

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KAPASITAS DUKUNG PONDASI TIANG
PANCANG PADA GEDUNG BERTINGKAT**

**(STUDI KASUS : JOGJA APARTEL KECAMATAN
UMBULHARJO, KOTA YOGYAKARTA)**

***(ANALYSIS BEARING CAPACITY OF PILE
FOUNDATION)***

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



Faturrachman Ananto

15511152

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**

UNIVERSITAS ISLAM

2023

TUGAS AKHIR

**ANALISIS KAPASITAS DUKUNG PONDASI TIANG
PANCANG PADA GEDUNG BERTINGKAT**

**(STUDI KASUS : JOGJA APARTEL KECAMATAN
UMBULHARJO, KOTA YOGYAKARTA)**

**(ANALYSIS BEARING CAPACITY OF PILE
FOUNDATION)**

Disusun oleh:

Faturrachman Ananto

15511152

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

Diuji pada tanggal _____

Oleh Dewan Penguji

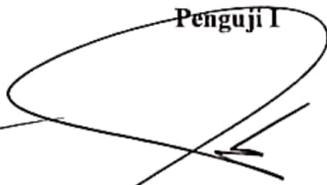
Pembimbing



Akhmad Marzuko, Ir., M.T.

NIK: 885110107

Penguji I



Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T.

NIK: 045110407

Penguji II



Annisa Nur Amalina, S.T., M.Eng.

NIK: 215111305



Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.

NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun dengan sebaik-baiknya sebagai syarat untuk menyelesaikan program sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan 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. Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi pada bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 11 Januari 2023

Yang membuat pernyataan,



Fatm Rachman Ananto

(15511152)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Kapasitas Dukung Tiang Pancang pada Gedung Bertingkat*. Tugas Akhir ini diajukan kepada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta sebagai salah satu syarat mendapatkan derajat Sarjana Teknik Sipil.

Selama penyusunan Tugas Akhir ini terdapat beberapa halangan, tetapi dengan adanya bantuan berupa kritik, saran, serta semangat dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan hal tersebut, maka penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Akhmad Marzuko, M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas bimbingan, nasehat, kritik, dan saran yang diberikan selama penyusunan Tugas Akhir maupun selama masa perkuliahan.
2. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku dosen penguji 1 dan Anisa Nur Amalina, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji 2
3. Yunalia Muntafi S.T., M.T., Ph.D. ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Orang tua tercinta Bapak Joko Erinanto, Ibu Almrh. Rosiana, dan Ibu Enny Endharpuri atas kasih sayang, doa, dan dukungan dalam setiap langkah saya dalam menuntut ilmu.
5. Keluarga besar baik yang berada di Samarinda, Kalimantan Timur dan di Mojokerto, Jawa Timur yang telah memberikan semangat, masukan, dan nasehat demi tercapainya tujuan penelitian ini.
6. Saudara Muhammad Zakki, Bagas Respati, Fatahillah Noor, Roya Sukma, Rio Rizky Pratama, Yusril Huda dan teman-teman Teknik Sipil UII Angkatan 2015 lainnya yang selalu membantu dan mendukung dalam penyelesaian Tugas Akhir.

7. Pihak-pihak lain yang turut serta membantu dan memberikan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung demi tercapainya tujuan dari penelitian ini

Yogyakarta, 2023

Faturrachman Ananto
1511152



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	x
ABSTRAK	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKAN	4
2.1 Analisis Kapasitas Dukung Tiang Pancang	4
2.2 Perbedaan Dengan Penelitian Sebelumnya	6
BAB III LANDASAN TEORI	10
3.1 Tanah	10
3.1.1 Klasifikasi Tanah	10
3.2 Penyelidikan Tanah	16
3.2.1 <i>Cone Penetration Test (CPT)</i>	17
3.2.2 <i>Standart Penetration Test (SPT)</i>	18
3.3 Pondasi Tiang	19
3.3.1 Pondasi Tiang Pancang	20
3.3.2 <i>Safety Factor Tiang Pancang</i>	21
3.4 Pembebanan	23

3.5 <i>Pile Cape</i>	31
3.6 Pondasi Kelompok	32
3.6.1 Jumlah Tiang (n)	32
3.6.2 Susunan Tiang	33
3.6.4 Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Pancang Pada Tanah Pasir	33
3.7 SAP2000	34
BAB IV METODE PENELITIAN	35
4.1 Tinjauan Umum	35
4.2 Studi Pustaka	35
4.3 Pengumpulan Data	35
4.4 Analisis Pembebanan	35
4.5 Analisis Pondasi Tiang Pancang	36
4.6 Bagan Alir Penelitian	36
BAB V ANALISIS KAPASITAS DUKUNG PONDASI	39
5.1 Data Gedung Jogja Apartel	39
5.2 Pembebanan Struktur	42
5.3 Analisis Pembebanan Menggunakan Program SAP2000	48
5.4 Data Karakteristik Tanah	50
5.5 Desain Pondasi Tiang Pancang	50
5.5.1 Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang	51
5.5.2 Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Bor Keadaan <i>Existing</i>	55
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	59
6.1 Kesimpulan	59
6.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Alat Uji CPT atau Uji Sondir	18
Gambar 3.2 Prosedur Uji SPT	19
Gambar 3.3 Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar Periode Pendek	25
Gambar 3.4 Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar Periode 1 detik	26
Gambar 3.5 <i>Pile Cap</i>	32
Gambar 3.6 Konfigurasi Tiang yang Umum Digunakan	33
Gambar 4.1 Bagan Alir Perhitungan SAP 2000	37
Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian	38
Gambar 5.1 Denah Lokasi Gedung	39
Gambar 5.2 Denah Lantai 1 Gedung Jogja Apartel	40
Gambar 5.3 Grafik Respon Spektrum	47
Gambar 5.4 Pemodelan SAP2000	48
Gambar 5.5 Tampak Atas Pemodelan SAP2000	49
Gambar 5.6 Sketsa Desain Tiang Pancang	51
Gambar 5.7 Letak N1 dan N2 pada Tiang Pancang	52
Gambar 5.8 Susunan Tiang Pancang dengan Jumlah 7 Tiang	54
Gambar 5.9 Letak N1 dan N2 pada Tiang Bor	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan Dengan Penelitian Sebelumnya	6
Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi Tanah Unified	13
Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi Tanah USCS	14
Tabel 3.3 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO	16
Tabel 3.4 Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan Tiang Pancang Pracetak	20
Tabel 3.5 <i>Safety Factor</i> Tiang Pancang Menurut Resse dan O'Neill	21
Tabel 3.6 Klasifikasi Situs	24
Tabel 3.7 Koefisien Situs Fa	24
Tabel 3.8 Koefisien Situs Fv	25
Tabel 3.9 Nilai Parameter Pendekatan Ct dan X	27
Tabel 3.10 Koefisien Untuk Batas Atas yang Dihitung	27
Tabel 3.11 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non-gedung Untuk Beban Gempa	28
Tabel 3.12 Faktor Keutamaan Gempa	29
Tabel 3.13 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek	30
Tabel 3.14 Kategor Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 detik	30
Tabel 3.15 Faktor R, Cd, dan W0 Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa	30
Tabel 5.1 Analisis Beban Mati pada Lantai	44
Tabel 5.2 Analisis Beban Mati pada Atap	44
Tabel 5.3 Respon Spektrum Percepatan Periode Pendek	46
Tabel 5.4 Parameter Percepatan Spektrum Desain	47

Tabel 5.5 Faktor Koreksi Kerentanan	47
Tabel 5.6 Cek Gaya Geser Dinamik dan Statik Ekuivalen	48
Tabel 5.7 Kedalaman dan Jenis Tanah pada Titik BH2B	50



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

ΔH	= Tebal lapisan (m)
ΔL	= Panjang tiang (m)
A_p	= Luas penampang tiang (m^2)
A_s	= Luas selimut tiang (m^2)
B_g	= Lebar kelompok tiang (m)
C_u	= Indeks kompresi
C_c	= Kohesi <i>undrained</i>
e	= Angka pori
E_g	= Efisiensi kelompok tiang
F_a	= Koefisien situs untuk perioda pendek
F_v	= Koefisien situs untuk perioda panjang
JHL	= Jumlah hambatan lekat dari data CPT
K	= Keliling tiang (m)
n	= jumlah tiang
N	= Nilai N-SPT rata-rata dari ujung tiang keatas sepanjang 10D dan dari ujung tiang kebawah sepanjang 4D
S	= Jarak pusat ke pusat tiang (m)
SF	= Nilai <i>safety factor</i>
S_s	= Parameter percepatan respons gempa pada periode pendek
S_1	= Parameter percepatan respons gempa pada periode Panjang
SMS	= Pengaruh situs pada periode pendek
SM_1	= Pengaruh situs pada periode Panjang
SDS	= Parameter percepatan respons pada periode pendek

SD1	= Parameter percepatan respons pada periode Panjang
Qall	= Kapasitas dukung ijin tiang (Ton)
Qp	= Kapasitas dukung ujung (Ton)
Qu	= Kapasitas dukung ultimit tiang (Ton)
Qp	= Kapasitas dukung ujung tiang (Ton)
Qs	= Kapasitas dukung selimut tiang (Ton)
Qg	= Kapasitas dukung kelompok tiang (Ton)



ABSTRAK

Gedung Jogja Apartel dibangun pada tanah berpasir dan menggunakan jenis pondasi tiang bor dengan diameter 0,8 meter serta kedalaman 28 meter. Pondasi adalah komponen struktur terendah dari bangunan yang berfungsi untuk meneruskan beban bangunan ke tanah di bawahnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pembebanan struktur Gedung Jogja Apartement dengan menggunakan program SAP2000, mengetahui kapasitas dukung tiang pancang dengan diameter 0,5 meter dan kedalaman 28 meter, dan mengetahui perbandingan kapasitas dukung pondasi bored pile diameter 80 cm dan kedalaman 28 m dengan pondasi tiang pancang diameter 50 cm dan kedalaman 28 m.

Perhitungan beban struktur pondasi dilakukan dengan bantuan program SAP2000. Perhitungan kapasitas dukung pondasi dilakukan dengan menggunakan metode Mayerhoff berdasarkan data N-SPT. Hal ini dilakukan pada kedua jenis pondasi yaitu tiang pancang dan tiang bor.

Hasil perhitungan dalam penelitian ini yaitu beban aksial pada kolom (P) sebesar -1879,66 Ton, gaya geser (H) sebesar 4,6778 Ton, momen arah x (Mx) sebesar 5,6992 Tm, momen arah y (My) sebesar 10,3624 Tm, kapasitas dukung yang didapatkan dalam analisis kapasitas dukung tiang pancang sebesar $Q_g = 1967,772208$ Ton dengan 7 tiang dalam kelompok, kapasitas dukung bored pile yang didapatkan berdasarkan analisis sebesar $Q_g = 3260,7996$ Ton. Nilai kapasitas dukung pondasi menggunakan bored pile dapat menahan beban 65,71% lebih tinggi dibandingkan dengan pondasi tiang pancang.

Kata Kunci: Pondasi, Kapasitas Dukung, Beban Struktur

ABSTRACT

The Jogja Apartel Building was built on sandy soil and uses a type of bored pile foundation with a diameter of 0.8 meters and a depth of 28 meters. The foundation is the structural component with the lowest elevation of the building which functions to transmit the building load to the ground below. This study aims to determine the loading of the structure of the Jogja Apartement Building using the SAP2000 program, to determine the bearing capacity of piles with a diameter of 0.5 meters and a depth of 28 meters, and to determine the comparison of the bearing capacities of bored pile foundations with a diameter of 80 cm and a depth of 28 m with pile foundations 50 cm in diameter and 28 m in depth.

Calculation of the load on the foundation structure is carried out using the SAP2000 program. The calculation of the bearing capacity of the foundation is carried out using the Mayerhoff method based on N-SPT data. The procedure is carried out on the types of pile and drilled pile foundations.

The results showed that the axial load on the column (P) was -1879.66 tons, the shear force (V) was 4.6778 tons, the x direction moment (M_x) was 5.6992 Tm, and the y direction moment (M_y) was 10.3624 Tm. The bearing capacity obtained in the pile bearing capacity analysis is $Q_g = 1967.772208$ Tons with 7 piles in a group, the bored pile bearing capacity obtained based on the analysis is $Q_g = 3260.7996$ Tons. The value of the bearing capacity of the foundation using bored piles can withstand a load of 65.71% higher than the pile foundation.

Keywords: Foundation, Bearing Capacity, Structural Load

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perencanaan bangunan terdiri dari perencanaan struktur atas, dan perencanaan struktur bawah. Struktur atas merupakan struktur bangunan yang berada di atas permukaan tanah meliputi balok, kolom, plat, tangga, dan lain-lain. Struktur bawah adalah struktur bangunan yang berada di bawah permukaan tanah dalam hal ini yang dimaksud merupakan pondasi bangunan.

Menurut Hardiyatmo (2002) pondasi adalah komponen struktur terendah dari bangunan yang berfungsi untuk meneruskan beban bangunan ke tanah di bawahnya. Berdasarkan penggunaannya, pondasi terbagi menjadi pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pemilihan tipe pondasi yang digunakan ditentukan oleh fungsi struktur atas bangunan, besarnya beban dan berat bangunan, serta keadaan tanah di lokasi bangunan tersebut. Pondasi dalam digunakan apabila tanah yang memiliki daya dukung yang cukup untuk menahan beban berat bangunan dan seluruh beban yang akan bekerja terletak pada lapisan dengan kedalaman > 8 meter (Bowles, 1997).

Perencanaan pondasi dimulai dengan menentukan beban struktur yang akan didukung oleh pondasi. Kemudian dilakukan perhitungan daya dukung pondasi yang didasarkan pada karakteristik tanah. Untuk mengetahui karakteristik tanah perlu dilakukan penyelidikan tanah. Penyelidikan tanah dapat dilakukan di lapangan maupun di laboratorium dengan menggunakan sampel tanah yang berasal dari lokasi pembangunan gedung. Berdasarkan penyelidikan tanah dapat ditentukan jenis, kedalaman, dan dimensi pondasi yang digunakan.

Gedung Jogja Apartement merupakan gedung yang berfungsi sebagai hunian atau tempat tinggal dan berlokasi di Jalan Lowanu No.69, Sorosutan, Kecamatan Umbulharjo, Kota Yogyakarta. Dalam penyelidikan tanah yang dilakukan pada tahapan pembangunan gedung tersebut, didapatkan karakteristik tanah pasir.

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah yang telah dilakukan, dipilih pondasi jenis *bored pile*.

