

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN BAWAH GEDUNG APARTEMEN THE BLISS DI KOTA MEDAN

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat – Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

AMIL MUKHLISH HASIBUAN

NPM: 2107210024



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2025

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Amil Mukhlis Hasibuan
NPM : 2107210024
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Perencanaan Struktur Bangunan Bawah Gedung Apartemen
The Bliss Di Kota Medan
Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Disetujui Untuk Disampaikan

Kepada Panitia Ujian:

Medan, 1 Agustus 2025

Dosen Pembimbing



Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D.

LEMBAR PENGESAHAN

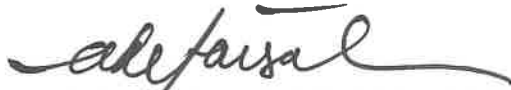
Nama : Amil Mukhlis Hasibuan
NPM : 2107210024
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Perencanaan Struktur Bangunan Bawah Gedung Apartemen
The Bliss Di Kota Medan
Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 1 Agustus 2025

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing I



Sri Frapanti, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing II



Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc.

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Ir. Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Amil Mukhlis Hasibuan
Tempat, Tanggal Lahir : Sibolga, 04 Agustus 1998
NPM : 2107210024
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Perencanaan Struktur Bangunan Bawah Gedung Apartemen The Bliss di Kota Medan”.

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan nonmaterial serta segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan atau kesenjangan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 1 Agustus 2025

Saya yang menyatakan,



Amil Mukhlis Hasibuan

ABSTRAK

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN BAWAH GEDUNG APARTEMEN THE BLISS DI KOTA MEDAN

Amil Mukhlis Hasibuan

2107210024

Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D.

Pertumbuhan pembangunan gedung bertingkat di Kota Medan membutuhkan perencanaan struktur bawah yang mampu menjamin keamanan serta efisiensi bangunan, khususnya terhadap beban gempa dan tekanan tanah. Penelitian ini difokuskan pada perencanaan struktur bawah dari gedung Apartemen The Bliss dengan memodelkan besmen serta mengevaluasi kebutuhan tulangan balok, kolom, dan dinding penahan tanah. Tujuan penelitian adalah menganalisis sistem fondasi yang paling sesuai berdasarkan kondisi tanah, serta memastikan kestabilan dinding penahan tanah. Metode yang digunakan meliputi analisis pembebanan (gravitasi, gempa, dan tekanan tanah) serta perbandingan tiga alternatif fondasi, yaitu tiang bor, fondasi rakit, dan kombinasi tiang-rakit, yang dirancang mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, SNI 2847:2019 dan SNI 8460:2017) dari sistem ganda dan sistem rangka pemikul momen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi fondasi tiang-rakit memberikan kinerja yang lebih baik dalam menahan beban maksimum dan mengurangi penurunan tanah dibandingkan hanya fondasi tiang bor saja dengan persentase 40,72% pada sistem ganda dan 41,41% pada sistem rangka pemikul momen, sedangkan desain dinding penahan tanah belum aman terhadap potensi guling. Penelitian ini bermanfaat sebagai referensi teknis dalam merancang struktur bawah gedung bertingkat yang aman, efisien, dan sesuai ketentuan standar.

Kata kunci: struktur bawah, basement, fondasi tiang-rakit, dinding penahan

ABSTRACT

STRUCTURAL DESIGN OF THE SUBSTRUCTURE OF THE BLISS APARTMENT BUILDING IN MEDAN CITY

Amil Mukhlis Hasibuan

2107210024

Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D.

The construction growth of high-rise buildings in Medan City requires a well-planned substructure to ensure the safety and efficiency of the building, especially against earthquake loads and soil pressure. This research focuses on the substructure planning of The Bliss Apartment building by modeling the basement and evaluating the reinforcement needs for beams, columns, and retaining walls. The objective of this study is to analyze the most suitable foundation system based on soil conditions and to ensure the stability of the retaining walls. The methods used include load analysis (gravity, earthquake, and soil pressure) and a comparison of three foundation alternatives: bored piles, mat foundations, and a pile-raft combination. These were designed according to Indonesian National Standards (SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, SNI 2847:2019, and SNI 8460:2017) using dual and moment-resisting frame systems. The research results show that the pile-raft foundation combination provides better performance in withstanding maximum loads and reducing soil settlement compared to bored piles alone, with a percentage of 40.72% for the dual system and 41.41% for the moment-resisting frame system. However, the retaining wall design was found to be unsafe against potential overturning. This research is beneficial as a technical reference for designing safe, efficient, and standard-compliant substructures for high-rise buildings.

