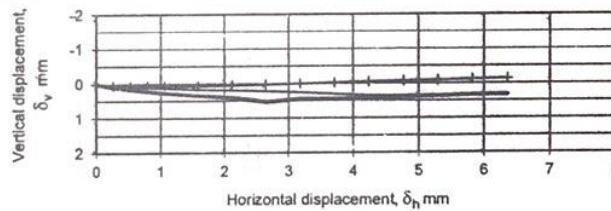
Project : Masjid Hajah Yuliana Mu'allimin Muhammadiyah  
 Location : Bantul, Yogyakarta  
 Sample : BH-1

Depth : 7.00 - 7.50 m  
 Date : 25 Oktober 2019  
 Made by : Tri

Description of soil : \_\_\_\_\_  
 Dimensions of sample : \_\_\_\_\_  
 Diameter = 6,35 cm  
 Area = 31,67 cm<sup>2</sup>  
 Loading rate = 1.06 mm/minute



Test condition :				
Specimen no.		1	2	3
Mass of soil + ring	g	250,88	244,70	247,44
Mass of ring	g	138,25	134,05	133,28
Mass of soil	g	112,41	110,65	114,18
Initial water content	w <sub>N</sub> (%)	15,74		
Bulk density	γ <sub>b</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	1,77	1,75	1,80
Dry density	γ <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	1,53	1,51	1,56
Final water content	w <sub>N</sub> (%)	43,31		
Normal stress	σ <sub>n</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	0,25	0,50	1,00
Shear stress at failure	τ (kg/cm <sup>2</sup> )	0,24	0,46	0,90
Shear displacement at failure	δ <sub>h</sub> (%)	5,01	6,68	8,35



Angle of Internal Friction  $\phi = 41,13^\circ$   
 Cohesion  $c = 0,02 \text{ kg/cm}^2$