Penelitian ini melakukan perhitungan daya dukung pondasi gedung Jogja Apartel menggunakan pondasi tiang pancang. Alasan peneliti menggunakan pondasi tiang pancang adalah untuk mengetahui perbandingan kapasitas dukung pondasi tiang pancang dengan pondasi tiang bor *existing*, kualitas yang lebih baik karena tiang pancang *precast* dibuat dengan standar pabrik sehingga kontrol kualitas dapat dilakukan sebelum tiang pancang digunakan, serta biaya yang dikeluarkan dalam pemasangan lebih murah dari pondasi *bored pile* yang membutuhkan lebih banyak alat bantu. Dalam pelaksanaannya tiang pancang tidak dipengaruhi oleh muka air dan cuaca. Metode pelaksanaan tiang pancang menggunakan metode *Hydrolic Static Pile Driver* (HSPD) yang lebih ramah lingkungan karena tidak menimbulkan suara bising dan getaran. Kapasitas dukung tiang pancang juga dapat langsung diketahui saat pemasangan dial pembebanan yang menunjukkan tekanan hidrolik untuk menekan tiang sampai pada lapisan tanah keras.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka penulis menentukan judul Tugas Akhir ini adalah “ANALISIS KAPASITAS DUKUNG TIANG PANCANG PADA GEDUNG BERTINGKAT” (Studi Kasus Jogja Apartel)

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pembebanan struktur Gedung Jogja Apartement?
2. Bagaimana kapasitas dukung pondasi tiang dengan diameter 50 cm dan kedalaman 28 m?
3. Bagaimana perbandingan kapasitas dukung pondasi *bored pile* diameter 80 cm dan kedalaman 28 m yang digunakan dilapangan dengan pondasi tiang pancang diameter 50 cm dan kedalaman 28 m?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pembebanan struktur Gedung Jogja Apartement dengan menggunakan program SAP2000.
2. Mengetahui kapasitas dukung pondasi tiang dengan diameter 50 cm dan kedalaman 28 m pada gedung Jogja Apartement.
3. Mengetahui perbandingan kapasitas dukung pondasi *bored pile* diameter 80 cm dan kedalaman 28 m dengan pondasi tiang pancang diameter 50 cm dan kedalaman 28 m.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan manfaat kepada masyarakat daerah Yogyakarta dan hasil analisis yang didapat dari penelitian ini dapat digunakan oleh pihak instansi yang berkaitan dapat mengetahui kapasitas dukung pondasi tiang pada gedung Jogja Apartement.

1.5 Batasan Penelitian

Untuk menghindari adanya penyimpangan pada penelitian ini, maka perlu adanya batasan bagi peneliti. Berikut adalah batasan-batasan pada penelitian ini.

1. Penelitian ini meliputi pembatasan ruang lingkup wilayah studi proyek Gedung Jogja Apartement
2. Ruang lingkup pembahasan materi studi adalah pembebanan struktur dan kapasitas dukung pondasi.
3. Tidak menganalisis faktor lain selain pembebanan struktur, kapasitas dukung pondasi tiang bor diameter 80 cm dengan kedalaman 28 m dan kapasitas dukung pondasi tiang pancang diameter 50 cm dengan kedalaman 28 m.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Kapasitas Dukung Tiang Pancang

Dirgananta (2018) melakukan penelitian mengenai perbandingan kapasitas dan penurunan pondasi tiang pancang dengan tiang bor. Penelitian ini menggunakan 3 variasi dimensi tiang yaitu 0,3 m, 0,4 m, dan 0,5 m. Analisis perhitungan dilakukan dengan menggunakan program SAP2000 untuk analisis struktur dan metode Mayerhoff, Aoki De Alencar, serta Luciano Decourt. Hasil dari penelitian ini diambil pondasi dengan variasi diameter 0,5 meter yang dihitung menggunakan metode Mayerhoff memiliki kapasitas dukung sebesar 934,279 Ton, dan jumlah 3 tiang tiang dalam satu kelompok tiang. Hal ini didasarkan pada jumlah tiang yang lebih sedikit dan tetap aman digunakan, sehingga dapat menghemat waktu pekerjaan dan biaya yang digunakan.

Mutmainnah (2021) melakukan penelitian analisis kapasitas dukung dan penurunan pondasi tiang pancang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas dukung dan penurunan tiang pancang dalam menahan beban struktur. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode statis berdasarkan data laboratorium dan data N-SPT. Penelitian ini dirancang dengan menggunakan 4 alternatif dimensi tiang yaitu 50 cm, 60 cm, 70 cm, dan 80 cm. Hasil dari penelitian ini diambil alternatif dimensi tiang 80 cm dengan metode perhitungan menggunakan data N-SPT yang memiliki kapasitas dukung 992,036 Ton, dan jumlah 2 tiang dalam satu kelompok tiang.

Ridho (2010) melakukan penelitian kapasitas dukung pondasi tiang pancang kelompok. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas dukung tiang pancang ujung tertutup pada tanah pasir berlempung. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode mayerhoff, dan SAP 2000. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin banyak tiang dalam 1 *pile cap*, maka semakin besar

kapasitas dukung pondasi kelompok tiang tersebut. Dalam penelitian ini didapatkan perbandingan kapasitas dukung pondasi kelompok tiang dengan variasi jumlah 9 tiang memiliki nilai kapasitas dukung yang lebih besar dibandingkan dengan variasi jumlah 2 tiang, nilai kapasitas dukung yang didapat untuk variasi jumlah 9 tiang yaitu 3,6588 kN, dan untuk nilai kapasitas dukung yang didapat untuk variasi jumlah 2 tiang yaitu 0,7318 kN.

Erni (2009) melakukan penelitian mengenai daya dukung dan penurunan pondasi tiang pancang dengan judul “Perencanaan Pondasi Tiang Pancang dalam Berbagai Bentuk pada Gedung Rumah Sakit Mitra Keluarga Depok”. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung pembebanan pada gedung Rumah Sakit Mitra Keluarga Depok, menentukan dimensi dan kedalaman pondasi, menghitung daya dukung pondasi dan penurunan pondasi, serta menghitung biaya pondasi tiang pancang dengan variasi bentuk dan diameter 30 cm, 40 cm, 50 cm, dan 60 cm. Perhitungan daya dukung tiang pancang menggunakan metode Mayerhoff dan Janbu, untuk analisis struktur menggunakan program SAP2000. Pada penelitian ini didapatkan hasil yang paling efektif dan efisien berupa bentuk pondasi tiang bulat dengan diameter 60 cm yang memiliki daya dukung *ultimate* sebesar 2476,283 kN dan nilai penurunan sebesar 0,0226 m.

Priarianto dan Widodo (2002) melakukan penelitian berjudul “Analisis Pengaruh Diameter, Panjang, dan Formasi Tiang Pancang Terhadap Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh diameter, panjang, dan formasi tiang pancang terhadap kapasitas dukung pondasi tiang pancang dan penurunan pondasi tiang pancang menggunakan metode statis. Pada penelitian ini, terdapat variasi diameter yang digunakan yaitu 30, 35, 40, 45, 50, dan 60 cm, serta variasi kedalaman yaitu 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, dan 16 m. Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini yaitu semakin besar diameter dan panjang tiang pondasi maka semakin besar pula nilai kapasitas dukung tiang. Formasi tiang berpengaruh terhadap kapasitas dukung pondasi tiang, semakin besar lebar formasi tiang maka semakin besar kapasitas dukung pondasi tiang.

2.2 Perbedaan Dengan Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dilakukan, maka didapatkan rincian pada tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang akan dilakukan
	Dirgananta (2018)	Muthmainnah (2018)	Ridho (2010)	Erni (2009)	Priarianto dan Widodo (2002)	Faturrachman Ananto (2022)
Judul Penelitian	Perencanaan Ulang Pondasi Tiang Dengan Variasi Diameter Menggunakan Metode Mayerhoff, Aoki & De Alencar, dan Luciano Decourt	Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Dengan Variasi Dimensi.	Uji Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang Kelompok Ujung Tertutup Pada Tanah Pasir Berlempung Dengan Variasi Jumlah Tiang.	Perancangan Pondasi Tiang Pancang Dalam Berbagai Bentuk pada Gedung Rumah Sakit Mitra Keluarga Depok.	Analisis Pengaruh Diameter, Panjang, dan Formasi Tiang Terhadap Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang.	Analisis Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pada Gedung Bertingkat.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang akan dilakukan
Peneliti	Dirgananta (2018)	Muthmainnah (2018)	Ridho (2010)	Erni (2009)	Priarianto dan Widodo (2002)	Faturrachman Ananto (2022)
Tujuan Penelitian	Mengetahui kapasitas dukung dan penurunan pondasi tiang pancang, dan perbandingan dengan kondisi <i>existing</i> .	Mengetahui kapasitas dukung pondasi tiang dan penurunan dari pondasi tiang pancang, dan perbandingan dengan kondisi <i>existing</i> .	Mengetahui kapasitas dukung pondasi tiang pancang kelompok ujung tertutup pada tanah pasir berlempung.	Mengetahui dimensi dan kedalaman pondasi yang efektif serta menghitung daya dukung, penurunan, dan biaya dari pondasi tiang pancang.	Menghitung pengaruh diameter, panjang, dan formasi tiang terhadap kapasitas dukung dan penurunan pondasi tiang pancang.	Mengetahui kapasitas dukung pondasi tiang pancang.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang akan dilakukan
Peneliti	Dirgananta (2018)	Muthmainnah (2018)	Ridho (2010)	Erni (2009)	Priarianto dan Widodo (2002)	Faturrachman Ananto (2022)
Metode Penelitian	Analisis dilakukan dengan menggunakan metode Mayerhoff, Aoki & De Alencar, dan Luciano Decourt.	Analisis dilakukan menggunakan metode statis.	Analisis pembebanan menggunakan software SAP2000 dan perhitungan manual menggunakan metode Mayerhoff.	Analisis menggunakan metode Mayerhoff dan Janbu	Analisis menggunakan metode Statis.	Analisis Pembebanan menggunakan <i>software</i> SAP2000 dan perhitungan manual menggunakan metode Mayerhoff.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang akan dilakukan
Peneliti	Dirgananta (2018)	Muthmainnah (2021)	Ridho (2010)	Erni (2009)	Priarianto dan Widodo (2002)	Faturrachman Ananto (2022)
Hasil Penelitian	Didapatkan alternatif diameter 0,5 m dengan menggunakan metode Mayerhoff dengan kapasitas dukung tiang 934,279 ton dengan jumlah 3 tiang dalam 1 kelompok tiang.	Didapatkan alternatif diameter 0,8 m dengan metode perhitungan menggunakan data NSPT dengan kapasitas dukung tiang 934,279 ton dengan jumlah 3 tiang dalam 1 kelompok tiang.	Kapasitas dukung pondasi kelompok tiang dengan variasi jumlah 9 tiang memiliki nilai kapasitas dukung yang lebih besar dibandingkan dengan variasi jumlah 2 tiang.	Didapatkan hasil dengan variasi tiang berbentuk bulat dan diameter 60 cm yang memiliki Qultimate sebesar 2476,283 kN dan penurunan sebesar 0,0226 m.	Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini yaitu semakin besar diameter dan panjang tiang pondasi maka semakin besar pula nilai kapasitas dukung tiang. Formasi tiang berpengaruh terhadap kapasitas dukung pondasi tiang, semakin besar lebar formasi tiang maka semakin besar kapasitas dukung pondasi tiang..	Kapasitas dukung pondasi tiang pancang diameter 40 cm dengan kedalaman 28 m.

Sumber: Dirgananta (2018), Muthmainnah (2021), Ridho (2010), Erni (2009), Priarianto dan Widodo (2002)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah merupakan suatu agregat butiran mineral dan partikel-partikel padat dengan cairan dan gas pada ruang-ruang kosong didalamnya. Tanah digunakan sebagai bahan konstruksi pada berbagai proyek teknik sipil serta sebagai pendukung pondasi struktural. Maka dari itu, insinyur sipil harus belajar sifat-sifat tanah, seperti asalnya, distribusi ukuran butir, kemampuan mengalirkan air, kompresibilitas, kekuatan geser, dan kapasitas dukung beban. Mekanika tanah adalah cabang ilmu yang berurusan dengan studi tentang sifat-sifat fisik tanah dan perilaku tanah. Rekayasa tanah adalah penerapan prinsip-prinsip mekanika tanah dalam penyelesaian masalah praktis. Rekayasa geoteknik adalah subdisiplin teknik sipil yang melibatkan bahan alami yang ditemukan dekat dengan permukaan bumi. Ini termasuk penerapan prinsip-prinsip mekanika tanah dan mekanika batuan desain pondasi, struktur penahan, dan struktur bumi.

Hardiyatmo (2002) menjelaskan bahwa istilah pasir, lempung lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Akan tetapi, istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedang pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis.

3.1.1 Klasifikasi Tanah

Terdapat banyak masalah teknis yang berhubungan dengan tanah, misalnya penentuan penurunan bangunan, evaluasi stabilitas tanah, dan masalah teknis lainnya yang akan sangat terbantu jika terdapat sebuah sistem atau pedoman terhadap pemilihan tanah yang dapat dikelompokkan untuk menunjukkan sifat atau

kelakuan pada berbagai jenis tanah. Pemilihan tanah atau pengelompokan tanah ini disebut klasifikasi tanah.

Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang sering digunakan, yaitu Unified Soil Classification System dan AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Sistem-sistem ini menggunakan sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas. Klasifikasi tanah dari System Unified pertama diusulkan oleh Casagrande (1942), kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (United State Bureau of Reclamation).

1. Sistem Klasifikasi *Unified*

Pada sistem *Unified*, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200 dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam kelompok dan subkelompok yang dapat dilihat pada tabel 3.1. simbol-simbol yang digunakan adalah sebagai berikut.

G = kerikil (*gravel*)

S = pasir (*sand*)

M = lanau (*silt*)

C = lempung (*clay*)

O = lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*)

Pt = tanah gambut dan organik tinggi (*peat and highly organic soil*)

W = gradasi baik (*well-graded*)

P = gradasi buruk (*poor-graded*)

L = plastisitas rendah (*low-plasticity*)

H = plastisitas tinggi (*high-plasticity*)

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah *unified* adalah sebagai berikut.

- a. Secara visual ditentukan apakah tanah berupa butiran halus atau butiran kasar dengan cara disaring dengan saringan nomor 200.
- b. Jika tanah berupa butiran kasar, maka:

- 1) Tanah tersebut disaring dan digambarkan grafik distribusinya,
- 2) Ditentukan persen butiran lolos saringan no.4 jika persentase yang lolos kurang dari 50% maka klasifikasi tanah tersebut adalah kerikil, jika persentase yang lolos lebih dari 50% maka klasifikasi tanah tersebut adalah pasir,
- 3) Ditentukan jumlah butiran yang lolos saringan no.200, jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5%, perhatikan bentuk grafik distribusi butiran dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka diklasifikasikan sebagai GW (bila kerikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, maka diklasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) dan SP (bila pasir),
- 4) Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan no.200 diantara 5% sampai 12%, tanah akan memiliki simbol ganda dan mempunyai sifat keplastisan (GW-GM, SW-SM, dan sebagainya),
- 5) Jika persentase butiran yang lolos saringan no.200 lebih besar dari 12%, maka harus dilakukan uji batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tertinggal dalam saringan no.40, kemudian dengan menggunakan diagram plastisitas, ditentukan klasifikasinya. (GM,GC,SM,SC,GM-GC, dan SM-SC).

Sistem klasifikasi *Unified* dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi Tanah *Unified*

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

(Sumber: Hardiyatmo, 1992)

Klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah Sistem USCS

		Kriteria Klasifikasi		
Klasifikasi berdasarkan persentas butir halus	GW, GP, SW, SP GM, GC, SM, SC Klasifikasi perbatasan yang memerlukan penggunaan	$C_u = D_{60} / D_{10}$ Lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3		
		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW		
	Kurang dari 5% lolos ayakan No. 200 Lebih dari 12% lolos ayakan No. 200 5% sampel 12% lolos ayakan No. 200	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas <i>Atterberg</i> yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda	
		Batas-batas <i>Atterberg</i> di atas garis A atau $PI > 7$		
		$C_u = D_{60} / D_{10}$ Lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3		
		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW		
		Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas <i>Atterberg</i> yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda	
Batas-batas <i>Atterberg</i> di atas garis A atau $PI > 7$				
<p>Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang diarsir berarti Batasan klasifikasinya Menggunakan simbol. Persamaan garis A : $PI = 0,78(LL-20)$</p>				
Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam ASTM Designation D-2488				

(Sumber: Hardiyatmo, 1992)

2. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perencanaan timbunan jalan, *subbase*, dan *subgrade*. Sistem ini terutama digunakan untuk keperluan-keperluan tertentu dalam lingkup tersebut. Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah kedalam 8 kelompok, dari mulai A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg. Indeks kelompok (*group index*) (GI) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan Persamaan 3.1 berikut.”

$$GI = (F-35)[0,2+0,005(LL-40)]+0,01(F-15)(PI-10) \quad (3.1)$$

Dengan.

GI = indeks kelompok (*group index*)

F = persen butiran lolos saringan no.200 (0,075 mm)

LL = batas cair

PI = indeks plastisitas

Sistem klasifikasi AASHTO dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.3 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO

Klasifikasi Umum	Material Berbutir Kasar (35% atau kurang lolos saringan No. 200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi Group	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa ayakan (% lolos) :							
No. 10	Max 50	-	-	-	-	-	-
No. 40	Max 30	Max 50	Min 51	-	-	-	-
No. 200	Max 15	Max 25	Max 10	Max 35	Max 35	Max 35	Max 35
Karakteristik fraksi lolos saringan No.40 :							
Batas Cair (LL)	-			Max 40	Min 41	Max 40	Min 41
Indeks Plastisitas (PI)	Max 6		N.P.	Max 10	Max 10	Min 11	Min 11
Jenis Material Pokok	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan Pasir Kelanauan atau Kelempungan			
Tingkat kegunaan sebagai subgrade	Sangat baik hingga baik						
Klasifikasi Group	A-4		A-5	A-6		A-7	
						A-7-5	
						A-7-6	
Analisa Ayakan (% lolos) :							
No. 10	-	-	-	-	-	-	-
No. 40	-	-	-	-	-	-	-
No. 200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Karakteristik fraksi lolos saringan No. 40 :							

(Sumber: Hardiyatmo,2002)

3.2 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah adalah metode untuk mengetahui karakteristik dan daya dukung tanah yang akan digunakan sebagai dasar dari sebuah bangunan konstruksi. Penyelidikan tanah harus dilakukan sebelum menentukan jenis pondasi yang akan digunakan. Penyelidikan tanah memiliki beberapa tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui kedalaman tanah keras dilokasi untuk menentukan peletakan pondasi,
2. Mengetahui kedalam muka air tanah,

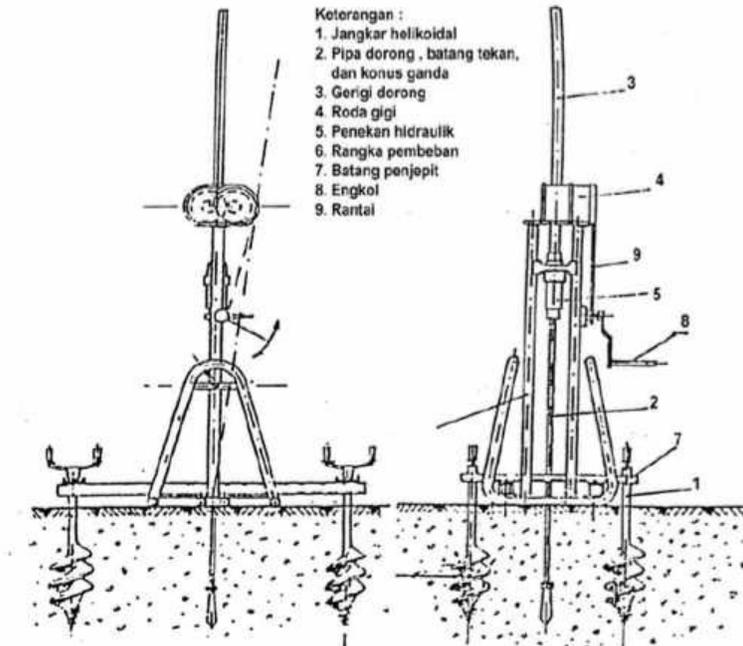
3. Mengetahui sampel tanah yang akan diuji di laboratorium,
4. Mengetahui karakteristik tanah pada setiap lapisan tanah,
5. Menentukan tipe pondasi yang akan digunakan.

Penyelidikan tanah terdiri dari 3 tahap, yakni pengeboran, pengambilan sampel, dan pengujian di laboratorium. Penyelidikan tanah juga dapat dilakukan dilokasi, yaitu dengan penyelidikan *Cone Penetration Test* (CPT) dan *Standart Penetration Test* (SPT).

3.2.1 *Cone Penetration Test* (CPT)

Cone penetration test atau uji sondir adalah suatu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui daya dukung tanah tiap kedalaman tertentu berdasarkan parameter-parameter perlawanan tanah. Pengujian ini dilakukan dengan cara memasukkan konus ke dalam tanah dan melakukan pembacaan manometer pada setiap kedalaman 20 cm.

Hasil dari pengujian ini disajikan dalam bentuk grafik sondir yang berisikan menampilkan hubungan antara kedalaman sondir, nilai perlawanan konus (q_c), dan jumlah hambatan pekat (TF). Gambar alat uji CPT atau uji sondir dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.

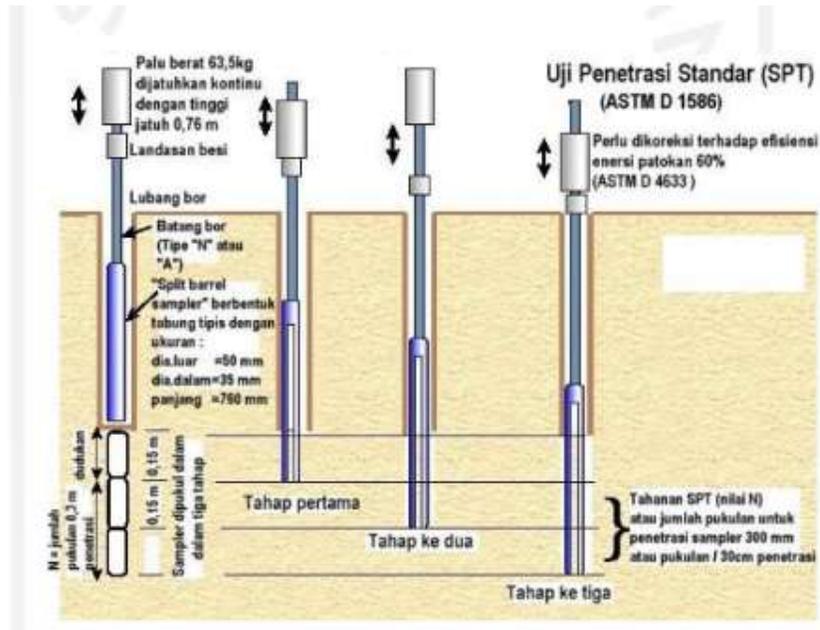


Gambar 3.1 Alat Uji CPT atau Uji Sondir

(Sumber: SNI 2827:2008)

3.2.2 Standart Penetration Test (SPT)

Uji SPT bertujuan untuk mengetahui jenis tanah dan kekuatan tanah dari suatu lapisan tanah. Uji SPT dilakukan pada lubang bor setelah pengambilan sampel tanah pada beberapa interval kedalaman tanah. Prinsip pengujian SPT yaitu dengan Uji SPT ini dilakukan dalam suatu lubang bor dengan memasukkan tabung sampel yang berdiameter dalam 35 mm sedalam 305 mm dengan menggunakan masa pendorong (palu) seberat 63,5 kg yang jatuh bebas dari ketinggian 760 mm. Prosedur pelaksanaan uji SPT dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.2 Prosedur Uji SPT

(Sumber: SNI 4153:2008)

3.3 Pondasi Tiang

Pondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Pondasi jenis ini dapat digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat ke atas, terutama pada bangunan-bangunan tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya-gaya pengguling akibat beban angin (Hardiyatmo, 2010).

Pondasi tiang digunakan untuk tujuan sebagai berikut:

1. Untuk meneruskan beban bangunan yang terletak di atas tanah lunak ke tanah pendukung yang kuat,
2. Untuk meneruskan beban ke tanah yang relatif lunak sampai kedalaman tertentu sehingga pondasi bangunan mampu memberikan dukungan yang cukup untuk menahan beban tersebut oleh gesekan dinding tiang dengan tanah disekitarnya,

3. Untuk menahan gaya-gaya horizonatal dan gaya yang arahnya miring,
4. Untuk mendukung pondasi bangunan yang permukaan tanahnya mudah tergerus air.

3.3.1 Pondasi Tiang Pancang

Tiang pancang umumnya berbentuk prisma atau bulat. Tiang-tiang dicetak di lokasi tertentu, kemudian diangkut ke lokasi pembangunan. Ukuran diameter yang biasanya dipakai untuk tiang yang tidak berlubang diantara 20 sampai 60 cm. Untuk tiang yang berlubang diameternya dapat mencapai 140 cm. Panjang tiang beton pracetak biasanya berkisar diantara 20 sampai 40 m. Untuk tiang beton berlubang bisa sampai 60 m. Beban maksimum untuk tiang ukuran kecil dapat berkisar di antara 300 sampai 800 kN (Hardiyatmo, 2002).

Kelebihan dan kekurangan tiang pancang dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut

Tabel 3.4 Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan Tiang Pancang Pracetak

Penggunaan Tiang Pancang Pracetak	
Kelebihan	Kekurangan
1. Bahan tiang dapat diperiksa sebelum pemancangan.	1. Peggembungan permukaan tanah dan gangguan tanah
2. Prosedur pelaksanaan tidak dipengaruhi oleh air tanah.	2. Tiang terkadang rusak akibat pemancangan.
3. Tiang dapat dipancang sampai kedalaman yang dalam.	3. Pemancangan sulit apabila diameter tiang terlalu besar.
4. Pemancangan tiang dapat menambahkan kepadatan tanah granuler.	4. Pemancangan menyebabkan polusi suara, getaran, dan deformasi tanah yang dapat menimbulkan kerusakan bangunan disekitarnya.
	5. Penulangan dipengaruhi oleh tegangan yang terjadi pada waktu pengangkutan dan pemancangan tiang.

3.3.2 Safety Factor Tiang Pancang

Safety factor tiang pancang menurut Reese dan O'Neill dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.5 Safety Factor Tiang Pancang Menurut Reese dan O'Neill

Klasifikasi Struktur	Kontrol Baik	Kontrol Normal	Kontrol Jelek	Kontrol Sangat Jelek
Monumental	2,3	3	3,5	4
Permanen	2	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2	2,3	2,8

Sumber: Hardiyatmo (2010)

Sesuai tabel diatas dengan kondisi control normal dan bangunan permanen, maka digunakan *safety factor* 2,5 untuk pondasi tiang pancang.

3.2.3 Kapasitas Dukung Pondasi

a. Kapasitas Dukung Ujung

Perhitungan kapasitas dukung ujung dibagi sesuai dengan pengujian tanah yang dilakukan.

1) Data SPT (*Standart Penetration Test*)

Untuk menghitung kapasitas dukung ujung dengan menggunakan data SPT dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

Untuk satuan kN

$$Q_p = A_p \times q_p = A_p \times (400 N) \frac{L_B}{D} \leq A_p \times (400N) \quad (3.2)$$

Untuk satuan Lb

$$Q_p = A_p \times q_p = A_p \times (800 N) \frac{L_B}{D} \leq A_p \times (80000N) \quad (3.3)$$

2) Data CPT (*Cone Penetration Test*)

Untuk menghitung kapasitas dukung ujung dengan menggunakan data CPT dapat menggunakan rumus berikut.

$$Q_p = A_p \times q_c \quad (3.4)$$

Keterangan:

Q_p = Kapasitas dukung ujung (kN atau Lb)

A_p = Luas penampang melintang (m^2 atau ft^2)

N = Nilai N-SPT rata-rata dari ujung tiang keatas sepanjang 8D
dan dari ujung tiang kebawah sepanjang 4D

L_B = Tebal lapis keras

D = Lebar atau diameter tiang (m atau ft)

b. Kapasitas Dukung Selimut

Perhitungan kapasitas dukung selimut dibagi sesuai dengan pengujian tanah yang dilakukan.

1) Data SPT

Untuk menghitung kapasitas dukung selimut dengan menggunakan data SPT dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Q_s = p \times L \times f_{av} \quad (3.5)$$

2) Data CPT

Untuk menghitung kapasitas dukung ujung dengan menggunakan data CPT dapat menggunakan rumus berikut.

$$Q_s = p \times JHP \quad (3.6)$$

Keterangan:

P = Keliling tiang

L = Panjang segmen tiang

f_{av} untuk *large displacement piles*

$$f_{av} \left(\frac{kN}{m^2} \right) = 2 \times N \quad (3.7)$$

$$f_{av} \left(\frac{lb}{ft^2} \right) = 40 \times N \quad (3.8)$$

f_{av} untuk *small displacement piles*

$$f_{av} \left(\frac{kN}{m^2} \right) = N \quad (3.9)$$

$$f_{av} \left(\frac{lb}{ft^2} \right) = 20 \times N \quad (3.10)$$

N = Nilai N-SPT rerata.

JHP = Jumlah Hambatan Pelekat (kg/cm; t/m)

c. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang

Kapasitas dukung ultimit tiang dapat dicari dengan rumus sebagai berikut.

$$Q_u = Q_p + Q_s - W \quad (3.11)$$

$$W = A_p \times L \times \text{Berat Jenis Beton Bertulang} \quad (3.12)$$

Jika $W = 0$, maka rumus kapasitas dukung ultimit tiang adalah sebagai berikut.

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (3.13)$$

Keterangan:

Q_u = Kapasitas dukung ultimit tiang

Q_p = Kapasitas dukung ujung tiang

Q_s = Kapasitas dukung selimut tiang

d. Kapasitas Dukung Ijin Tiang (Q_{all})

Kapasitas dukung ijin tiang dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \quad (3.14)$$

Keterangan:

Q_{all} = Kapasitas dukung ijin tiang

Q_u = Kapasitas dukung ultimit tiang

SF = Nilai *Safety Factor*

3.4 Pembebanan

Dalam analisis distribusi beban gempa pada struktur bangunan, ada beberapa tahap perhitungan yang dilakukan yaitu sebagai berikut.

1. Klasifikasi situs batuan pada peraturan SNI 1726-2019 dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut

Tabel 3.6 Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ek}	\bar{s}_v (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 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_v < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau 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 $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_v < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber: SNI 1726-2019)

2. Koefisien situs F_a dan F_v

Koefisien situs F_a dan F_v ditentukan oleh SNI 1726-2019 yang dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.7 Koefisien Situs F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_e					
	$S_e \leq 0,25$	$S_e = 0,5$	$S_e = 0,75$	$S_e = 1,0$	$S_e = 1,25$	$S_e \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

(Sumber: SNI 1726-2019)

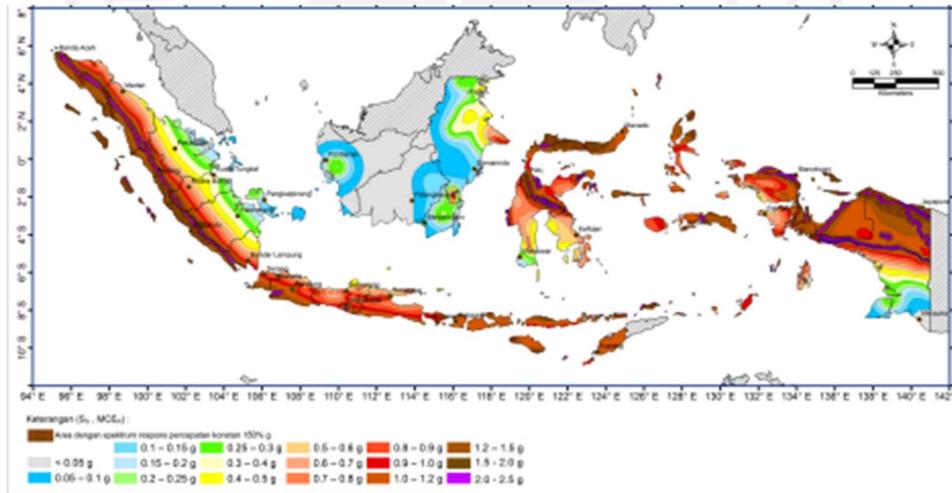
Tabel 3.8 Koefisien Situs Fv

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_T					
	$S_T \leq 0,1$	$S_T = 0,2$	$S_T = 0,3$	$S_T = 0,4$	$S_T = 0,5$	$S_T \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(a)}$					

(Sumber: SNI 1726-2019)

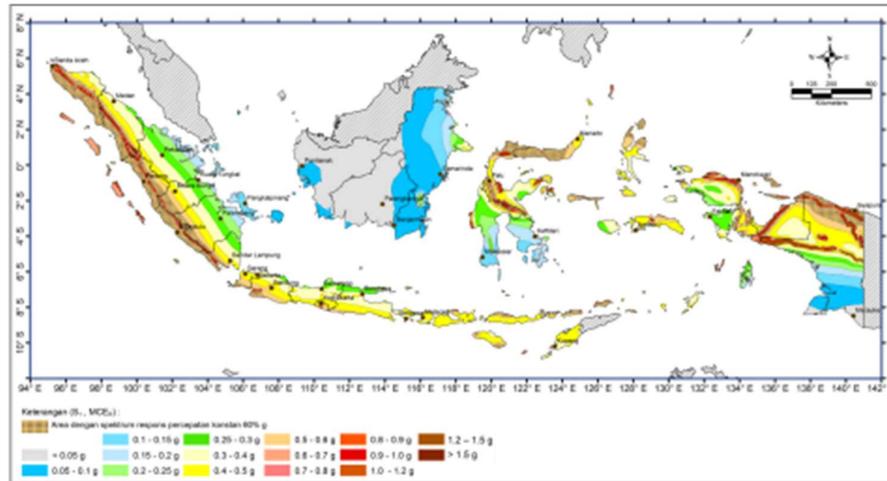
3. Perancangan Respons Spektrum

Untuk perencanaan respons spektrum dapat pada peta berikut.



Gambar 3.3 Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar Pada Periode Pendek (Ss)

(Sumber: SNI 1726-2019)



**Gambar 3.4 Peta Wilayah Percepatan Batuan Dasar Pada Periode 1 Detik
(S1)**

(Sumber: SNI 1726-2019)

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (3.15)$$

$$S_{M1} = F_v \times S1 \quad (3.16)$$

$$S_{DS} = (2/3) \times S_{MS} \quad (3.17)$$

$$S_{D1} = (2/3) \times S_{M1} \quad (3.18)$$

Keterangan

F_a = Koefisien situs F_a

F_v = Koefisien situs F_v

S_s = Parameter percepatan respons gempa pada periode pendek

$S1$ = Parameter percepatan respons gempa pada periode Panjang

S_{MS} = Pengaruh situs pada periode pendek

S_{M1} = Pengaruh situs pada periode Panjang

S_{DS} = Parameter percepatan respons pada periode pendek

S_{D1} = Parameter percepatan respons pada periode Panjang

4. Periode Natural Maksimum

Periode natural maksimum dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$T_a = C_t \times h x \quad (3.19)$$

$$T - \max = C_u \times T_a \quad (3.20)$$

Keterangan

T_a = Periode natural (dt)

C_t = Koefisien tipe struktur berdasarkan SNI 1726-2019 dapat dilihat pada Tabel 3.9

h = Tinggi bangunan

x = Koefisien parameter perioda struktur berdasarkan SNI 1726-2019 dapat dilihat pada Tabel 3.9

T -max = Periode natural maksimum (dt)

C_u = Koefisien batas atas pada periode yang dihitung dapat dilihat pada Tabel 3.10 berikut.

Tabel 3.9 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 3.10 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode yang Dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber: SNI 1726-2019)

5. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa (Ie)

Berdasarkan SNI-1726-2019 bagian 4.1.2, untuk berbagai kategori risiko bangunan Gedung dan non Gedung sesuai Tabel 3. pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan (I) menurut Tabel 3.

Tabel 3.11 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non-gedung Untuk Beban Gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 	III
Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	

(Sumber: SNI 1726-2019)

**Lanjutan Tabel 3.11 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non-gedung
Untuk Beban Gempa**

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat 	IV
<p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 3.12 Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

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

(Sumber: SNI 1726-2019)

6. Kategori Desain Seismik

Data tabel kategori desain seismik dapat dilihat pada tabel 3.13, 3.14, dan 3.15 berikut.

Tabel 3.13 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 3.14 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 3.15 Faktor R, Cd, dan Ω_0 Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_x (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5%	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^a	TI ^a	TI ^a
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^f	TI ^f	TI ^f
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^g	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5%	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembuatan ^h	3½	3 ^e	3%	10	10	10	10	10

(Sumber: SNI 1726-2019)

7. Gaya Geser Nominal (V)

Berdasarkan SNI-1726-2019, rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai beban geser nominal gempa (V) dapat dilihat pada persamaan 3.29.

$$V = C_s \times W \quad (3.21)$$

Keterangan:

V = Gaya geser dasar seismik

C_s = Koefisien respons seismik yang ditentukan

W = berat seismik efektif

8. Cek Gaya Geser Dinamik dan Statik Ekuivalen

Nilai beban gempa dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu harus memenuhi syarat yang sudah ditetapkan. Nilai gaya geser gempa dinamik tidak boleh diambil kurang dari 85% dari nilai gempa statik. Jika nilai gempa dinamik lebih kecil daripada 85% nilai gempa statik maka harus dikalikan dengan faktor skala yang dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$Faktor\ Skala = \frac{0,85 \times V_s}{V_d} \geq 1 \quad (3.22)$$

Dengan :

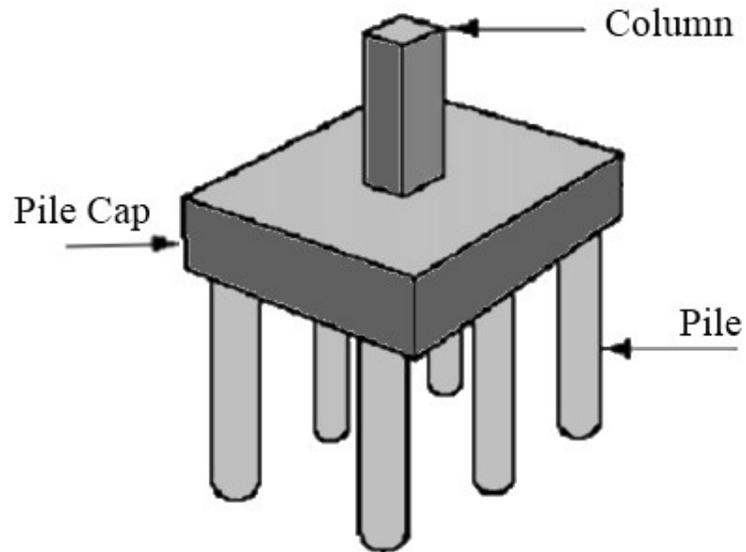
V_s = Gaya geser statik

V_d = Gaya geser dinamik

3.5 Pile Cap

Pile Cap berfungsi untuk menyalurkan beban bangunan yang diterima oleh kolom sehingga pondasi tiang akan menerima beban sesuai dengan kapasitas dukung ijin. *Pile Cap* biasanya terbuat dari beton bertulang.

Hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan *pile cap* adalah pengaturan tiang dalam satu kelompok. Umumnya, susunan tiang dibuat simetris agar pusat berat kelompok tiang dan pusat berat *pile cap* terletak pada satu garis vertikal. Jarak antar tiang diusahakan sedekat mungkin untuk menghemat *pile cap*, tetapi jika pondasi memikul beban momen maka jarak tiang perlu diperbesar yang berarti memperbesar tahanan momen.



Gambar 3.5 *Pile Cap*

3.6 Pondasi Kelompok

Pondasi tiang pancang yang umumnya dipasang secara berkelompok. Yang dimaksud berkelompok adalah sekumpulan tiang yang dipasang secara relatif berdekatan dan biasanya diikat menjadi satu dibagian atasnya dengan menggunakan *pile cap*. Untuk menghitung kapasitas dukung kelompok tiang, ada beberapa hal yang harus diperhatikan terlebih dahulu, yakni jumlah tiang dalam satu kelompok, susunan tiang, dan efisiensi kelompok tiang.

3.6.1 Jumlah Tiang (n)

Untuk menentukan jumlah tiang yang akan dipasang didasarkan beban yang bekerja pada pondasi dan kapasitas dukung ijin tiang, maka rumus yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$n = \frac{P}{Q_{all}} \quad (3.23)$$

Keterangan:

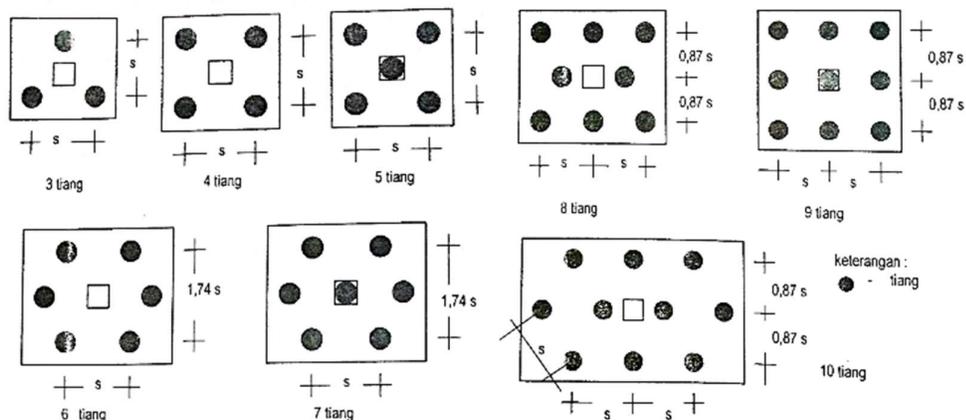
n = Jumlah tiang

P = Gaya yang bekerja

Q_{all} = Kapasitas dukung ijin tiang tunggal

3.6.2 Susunan Tiang

Susunan tiang ditentukan setelah mendapatkan jumlah tiang dalam satu kelompok yang akan digunakan. Untuk susunan tiang yang umum digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.6 Konfigurasi Tiang yang Umum Digunakan

Sumber: Suryolelono (2004)

Suryolelono (2004) menyatakan bahwa jarak antar tiang (S) sebaiknya:

1. Jika ujung tiang tidak mencapai tanah keras, maka $S \geq 2 \times$ diameter tiang,
2. Jika ujung tiang mencapai tanah keras, maka $S \geq$ diameter tiang + 30 cm.

3.6.3 Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Pada Tanah Pasir

Kapasitas dukung kelompok tiang pancang pada tanah pasir dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut.

1. Pada tiang pancang dengan $S \geq 3D$

$$E_g = 1,0$$

Kapasitas dukung kelompok = Jumlah kapasitas dukung tiang tunggal

$$Q_g = n \times Q_{all} \quad (3.24)$$

2. Pada tiang pancang dengan $S < 3D$

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

3. Pada kondisi tanah pasir, efisiensi kelompok tiang bor terbagi menjadi $E_g = 0,67$ untuk kapasitas dukung selimut dan $E_g = 1$ untuk kapasitas dukung ujung.

3.7 SAP 2000

SAP (*Structural Analysis Program*) merupakan sebuah program aplikasi komputer untuk menganalisis serta merancang struktur pada bidang teknik sipil. Dari analisis program SAP 2000 dapat diketahui gaya geser, momen lentur, momen torsi dan simpangan. Pemodelan struktur yang digunakan dalam aplikasi SAP 2000 diusahakan mendekati kondisi struktur yang sebenarnya, agar hasil analisis dapat digunakan. Pemodelan struktur meliputi:

1. Penentuan koordinat *joint*,
2. Penentuan orientasi element dalam koordinat struktur,
3. Penentuan sifat penampang elemen dan elastisitas,
4. Penentuan pembebanan struktur,
5. Penentuan jenis analisis yang digunakan.

Prosedur input data pada program SAP2000 adalah sebagai berikut.

1. Identifikasi *joint*, *frame*, *restraint*, dan *constraint*,
2. Identifikasi material dan *frame section*,
3. Identifikasi beban, yaitu beban mati, beban hidup, beban gempa, dan kombinasi.
4. Analisis struktur dilakukan dengan cara menekan tombol *RUN*.

Dari hasil *output* SAP2000 didapatkan gaya-gaya dalam akibat kombinasi beban, yaitu gaya normal (P), gaya geser (H), dan momen (M) yang bekerja pada setiap kolom yang akan dipakai sebagai beban rencana pada analisis kapasitas dukung pondasi tiang pancang.

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian adalah sebuah tata cara untuk mendapatkan informasi atau data yang valid, dengan tujuan dapat ditemukan, dibuktikan dan dikembangkan sehingga dapat digunakan untuk memahami, menyelesaikan, dan mengantisipasi masalah. Dalam penelitian ini, metode penelitian yang digunakan adalah berupa analisis, penelitian ini menggunakan data-data primer dan sekunder, selanjutnya data-data tersebut dianalisis guna memperoleh hasil akhir dari penelitian yang berupa pembahasan dan pengambilan kesimpulan.

4.2 Studi Pustaka

Studi pustaka adalah kegiatan yang dilakukan oleh peneliti untuk mengumpulkan informasi yang berkaitan dengan topik atau permasalahan yang akan diteliti guna menunjang penelitian. Informasi dapat diperoleh dari buku ilmiah, laporan penelitian, ketetapan, tesis, disertasi, ensiklopedia, dan sumber-sumber lain yang bersifat ilmiah.

4.3 Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, data yang akan digunakan diperoleh dari proyek Jogja Apartment. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Gambar teknis gedung Jogja Apartment.
2. Data hasil penyelidikan tanah.

4.4 Analisis Pembebanan

Analisis pembebanan dilakukan untuk mengetahui nilai beban struktur yang akan diterima oleh pondasi. Dalam penelitian ini, penulis melakukan analisis pembebanan menggunakan program SAP2000. Hasil dari program tersebut berupa

data gaya-gaya yang bekerja pada kolom, yakni gaya aksial, gaya geser, dan momen.

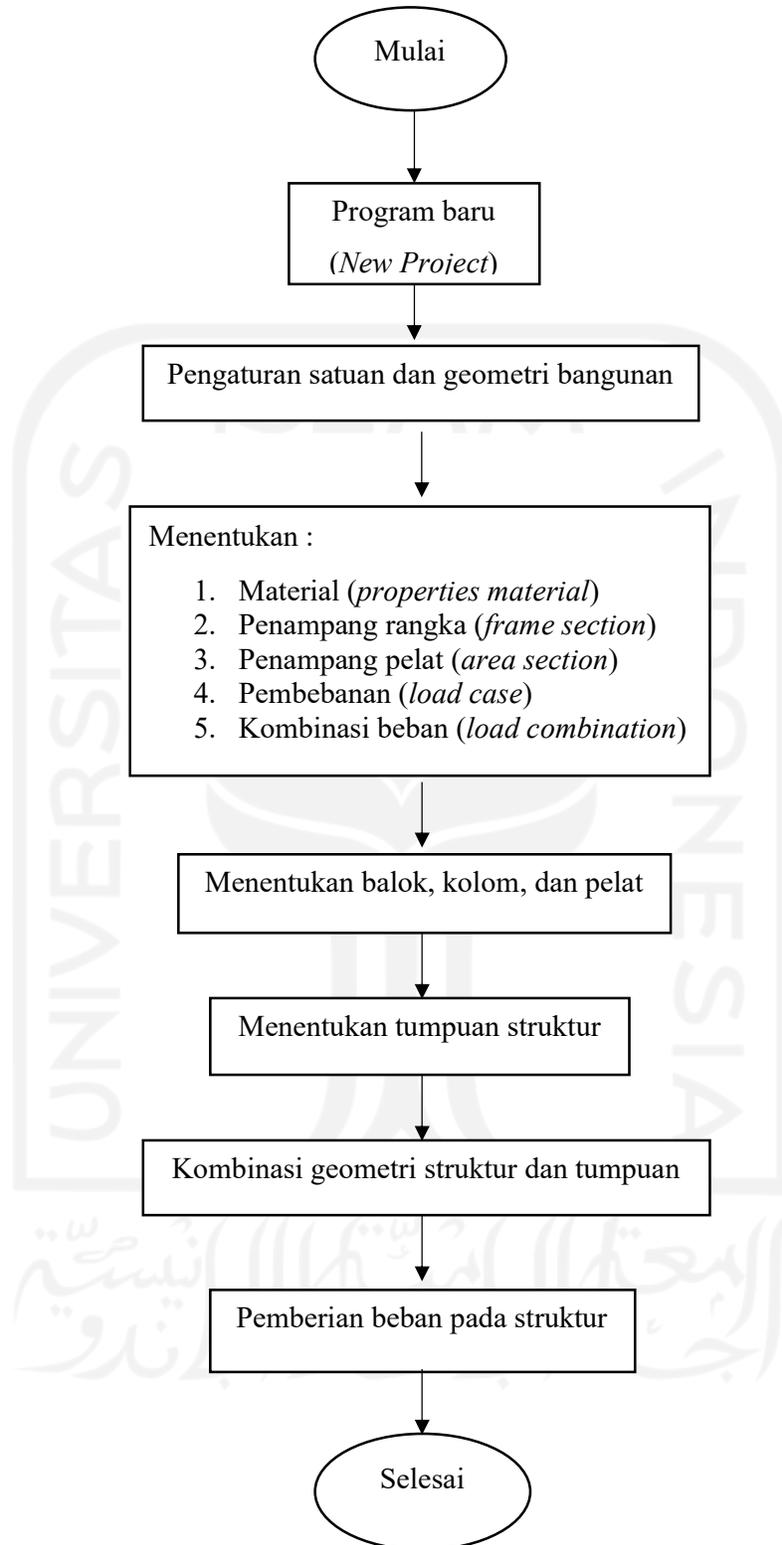
4.5 Analisis Pondasi Tiang Pancang

Hasil yang didapatkan dari program SAP2000 digunakan untuk analisis pondasi tiang pancang yang terdiri atas:

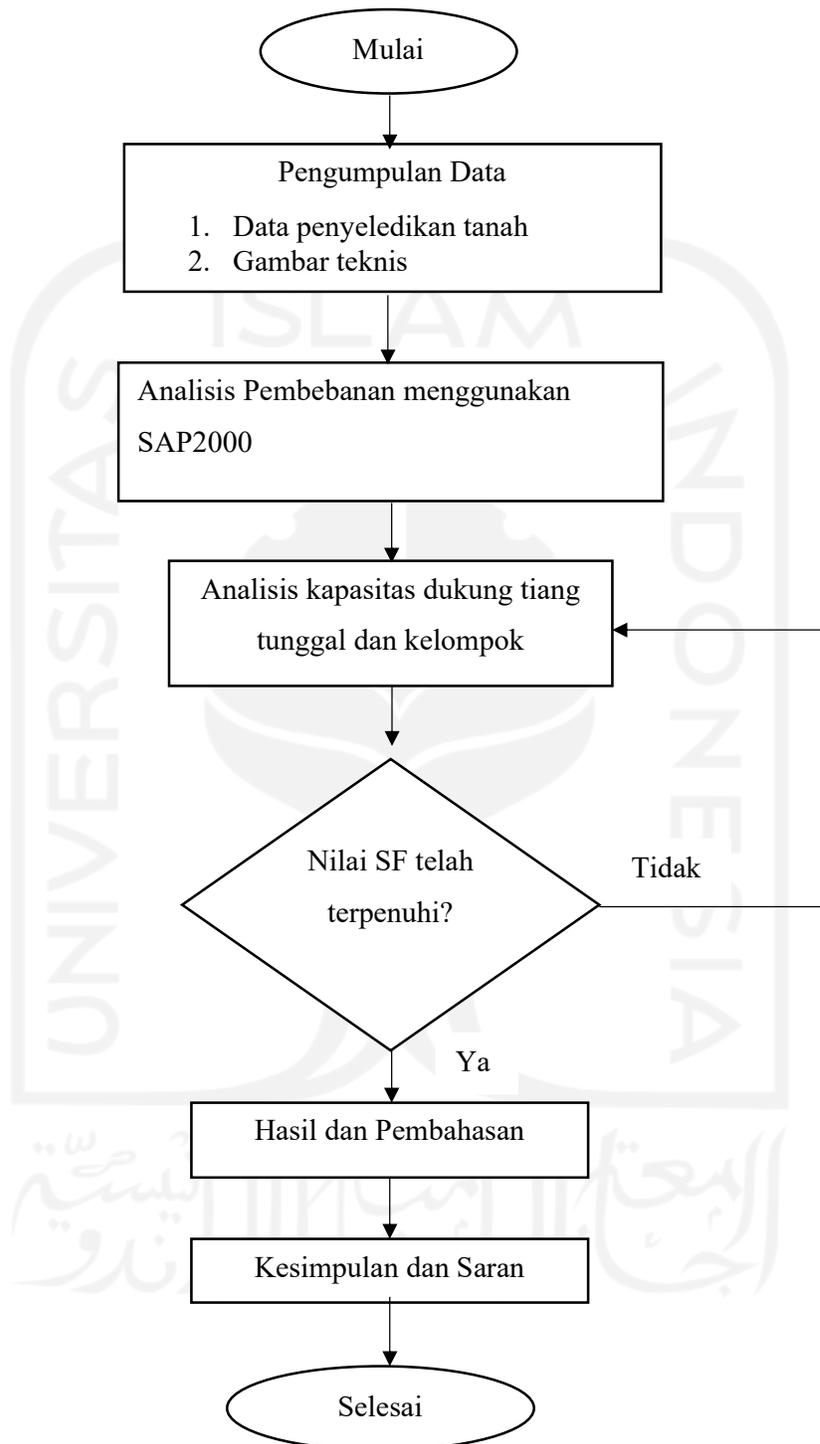
1. Analisis kapasitas dukung tunggal tiang pancang
2. Analisis kapasitas dukung kelompok tiang pancang.

4.6 Bagan Alir

Bagan alir penelitian adalah sebuah diagram yang mewakili sebuah proses atau sistem yang digunakan untuk mendokumentasikan, merencanakan, menyempurnakan, dan menggambarkan suatu alur kerja dengan langkah atau tahapan yang panjang. Bagan alir pembebanan struktur ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan bagan alir penelitian Tugas Akhir dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Bagan Alir Perhitungan SAP 2000



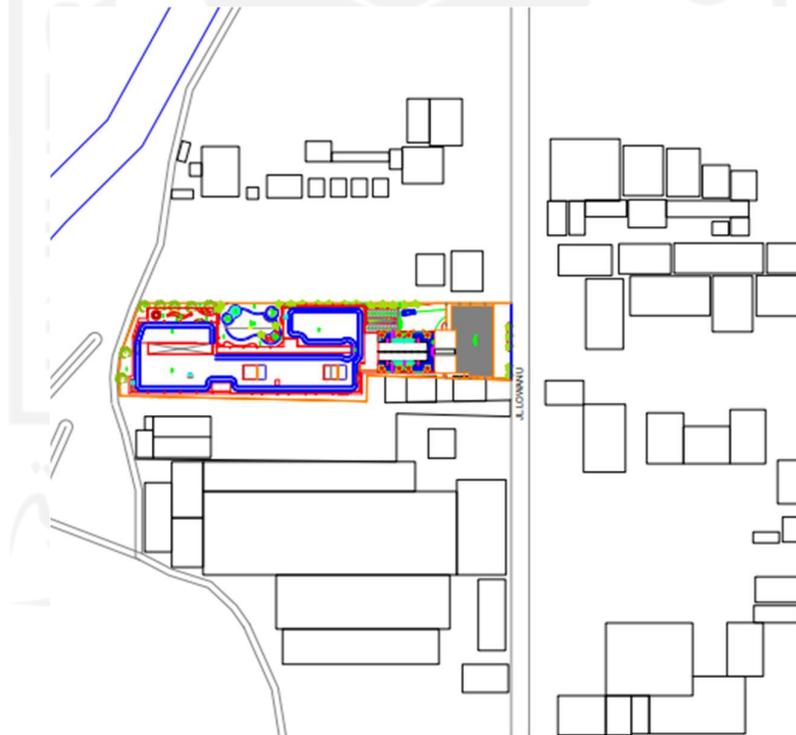
Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS PONDASI TIANG PANCANG

5.1 Data Gedung Jogja Apartel

Gedung Jogja Apartel merupakan gedung apartemen dan hotel yang dibangun untuk memenuhi kebutuhan tempat tinggal. Gedung ini terletak di Jalan Lowanu No.69, Sorosutan, Kecamatan Umbulharjo, Kota Yogyakarta. Untuk denah lokasi gedung Jogja Apartel dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Denah Lokasi Gedung
(Sumber: PT. Multi Construct Indonesia, 2017)

5.1.1 Data Umum Gedung

Data gedung Jogja Apartel adalah sebagai berikut.

1. Nama Gedung : Jogja Apartel
2. Pemilik Gedung : PT Surya Argon Jaya
3. Kontraktor : PT Artabet Jaya Abadi
4. Konsultan Pengawas : PT Multi Construct Indonesia
5. Struktur Bagian Atas : Beton Bertulang
6. Struktur Bagian Bawah : *Bored Pile*

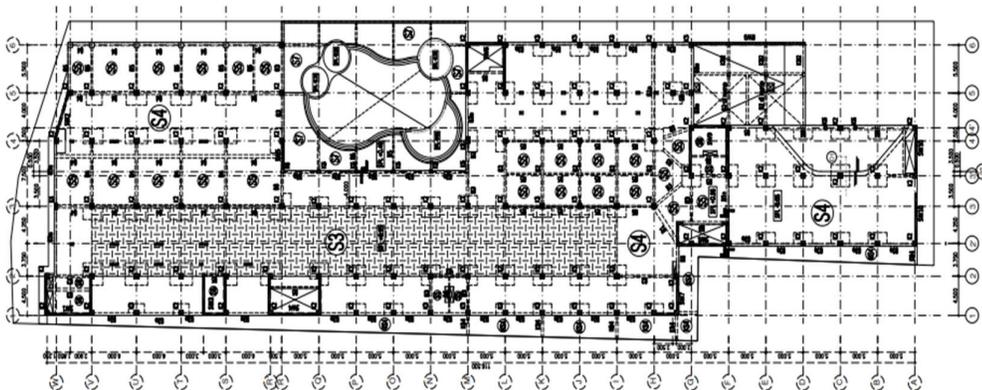
5.1.2 Spesifikasi Material

Material yang digunakan dalam pembangunan gedung Jogja Apartel adalah sebagai berikut.

1. Beton dengan mutu $f'c$ sebesar 24,9 Mpa dan 37,35 Mpa,
2. Baja dengan mutu f_y sebesar 240 Mpa dan 400 Mpa.

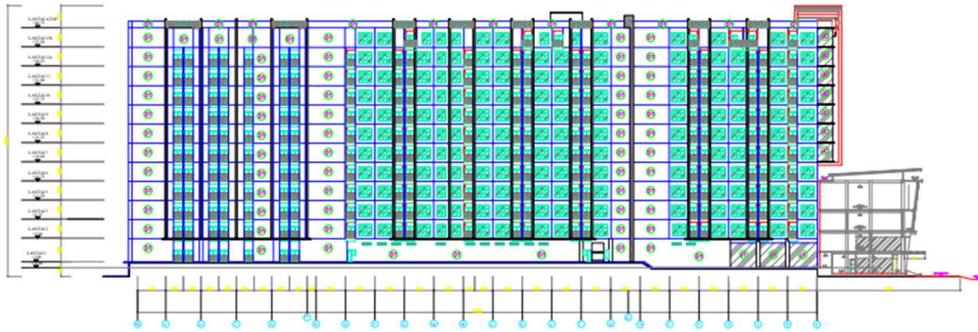
5.1.3 Denah Gedung

Denah gedung Jogja Apartel dapat dilihat pada gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Denah Lantai 1 Gedung Jogja Apartel

(Sumber: PT. Multi Construct Indonesia, 2017)



Gambar 5.2 Gambar Potongan Tampak Selatan

(Sumber: PT. Multi Construct Indonesia, 2017)

5.1.4 Data Struktur

Struktur utama gedung Jogja Apartment terdiri atas struktur atas dan struktur bawah. Struktur atas berupa struktur beton bertulang, sedangkan struktur bawah berupa pondasi *bored pile*. Struktur atas merupakan seluruh bagian struktur yang terletak di atas tanah. Struktur atas pada bangunan yang digunakan dalam penelitian ini yakni balok, kolom, pelat, dan atap.

1. Balok

Balok merupakan komponen struktur yang berfungsi penumpu lantai, pengikat lantai atas, dan mentransfer beban ke kolom. Dalam penelitian ini balok yang digunakan memiliki nilai f'_c sebesar 24,9 Mpa.

2. Kolom

Kolom merupakan komponen struktur yang berfungsi meneruskan beban bangunan ke pondasi. Dalam penelitian ini kolom yang digunakan memiliki nilai f'_c sebesar 37,35 Mpa.

3. Pelat

Pelat merupakan komponen struktur yang berfungsi meneruskan beban ke balok. Dalam penelitian ini pelat yang digunakan memiliki nilai f'_c sebesar 24,9 Mpa.

5.2 Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur dalam penelitian ini adalah beban struktur atas yang meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Analisis pembebanan dilakukan menggunakan program SAP2000.

5.2.1 Peraturan Pembebanan

Peraturan pembebanan yang digunakan dalam perhitungan pembebanan struktur antara lain.

1. SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung,
2. SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung,
3. SKBI 1.3.53.1987 tentang Pedoman Perencanaan Pembedaan untuk Rumah dan Gedung.
4. SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

5.2.2 Kombinasi Pembebanan

Menurut SNI 1726-2019 beban struktur terdiri dari beban hidup, beban mati, dan beban gempa. Kombinasi pembebanan yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L$
3. $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 1,3 R_{sx} + 0,39 R_{sy}$
4. $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 1,3 R_{sx} - 0,39 R_{sy}$
5. $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 1,3 R_{sx} + 0,39 R_{sy}$
6. $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 1,3 R_{sx} - 0,39 R_{sy}$
7. $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 0,39 R_{sx} + 1,3 R_{sy}$
8. $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 0,39 R_{sx} - 1,3 R_{sy}$
9. $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 0,39 R_{sx} + 1,3 R_{sy}$
10. $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 0,39 R_{sx} - 1,3 R_{sy}$

11. $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 1,3 R_{sx} + 0,39 R_{sy}$
12. $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 1,3 R_{sx} - 0,39 R_{sy}$
13. $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - 1,3 R_{sx} + 0,39 R_{sy}$
14. $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - 1,3 R_{sx} - 0,39 R_{sy}$
15. $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 0,39 R_{sx} + 1,3 R_{sy}$
16. $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 0,39 R_{sx} - 1,3 R_{sy}$
17. $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - 0,39 R_{sx} + 1,3 R_{sy}$
18. $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D - 0,39 R_{sx} - 1,3 R_{sy}$
19. $1D + 1L$

keterangan :

D = Beban mati

L = Beban hidup

R_{sx} = Beban gempa dinamik arah x

R_{sy} = Beban gempa dinamik arah y

S_{DS} = Parameter percepatan respon spektrum desain pada periode pendek

5.2.3 Pembebanan

Pembebanan gedung harus memperhitungkan beban mati, beban hidup, dan beban gempa agar bangunan dapat dikatakan aman. Pembebanan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Beban mati

Berdasarkan SNI 1727:2020 beban mati merupakan berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, *klading* gedung, dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peratalan layan terpasang lain.

a. Lantai

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

Tabel 5.1 Analisis Beban Mati pada Lantai

No	Material	Dimensi	Berat Volume	Beban	Ket
		m	kg/m ³	kg/m ²	
1	Pelat	0,25	2400	600	
2	Spesi	0,03	1700	51	
3	Pasir	0,03	1600	48	
4	Keramik			10,42	
5	Plafond			9,27	
6	Mekanikal/Elektrikal			12	
7	Partisi			73,4	
Qd Lantai				804,09	kg/m ²
				0,80409	T/m ²
				8,0409	kN/m ²

b. Atap

Analisis beban mati pada struktur atap dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Analisis Beban Mati pada Atap

No	Material	Dimensi	Berat Volume	Beban	ket
		m	kg/m ³	kg/m ²	
1	Beton bertulang	0,25	2400	600	
2	Spesi	0,03	1700	51	
3	Water proofing			3	
Qd Atap				654	kg/m ²
				0,654	T/m ²
				6,54	kN/m ²

2. Beban hidup

Beban hidup yang digunakan berdasarkan SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Gedung Jogja Apartel termasuk dalam gedung apartemen, maka nilai beban hidup untuk lantai sebesar $2,64 \text{ kN/m}^2$, beban hidup untuk atap sebesar $0,96 \text{ kN/m}^2$, dan beban hidup untuk koridor sebesar $4,79 \text{ kN/m}^2$.

3. Beban gempa

Gedung Jogja Apartel yang digunakan sebagai apartemen terletak di provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang memiliki tipe tanah sedang.

a. Periode Struktur Bangunan (T)

Periode struktur bangunan menentukan besar beban gempa yang akan diterapkan pada perancangan gedung. Berdasarkan SNI 1726:2019 periode struktur bangunan ditentukan sebagai berikut.

1) Periode Pendekatan (T_a)

Periode pendekatan dihitung berdasarkan tipe struktur yang digunakan. Gedung Jogja Apartel termasuk tipe struktur rangka beton pemikul momen dengan tinggi bangunan yaitu $47,75 \text{ m}$. Nilai koefisien pendekatan C_t dan α dapat dilihat pada Tabel 3.9 sehingga persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} T_a &= 0,0466 \times H^{0,9} \\ &= 0,0466 \times 47,75^{0,9} \\ &= 1,5117 \text{ detik.} \end{aligned}$$

2) Periode *Computed* (T_c)

Periode ini didapatkan dari analisis program SAP2000 yaitu sebesar $0,5660 \text{ detik}$.

3) Periode (T)

Periode fundamental didapatkan dengan menggunakan pendekatan koefisien batas atas sesuai pada Tabel 3.10. Nilai batas atas (C_u) yang digunakan sebesar $1,4$. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$T = C_u \times T_a$$

$$= 1,4 \times 1,5117$$

$$= 2,1164 \text{ detik}$$

Dengan persyaratan sebagai berikut:

$$\text{jika } T_c > C_u \times T_a \quad \text{maka } T = C_u \times T_a$$

$$\text{jika } T_a < T_c < C_u \times T_a \quad \text{maka } T = T_c$$

$$\text{jika } T_c < T_a \quad \text{maka } T = T_a$$

karena hasil yang didapatkan $T_c < T_a$, maka $T = T_a$ yang digunakan adalah T_a sebesar 1,5117 detik.

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

Berdasarkan Tabel 3.11 dan Tabel 3.12, maka didapatkan kategori risiko bangunan termasuk dalam kategori II serta faktor keutamaan gempa yaitu 1,0.

c. Nilai Respon Spektrum Gempa

Nilai respon spektrum gempa dapat diketahui dengan mencari parameter percepatan terpetakan. Parameter ini terdiri dari percepatan batuan dasar perioda pendek (S_s) dan percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik (S_1). Berdasarkan Gambar 3.4 dan Gambar 3.5 didapatkan nilai S_s sebesar 1,11 dan nilai S_1 sebesar 0,51. Berdasarkan Tabel 3.7 dan Tabel 3.8 didapatkan nilai F_a sebesar 1,06 dan nilai F_v sebesar 1,80. Untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.3, Tabel 5.4 dan Tabel 5.5, serta grafik respon spektrum pada Gambar 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Respon Spektrum Percepatan Perioda Pendek

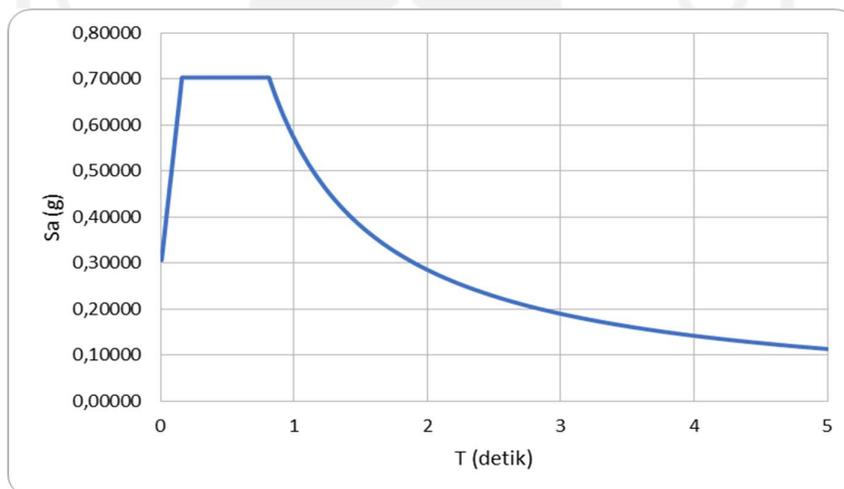
Respon Spektrum Percepatan Perioda Pendek	
S_s	1,11
S_1	0,51
F_a	1,06
F_v	1,80
SMS	1,1703204
SM1	0,912535473

Tabel 5.4 Parameter Percepatan Spektrum Desain

Parameter Percepatan Spektrum Desain	
SDS	0,780
SD1	0,608

Tabel 5.5 Faktor Koreksi Kerentanan

Faktor Koreksi Kerentanan	
CRS	0,9
CR1	0,94
SDsr	0,702
SD1r	0,572

**Gambar 5.3 Grafik Respon Spektrum**

d. Beban Geser Nominal (V)

Berdasarkan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung, beban geser nominal adalah sebagai berikut.

$$V = C_s \times W$$

$$V = 0,0309 \times 328748$$

$$V = 10157 \text{ Kn}$$

e. Cek Gaya Geser Dinamik dan Statik Ekuivalen

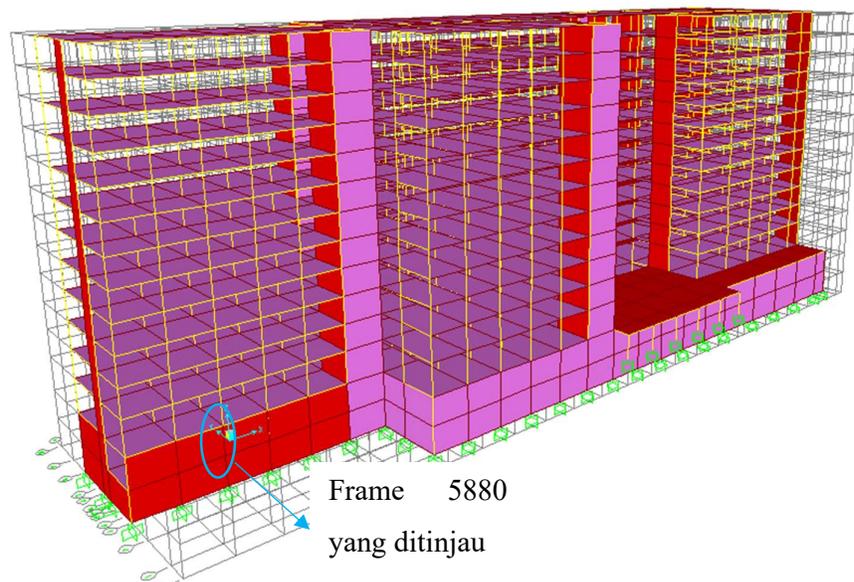
Nilai gaya geser dinamik dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Cek Gaya Geser Dinamik dan Statik Ekuivalen

	Arah X (kN)	Arah Y (kN)
V statik ekuivalen	10157,15	10157,15
V dinamik (Base Shear Reaction SAP2000)	7394,02	7394,41
V dinamik / V static ekuivalen	0,73	0,73
Status	OK	OK

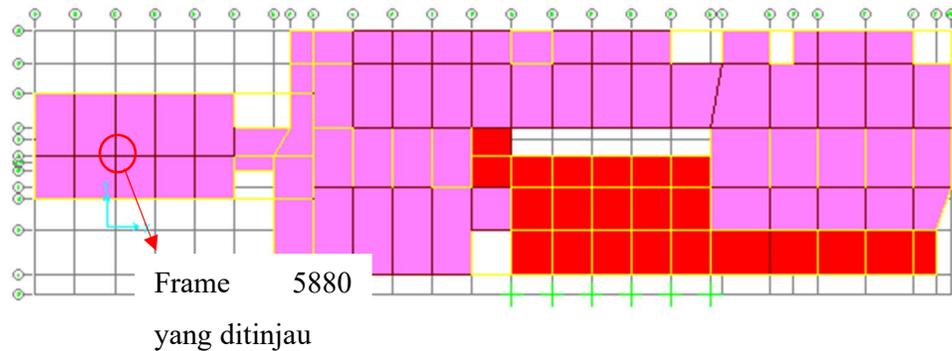
5.3 Analisis Pembebanan Menggunakan Program SAP2000

Pemodelan struktur bangunan gedung Jogja Apartel secara 3 dimensi pada program SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.



Gambar 5.4 Pemodelan 3 Dimensi SAP2000

(Sumber: Program SAP2000)



Gambar 5.5 Tampak Atas Pemodelan SAP2000

(Sumber: SAP2000)

Analisis struktur diatas dilakukan dengan program SAP2000 dengan asumsi perletakan *joint* jepit – jepit, hal ini dilakukan agar tidak terjadinya pergeseran pada struktur. Beban mati untuk pelat lantai *basement* 1-11 adalah sebesar 8,0409 kN/m² dan beban mati pada pelat atap sebesar 6,54 kN/m².

Beban gempa pada bangunan dihitung berdasarkan ketinggian dari masing - masing lantai. Beban tersebut dimasukkan pada setiap portal di masing - masing lantai. Input beban gempa dilakukan secara dua arah, yaitu arah horizontal (sumbu x) dan arah vertikal (sumbu y). Tinggi lantai mempengaruhi besarnya beban gempa. Semakin tinggi lantai maka beban gempa pada setiap portalnya baik arah horizontal maupun vertikal akan semakin besar.

Hasil *output* dari program SAP2000 diperoleh beban dengan nilai terbesar terjadi pada *frame* 5880 yakni.

Beban aksial (P) = - 1879,66 Ton

Gaya geser (V) = 4,6778 Ton

Momen arah x (Mx) = 5,6992 Tm

Momen arah y (My) = 10,3624 Tm

5.4 Data Karakteristik Tanah

Penyelidikan tanah dilakukan dengan melakukan pengujian *Standard Penetration Test* (SPT). Pengujian tersebut dilakukan pada titik BH2B. Hasil pengujian pada titik BH2B dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

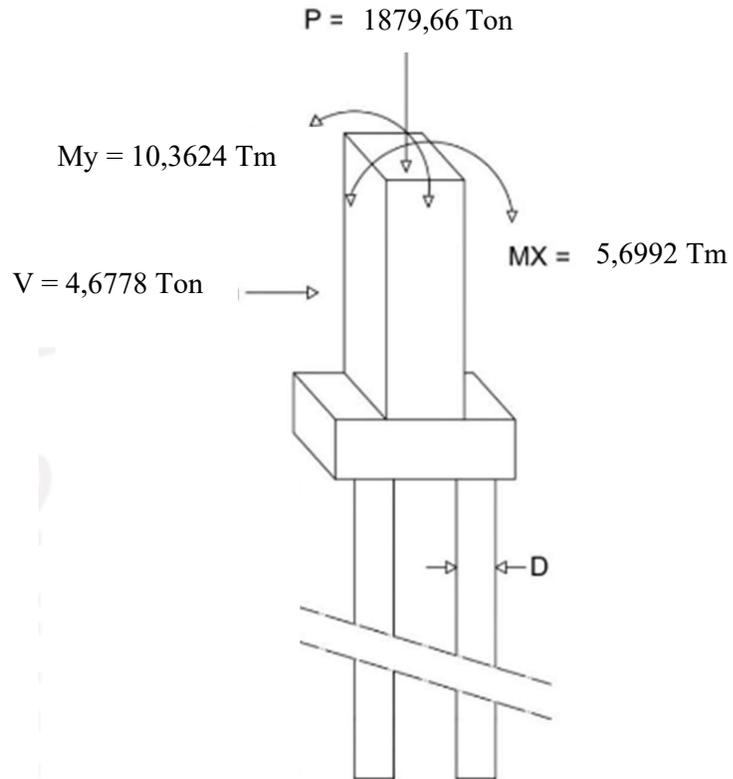
Tabel 5.7 Kedalaman dan Jenis Tanah pada Titik BH2B

Kedalaman (m)	N2B	Jenis Tanah
2	12	Pasir Kasar
4	16	Pasir Kasar
8	19	Pasir Kasar
10	24	Pasir Kasar
12	41	Pasir Kasar
14	14	Pasir Sedang
16	49	Pasir Sedang
18	49	Pasir Berlanau
20	51	Pasir Sedang
24	57	Pasir Kasar
26	59	Pasir Kasar
28	58	Pasir Kasar
30	58	Pasir Sedang
34	20	Lanau Berpasir Sedikit Lempung
36	60	Lanau Berpasir Sedikit Lempung
38	60	Pasir
40	60	Pasir

(Sumber : PT Artabet Jaya Abadi)

5.5 Desain Pondasi Tiang Pancang

Dalam analisis pondasi tiang pancang pada penelitian ini digunakan beban aksial (P) sebesar - 1879,66 Ton, momen arah x (M_x) sebesar 5,6992 Tm, dan momen arah y (M_y) sebesar 10,3624 Tm. Beban tersebut berada pada *frame* 5880. Sketsa desain pondasi tiang dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



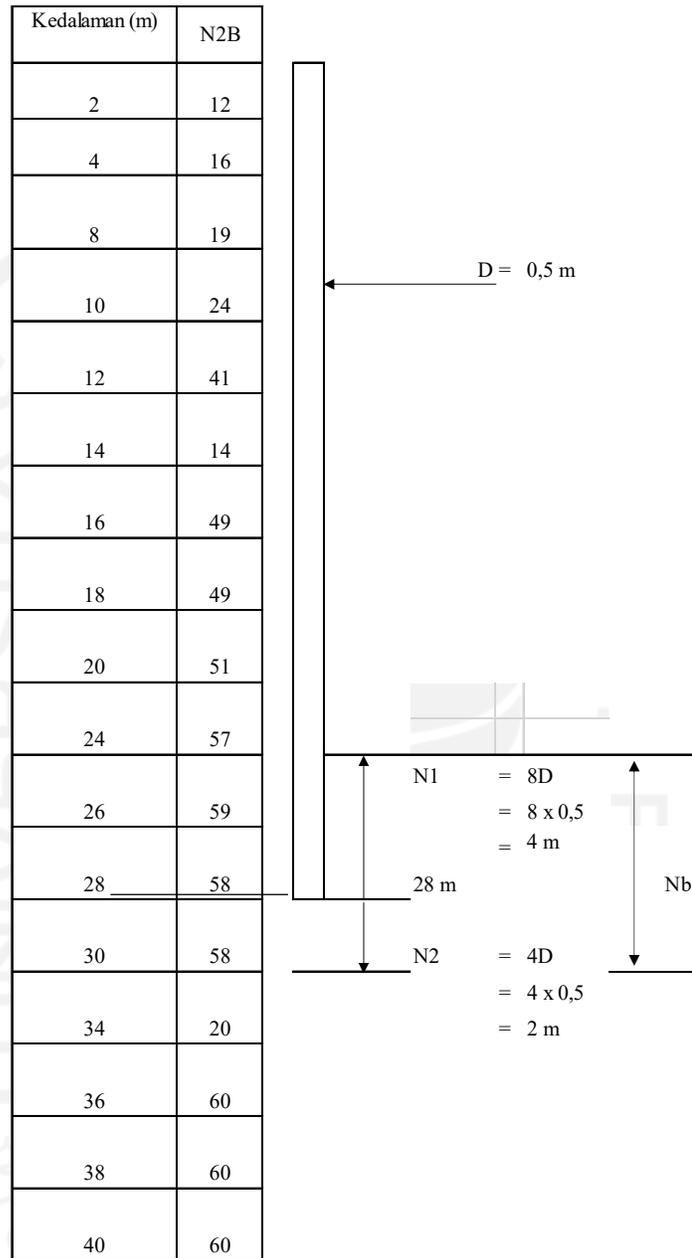
Gambar 5.6 Sketsa Desain Tiang Pancang

5.5.1 Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang

Perhitungan kapasitas dukung pondasi tiang pancang memerlukan N-SPT rata-rata. Nilai N-SPT yang dihitung sampai kedalaman 26 m. Perhitungan nilai N-SPT rata-rata adalah sebagai berikut.

1. Kapasitas Dukung Ujung Tiang Pancang

Letak N_1 dan N_2 pada pondasi tiang pancang dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.7 Letak N1 dan N2 pada Tiang Pancang

$$\begin{aligned}
 Nb &= \frac{(2 \times 57) + (2 \times 59) + (2 \times 58) + (2 \times 58)}{2 + 2 + 2 + 2} \\
 &= \frac{350}{8}
 \end{aligned}$$

$$= 58,3333$$

$$\begin{aligned} A_p &= 0,25 \times \pi \times D^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times 0,5^2 \\ &= 0,196 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_p &= 40N_b \times A_p \times \frac{L_b}{D} \leq A_p \times 400N_b \\ &= (40 \times 58,3333) \times 0,196 \times \frac{26}{0,5} \leq 0,196 \times (400 \times 58,3333) \\ &= 256563,4 \leq 4581,489286 \\ &= 4581,489286 \text{ kN} \\ &= 467,3119072 \text{ Ton} \end{aligned}$$

2. Kapasitas Dukung Selimut Tiang

$$\begin{aligned} p &= \pi \times D \\ &= \pi \times 0,5 \\ &= 1,571 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_s &= p \times L \times f_{av} \\ &= 1,571 \times 26 \times 2 \times NSPT_{rata-rata} \\ &= 1,571 \times 26 \times 2 \times 32,07142857 \\ &= 2821,150203 \text{ kN} \\ &= 287,7573207 \text{ Ton} \end{aligned}$$

3. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang

$$\begin{aligned} W_p &= A_p \times L \times \text{Berat Jenis Beton Bertulang} \\ &= 0,196 \times 28 \times 2,4 \\ &= 13,19468915 \text{ Ton} \\ Q_u &= Q_p + Q_s - W_p \\ &= 467,3119072 + 287,7573207 - 13,19468915 \\ &= 741,8745388 \text{ Ton} \end{aligned}$$

4. Kapasitas Dukung Ijin Tiang

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

$$= \frac{741,8745388}{2,5}$$

$$= 296,7498155 \text{ Ton}$$

5. Jumlah Tiang Pancang

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

$$= \frac{1879,66}{296,7498155}$$

$$= 6,334157266 \approx 7 \text{ tiang}$$

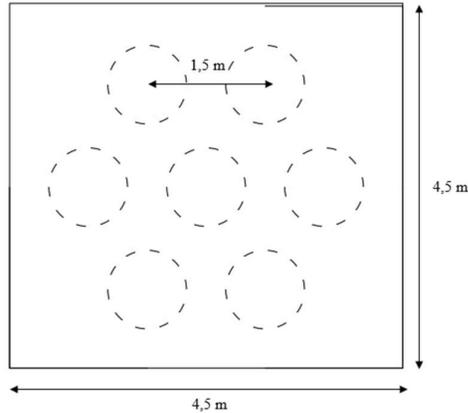
6. Jarak Antar Tiang

$$S = 3 \times D$$

$$= 3 \times 0,5$$

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

Susunan tiang pancang dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.8 Susunan Tiang Pancang Dengan Jumlah 7 Tiang

7. Efisiensi Kelompok Tiang (E_g)

Karena jarak antar tiang (S) yang digunakan lebih besar sama dengan 3 diameter ($S \geq 3D$), maka nilai $E_g = 1$.

8. Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

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

$$= 7 \times 296,7498155$$

$$= 2077,248709 \text{ Ton}$$

$$P = 1879,66 \text{ Ton}$$

Karena nilai $Q_g > P$, maka pondasi tiang pancang berdiameter 0,5 m dengan jumlah 7 tiang dalam kelompok aman digunakan.

5.5.2 Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Bor Keadaan *Existing*

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada titik di lokasi gedung Jogja Apartel didapatkan hasil berupa data lapisan tanah dan nilai NSPT. Analisis daya dukung tanah untuk pondasi tiang bor dihitung berdasarkan nilai NSPT dengan diameter tiang 0,8 m dan kedalaman tiang 28 m. Perhitungan kapasitas dukung tiang bor kondisi *existing* adalah sebagai berikut.

$$NSPT_{\text{Rata-rata}} = \frac{\sum(h \times NSPT)}{\sum h}$$

$$NSPT_{\text{Rata-rata}} = \frac{(2 \times 12) + (2 \times 16) + (2 \times 19) + (2 \times 24) + (2 \times 41) + (2 \times 14)}{28}$$

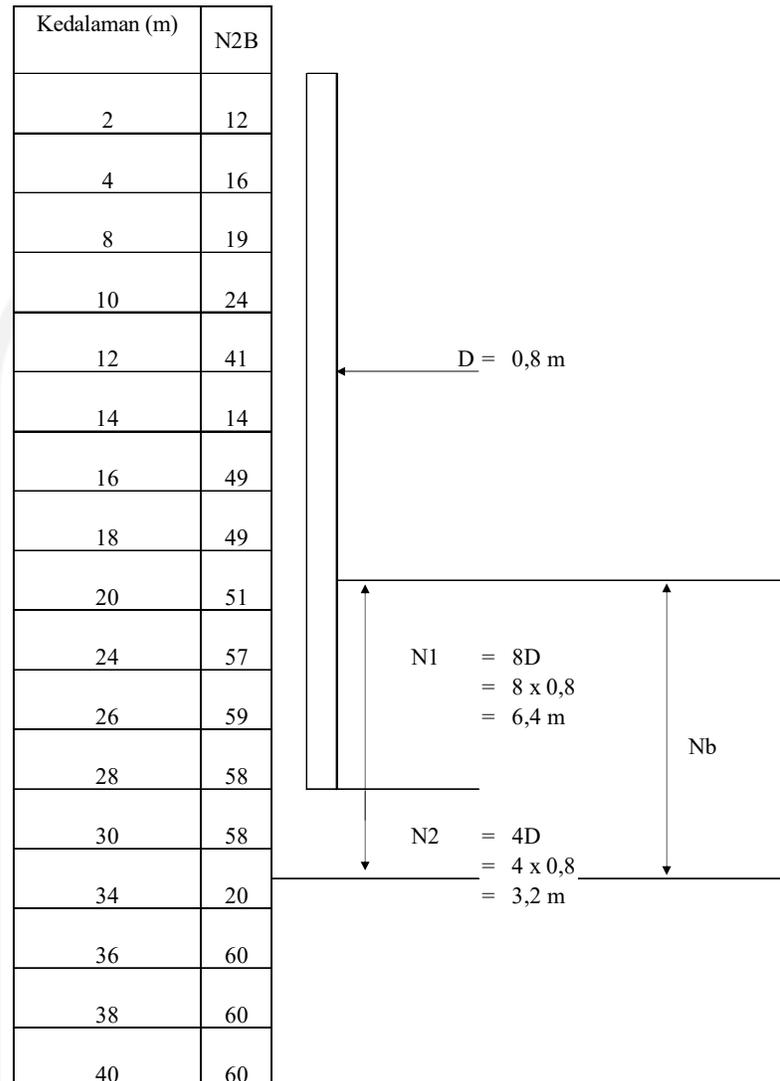
$$NSPT_{\text{Rata-rata}} = \frac{(2 \times 49) + (2 \times 49) \times (2 \times 51) + (2 \times 57) + (2 \times 59) + (2 \times 58)}{28}$$

$$NSPT_{\text{Rata-rata}} = \frac{898}{28}$$

$$NSPT_{\text{Rata-rata}} = 32,07142857$$

1. Kapasitas Dukung Ujung Tiang Bor *Existing*

Letak N1 dan N2 pada pondasi tiang pancang dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.9 Letak N1 dan N2 pada Tiang Bor

$$\begin{aligned}
 N' &= \frac{\sum(h \times \text{NSPT})}{\sum h} \\
 &= \frac{(0,4 \times 51) + (2 \times 57) + (2 \times 59) + (2 \times 58) + (2 \times 58) + (1,2 \times 20)}{9,6} \\
 &= 52,9583
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_p &= 40 \times N' \times \frac{L}{D} \times A_p \\
 &= 40 \times 52,9583 \times \frac{28}{0,8} \times 0,25 \times \pi \times D^2 \\
 &= 37267,66645 \text{ kN} \\
 &= 3801,301978 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

2. Kapasitas Dukung Selimut Tiang Bor

$$\begin{aligned}
 Q_s &= 2 \times N_{\text{rata-rata}} \times p \times L \\
 &= 2 \times 32,0714 \times \pi \times 0,8 \times 28 \\
 &= 4513,840325 \text{ kN} \\
 &= 460,4117131 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

3. Kapasitas Dukung Ultimit Tiang Bor

$$\begin{aligned}
 W_p &= A_p \times L \times \text{Berat Jenis Beton} \\
 &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times 28 \times 2,4 \\
 &= 0,502654825 \times 28 \times 2,4 \\
 &= 33,7784 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_u &= Q_p + Q_s - W_p \\
 &= 3801,301978 + 460,4117131 - 33,7784 \\
 &= 4227,9353 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

4. Kapasitas Dukung Ijin Tiang

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{all}} &= \frac{Q_u}{SF} \\
 &= \frac{4227,9353}{2,5} \\
 &= 1691,1741 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

5. Jumlah Tiang

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{P}{Q_{\text{all}}} \\
 &= \frac{1879,66}{1691,1741} \\
 &= 1,111453 \\
 &= 2
 \end{aligned}$$

6. Jarak Antar Tiang

$$\begin{aligned}
 S &= 3 \times D \\
 &= 3 \times 0,8 \\
 &= 2,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

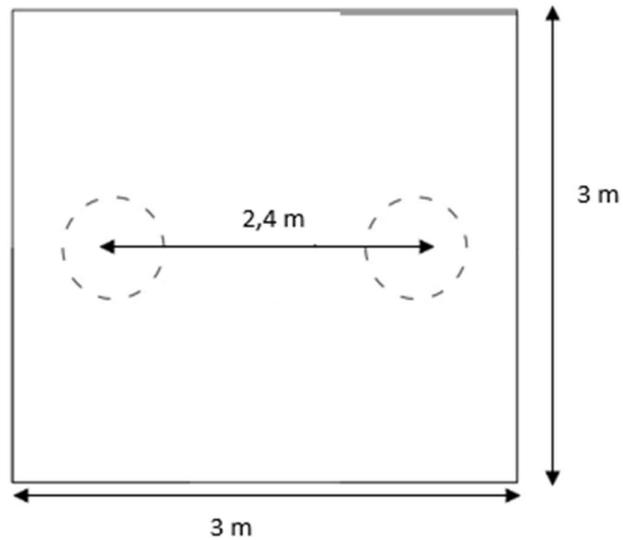
7. Efisiensi Kelompok Tiang

Pada kondisi tanah pasir, efisiensi kelompok tiang bor terbagi menjadi $E_g = 0,67$ untuk kapasitas dukung selimut dan $E_g = 1$ untuk kapasitas dukung ujung.

8. Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

$$\begin{aligned}
 Q_p &= E_{g\text{selimut}} \times Q_p \\
 &= 1 \times 3801,301978 \\
 &= 3801,30198 \text{ Ton} \\
 Q_s &= E_{g\text{ujung}} \times Q_s \\
 &= 0,67 \times 460,4117131 \\
 &= 308,4759 \text{ Ton} \\
 Q_u &= Q_p + Q_s - W_p \\
 &= 3801,30198 + 308,47589 - 33,7784 \\
 &= 4075,9994 \text{ Ton} \\
 Q_{all} &= \frac{Q_u}{SF} \\
 &= \frac{4075,9994}{2,5} \\
 &= 1630,3998 \text{ Ton} \\
 Q_g &= n \times Q_{all} \\
 &= 2 \times 1630,3998 \\
 &= 3260,7996 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

Karena nilai $Q_g > P$, maka pondasi tiang pancang berdiameter 0,8 m aman digunakan. Untuk konfigurasi pondasi kelompok *bored pile* kondisi eksisting dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5.10 Konfigurasi Pondasi *Bored Pile* Kondisi Existing

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil analisis struktur yang telah dilakukan, didapatkan beban aksial pada kolom (P) sebesar - 1879,66 Ton, gaya geser (H) sebesar 4,6778 Ton, momen arah x (Mx) sebesar 5,6992 Tm, momen arah y (My) sebesar 10,3624 Tm.
2. Kapasitas dukung yang didapatkan dalam analisis kapasitas dukung tiang pancang sebesar $Q_g = 1967,772208$ Ton dengan 7 tiang dalam kelompok.
3. Kapasitas dukung bored pile yang didapatkan berdasarkan analisis sebesar $Q_g = 3260,7996$ Ton dengan 2 tiang dalam kelompok.
4. Perbandingan nilai kapasitas dukung tiang pancang $Q_g = 1967,772208$ Ton dan nilai kapasitas dukung pondasi *bored pile* $Q_g = 3260,7996$ Ton. Kapasitas dukung *bored pile* dapat menahan beban 65,71% lebih besar dibandingkan dengan pondasi tiang pancang.

6.2 Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan demi membantu penelitian yang akan datang adalah sebagai berikut.

1. Menambahkan variasi diameter tiang serta kedalaman tiang,
2. Menghitung penurunan pondasi yang terjadi.
3. Penelitian dapat dilanjutkan hingga rencana anggaran biaya untuk membandingkan antara pondasi tiang pancang dengan pondasi *bored pile*.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Indonesia. (2019). *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*.
- Bowles, J. (1997). *Foundation and Analysis Design* (Fifth ed.). Washington D.C.
- Dirgananta, M. (2018). Perencanaan Ulang Pondasi Tiang Dengan Variasi Diameter Menggunakan Metode Mayerhoff, Aoki & De Alencar, dan Luciano Decourt. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia
- Erni. (2009). *Perancangan Pondasi Tiang Pancang Dalam Berbagai Bentuk pada Gedung Rumah Sakit Mitra Keluarga Depok*.
- Hardiyatmo, H. (2001). *Prinsip-prinsip Mekanika Tanah dan Soal Penyelesaian I*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Hardiyatmo, H. (2002). *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. (2010). *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Muthmainnah, M. (2021). *Analisis Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Dengan Variasi Dimensi. Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia.
- Priarianto, E., & Widodo, S. (2002). *Analisis Pengaruh Diameter, Panjang, dan Formasi Tiang Terhadap Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang*.
- Ridho, R. (2010). *Uji Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang Kelompok Ujung Tertutup Pada Tanah Pasir Berlempung Dengan Variasi Jumlah Tiang*.
- Suryolelono, K.B. (2004) *Perancangan Fondasi*. Yogyakarta

Terzaghi, K, R.B Peck, dan Mesri. 1996. *Soil Mechanics in Engineering Practice*.
New York : John Wiley

Mayerhof, G.G. 1965. *Shallow Foundation Journal of The Soil Mechanics and
Foundations Division*. ASCE. Vol 91. No.SM2. pp 21-31

Mayangsari. (2018). Analisis Perbandingan Pondasi Tiang Pancang dengan
Pondasi Tiang Bor pada Proyek Pembangunan Rumah Sakit Gigi dan Mulut
Universitas Brawijaya. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia





Lampiran 1 Jadwal Penyusunan Tugas Akhir

Bulan			1				2			
Minggu Ke			1	2	3	4	1	2	3	4
Kegiatan	Jam Kerja	%								
Persiapan										
Pengambilan Data	2	3%	2,0							
Instal program	4	6%	4,0							
Analisis Data dan Pembahasan										
Analisis Pembebanan SAP2000	8	13%		4,0	4,0					
Analisis Kapasitas Dukung Pondasi	10	16%				10,0				
Pembahasan kedua analisis	4	6%					4,0			
Penyusunan Laporan										
Laporan Tugas Akhir	24	39%					12,0	12,0		
Konsultasi Dosen Pembimbing	10	16%			2,5	2,5	2,5	2,5		
	62	100%	6,0	4,0	6,5	12,5	18,5	14,5		
			6,0	10,0	16,5	29,0	47,5	62,0		

Tabel 2.1 Hasil Output Program SAP2000

TABLE: Element Forces - Frames						
Frame	CaseType	P	V2	V3	M2	M3
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m
5880	LinModal	-18433	5,911	-7,642	8,5708	-6,6999
5880	LinModal	-18433	5,911	-7,642	-4,8021	3,6436
5880	LinModal	-18433	5,911	-7,642	-18,175	13,9871
5880	Combination	-5840,9	-1,87	17,678	-13,678	-2,94
5880	Combination	-5840,9	-1,87	17,678	-13,678	-2,94
5880	Combination	-5840,9	-1,87	17,678	-13,678	-2,94
5880	Combination	-5840,9	-1,87	17,678	-13,678	-2,94
5880	Combination	-5817,2	-1,87	17,678	-11,109	-1,1526
5880	Combination	-5817,2	-1,87	17,678	-11,109	-1,1526
5880	Combination	-5817,2	-1,87	17,678	-11,109	-1,1526
5880	Combination	-5817,2	-1,87	17,678	-11,109	-1,1526
5880	Combination	-5793,6	-1,87	17,678	-42,046	-4,4246
5880	Combination	-5793,6	-1,87	17,678	-42,046	-4,4246
5880	Combination	-5793,6	-1,87	17,678	-42,046	-4,4246
5880	Combination	-5793,6	-1,87	17,678	-42,046	-4,4246
5880	Combination	-5690,4	-0,484	15,965	-11,757	-1,3694
5880	Combination	-5690,4	-0,484	15,965	-11,757	-1,3694
5880	Combination	-5690,4	-0,484	15,965	-11,757	-1,3694
5880	Combination	-5690,4	-0,484	15,965	-11,757	-1,3694

Lanjutan Tabel 2.1 Hasil *Output* Program SAP2000

5880	Combination	-5666,7	-0,484	15,965	-10,033	-0,2985
5880	Combination	-5666,7	-0,484	15,965	-10,033	-0,2985
5880	Combination	-5666,7	-0,484	15,965	-10,033	-0,2985
5880	Combination	-5666,7	-0,484	15,965	-10,033	-0,2985
5880	Combination	-5643,1	-0,484	15,965	-37,972	-1,1459
5880	Combination	-5643,1	-0,484	15,965	-37,972	-1,1459
5880	Combination	-5643,1	-0,484	15,965	-37,972	-1,1459
5880	Combination	-5643,1	-0,484	15,965	-37,972	-1,1459
5880	Combination	-5529,5	0,38	-2,843	3,1887	-0,4311
5880	Combination	-5508,3	0,38	-2,843	-1,7866	0,2344
5880	Combination	-5487,1	0,38	-2,843	-6,762	0,9
5880	Combination	-5015,3	1,208	10,482	17,9066	0,5489
5880	Combination	-5015,3	1,208	10,482	17,9066	0,5489
5880	Combination	-5015,3	1,208	10,482	17,9066	0,5489
5880	Combination	-5015,3	1,208	10,482	17,9066	0,5489
5880	Combination	-4991,7	1,208	10,482	6,5873	0,7447
5880	Combination	-4991,7	1,208	10,482	6,5873	0,7447
5880	Combination	-4991,7	1,208	10,482	6,5873	0,7447
5880	Combination	-4991,7	1,208	10,482	6,5873	0,7447
5880	Combination	-4968,1	1,208	10,482	24,9315	2,8589
5880	Combination	-4968,1	1,208	10,482	24,9315	2,8589
5880	Combination	-4968,1	1,208	10,482	24,9315	2,8589
5880	Combination	-4968,1	1,208	10,482	24,9315	2,8589
5880	Combination	-4864,8	2,594	12,195	19,8277	2,1194
5880	Combination	-4864,8	2,594	12,195	19,8277	2,1194
5880	Combination	-4864,8	2,594	12,195	19,8277	2,1194
5880	Combination	-4864,8	2,594	12,195	19,8277	2,1194
5880	Combination	-4841,2	2,594	12,195	7,6637	1,5988
5880	Combination	-4841,2	2,594	12,195	7,6637	1,5988

Lanjutan Tabel 2.1 Hasil *Output* Program SAP2000

5880	Combination	-4841,2	2,594	12,195	7,6637	1,5988
5880	Combination	-4841,2	2,594	12,195	7,6637	1,5988
5880	Combination	-4817,5	2,594	12,195	29,0054	6,1377
5880	Combination	-4817,5	2,594	12,195	29,0054	6,1377
5880	Combination	-4817,5	2,594	12,195	29,0054	6,1377
5880	Combination	-4817,5	2,594	12,195	29,0054	6,1377
5880	Combination	-4501,2	0,295	-2,289	2,5672	-0,3342
5880	Combination	-4476,5	0,295	-2,289	-1,4384	0,1817
5880	Combination	-4451,8	0,295	-2,289	-5,4439	0,6977
5880	Combination	-4259,7	0,29	-2,186	2,4514	-0,3291
5880	Combination	-4242,1	0,29	-2,186	-1,3735	0,179
5880	Combination	-4224,4	0,29	-2,186	-5,1984	0,6871
5880	LinStatic	-3215,1	0,211	-1,635	1,8337	-0,2387
5880	LinStatic	-3197,5	0,211	-1,635	-1,0274	0,1298
5880	LinStatic	-3179,9	0,211	-1,635	-3,8885	0,4983
5880	Combination	-2931,5	-2,072	16,179	-15,359	-2,7111
5880	Combination	-2931,5	-2,072	16,179	-15,359	-2,7111
5880	Combination	-2931,5	-2,072	16,179	-15,359	-2,7111
5880	Combination	-2931,5	-2,072	16,179	-15,359	-2,7111
5880	Combination	-2918,1	-2,072	16,179	-10,167	-1,2771
5880	Combination	-2918,1	-2,072	16,179	-10,167	-1,2771
5880	Combination	-2918,1	-2,072	16,179	-10,167	-1,2771
5880	Combination	-2918,1	-2,072	16,179	-10,167	-1,2771
5880	Combination	-2904,7	-2,072	16,179	-38,481	-4,9024
5880	Combination	-2904,7	-2,072	16,179	-38,481	-4,9024
5880	Combination	-2904,7	-2,072	16,179	-38,481	-4,9024

Lanjutan Tabel 2.1 Hasil *Output* Program SAP2000

5880	Combination	-2904,7	-2,072	16,179	-38,481	-4,9024
5880	Combination	-2781	-0,686	14,466	-13,438	-1,1406
5880	Combination	-2781	-0,686	14,466	-13,438	-1,1406
5880	Combination	-2781	-0,686	14,466	-13,438	-1,1406
5880	Combination	-2781	-0,686	14,466	-13,438	-1,1406
5880	Combination	-2767,6	-0,686	14,466	-9,0909	-0,423
5880	Combination	-2767,6	-0,686	14,466	-9,0909	-0,423
5880	Combination	-2767,6	-0,686	14,466	-9,0909	-0,423
5880	Combination	-2767,6	-0,686	14,466	-9,0909	-0,423
5880	Combination	-2754,2	-0,686	14,466	-34,407	-1,6236
5880	Combination	-2754,2	-0,686	14,466	-34,407	-1,6236
5880	Combination	-2754,2	-0,686	14,466	-34,407	-1,6236
5880	Combination	-2754,2	-0,686	14,466	-34,407	-1,6236
5880	Combination	-2106	1,006	11,981	16,2254	0,7777
5880	Combination	-2106	1,006	11,981	16,2254	0,7777
5880	Combination	-2106	1,006	11,981	16,2254	0,7777
5880	Combination	-2106	1,006	11,981	16,2254	0,7777
5880	Combination	-2092,6	1,006	11,981	7,5293	0,6203
5880	Combination	-2092,6	1,006	11,981	7,5293	0,6203
5880	Combination	-2092,6	1,006	11,981	7,5293	0,6203
5880	Combination	-2092,6	1,006	11,981	7,5293	0,6203
5880	Combination	-2079,2	1,006	11,981	28,4967	2,3811
5880	Combination	-2079,2	1,006	11,981	28,4967	2,3811
5880	Combination	-2079,2	1,006	11,981	28,4967	2,3811
5880	Combination	-2079,2	1,006	11,981	28,4967	2,3811
5880	Combination	-1955,5	2,392	13,694	18,1465	2,3483

Lanjutan Tabel 2.1 Hasil *Output* Program SAP2000

5880	Combination	-1955,5	2,392	13,694	18,1465	2,3483
5880	Combination	-1955,5	2,392	13,694	18,1465	2,3483
5880	Combination	-1955,5	2,392	13,694	18,1465	2,3483
5880	Combination	-1942,1	2,392	13,694	8,6056	1,4744
5880	Combination	-1942,1	2,392	13,694	8,6056	1,4744
5880	Combination	-1942,1	2,392	13,694	8,6056	1,4744
5880	Combination	-1942,1	2,392	13,694	8,6056	1,4744
5880	Combination	-1928,7	2,392	13,694	32,5706	5,6599
5880	Combination	-1928,7	2,392	13,694	32,5706	5,6599
5880	Combination	-1928,7	2,392	13,694	32,5706	5,6599
5880	Combination	-1928,7	2,392	13,694	32,5706	5,6599
5880	LinStatic	-1044,6	0,08	-0,551	0,6177	-0,0904
5880	LinStatic	-1044,6	0,08	-0,551	-0,3461	0,0492
5880	LinStatic	-1044,6	0,08	-0,551	-1,3099	0,1887
5880	LinModal	-918,58	0,379	-4,531	5,0822	-0,4295
5880	LinModal	-918,58	0,379	-4,531	-2,8475	0,2336
5880	LinModal	-918,58	0,379	-4,531	-10,777	0,8966
5880	LinModal	-570,95	0,317	-1,346	1,51	-0,3589
5880	LinModal	-570,95	0,317	-1,346	-0,8461	0,1952
5880	LinModal	-570,95	0,317	-1,346	-3,2022	0,7494
5880	LinModal	-86,06	0,029	-0,066	0,0745	-0,0333
5880	LinModal	-86,06	0,029	-0,066	-0,0417	0,0181
5880	LinModal	-86,06	0,029	-0,066	-0,1579	0,0695
5880	LinModal	-11,935	0,031	0,126	0,2991	0,074
5880	LinModal	-11,935	0,031	0,126	0,079	0,0193
5880	LinModal	-11,935	0,031	0,126	-0,1411	-0,0355
5880	LinStatic	-6,64	-0,03	-0,099	0,1106	0,0339
5880	LinStatic	-6,64	-0,03	-0,099	-0,0619	-0,0184
5880	LinStatic	-6,64	-0,03	-0,099	-0,2345	-0,0707
5880	LinModal	-1,179	0,00793	-0,024	0,0266	-0,009
5880	LinModal	-1,179	0,00793	-0,024	-0,0149	0,0049
5880	LinModal	-1,179	0,00793	-0,024	-0,0565	0,0188
5880	LinModal	-0,405	0,016	0,021	0,0506	0,0379
5880	LinModal	-0,405	0,016	0,021	0,0134	0,0099
5880	LinModal	-0,405	0,016	0,021	-0,0239	-0,0181

Lanjutan Tabel 2.1 Hasil *Output* Program SAP2000

5880	LinModal	1,103	-0,0073	-0,018	0,0204	0,0082
5880	LinModal	1,103	-0,0073	-0,018	-0,0114	-0,0045
5880	LinModal	1,103	-0,0073	-0,018	-0,0432	-0,0172
5880	LinModal	23,075	-0,132	0,339	0,8073	-0,3122
5880	LinModal	23,075	-0,132	0,339	0,2133	-0,0813
5880	LinModal	23,075	-0,132	0,339	-0,3807	0,1495
5880	LinRespSpec	23,09	0,118	0,655	1,5575	0,2794
5880	LinRespSpec	23,09	0,118	0,655	0,7345	0,1338
5880	LinRespSpec	23,09	0,118	0,655	0,4115	0,0728
5880	LinStatic	46,231	-0,018	-0,964	1,0816	0,0205
5880	LinStatic	46,231	-0,018	-0,964	-0,606	-0,0111
5880	LinStatic	46,231	-0,018	-0,964	-2,2935	-0,0428
5880	LinModal	62,275	-0,13	-2,305	2,5855	0,1469
5880	LinModal	62,275	-0,13	-2,305	-1,4486	-0,0799
5880	LinModal	62,275	-0,13	-2,305	-5,4827	-0,3066
5880	LinModal	74,199	0,102	-2,308	2,5889	-0,1161
5880	LinModal	74,199	0,102	-2,308	-1,4506	0,0631
5880	LinModal	74,199	0,102	-2,308	-5,49	0,2423
5880	LinRespSpec	161,543	0,149	7,39	17,5775	0,3534
5880	LinRespSpec	161,543	0,149	7,39	8,289	0,1693
5880	LinRespSpec	161,543	0,149	7,39	4,6443	0,0921
5880	LinModal	225,686	-0,077	0,216	0,5145	-0,1826
5880	LinModal	225,686	-0,077	0,216	0,1359	-0,0476
5880	LinModal	225,686	-0,077	0,216	-0,2426	0,0875
5880	LinRespSpec	326,947	1,672	9,273	22,0543	3,9564
5880	LinRespSpec	326,947	1,672	9,273	10,4001	1,8952
5880	LinRespSpec	326,947	1,672	9,273	5,8271	1,0306