Keywords: substructure, basement, pile-raft foundation, retaining wall.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Perencanaan Struktur Bangunan Bawah Gedung Apartemen The Bliss di Kota Medan” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini banyak pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah memberikan dukungan, bimbingan dan bantuan, sehingga dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing sekaligus sebagai Wakil Dekan I Fakultas Teknik yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Sri Prafanti, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membimbing dan memberikan saran kepada penulis dalam proses menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing II dan Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera yang telah banyak membantu dan memberikan saran serta masukan demi kelancaran penulis dalam proses menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Munawar Alfansyury Siregar, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu Teknik Sipil kepada penulis.
6. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Kepada almarhum ayahanda tercinta Noyan Hasibuan, yang telah mengajarkan nilai-nilai kehidupan, semangat, dan doa yang beliau titipkan tetap menjadi sumber

kekuatan bagi penulis. Kepada ibunda tercinta Dimawati Panggabean atas segala doa dan pengorbanan yang tidak terkira kepada penulis.

8. Rekan seperjuangan Kelas A1 Pagi Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Stambul 2021. Yang telah memberikan dukungan dalam menjalankan perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, mengingat keterbatasan pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan ke depannya. Ucapan terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu hingga tugas ini dapat terselesaikan. Semoga karya ini bermanfaat, khususnya bagi penulis dan rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil.

Medan, 1 Agustus 2025

Saya yang menyatakan,



Amil Mukhlis Hasibuan

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xv
DAFTAR LAMPIRAN	vi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.1.1 Penelitian Tentang SRPMK dan Sistem Ganda	8
2.1.2 Penelitian Tentang Besmen	9
2.1.3 Penelitian Tentang Fondasi Tiang-Bor	9
2.1.4 Penelitian Tentang Fondasi Tiang-Rakit	11
2.1.5 Penelitian Tentang Dinding Penahan Tanah	12
BAB 3 METODE PENELITIAN	14
3.1 Proses Permodelan Desain Struktur	14
3.2 Metodologi Penelitian	15
3.2.1 Studi Literatur	15

3.2.2 Menentukan Desain Struktur	15
3.2.2.1 Data Umum Bangunan	15
3.2.2.2 Menentukan Material Struktur	16
3.2.2.3 Menentukan Elemen Struktur Besmen	17
3.2.2.4 Kombinasi Pembebanan	19
3.2.2.5 Desain Fondasi Tiang Bor	19
3.2.2.6 Desain Fondasi Rakit	21
3.2.2.7 Desain Fondasi Tiang-Rakit	22
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Data dan Parameter Awal Perencanaan	23
4.1.1 Data Desain Spektra	23
4.1.2 Parameter Gempa	25
4.1.3 Kategori Desain Seismik	27
4.1.4 Sistem Struktur	28
4.1.5 Data Beban	29
4.1.6 Data Tanah	30
4.2 Permodelan struktur	30
4.3 Desain Besmen	30
4.4 Desain Fondasi Tiang Bor	34
4.4.1 Data N-SPT	34
4.4.2 Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal Meyerhoff	35
4.4.3 Konfigurasi tiang bor	39
4.4.4 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Lateral Fondasi	51
4.4.5 Perhitungan Deformasi Lateral Fondasi Tiang	57
4.4.6 Perhitungan Penurunan Fondasi Tiang	65
4.5 Desain Fondasi Rakit	70
4.6 Desain Dinding Penahan Tanah	72
4.6.1 Teori Rankine	73
4.6.2 Tekanan Akibat Beban Surcharge	76
4.6.3 Tekanan Lateral Aktif	77
4.6.4 Tekanan Lateral Pasif	81
4.6.5 Analisis Kedalaman Tiang pada Dasar Besmen	82

4.6.6 Pengecekan Stabilitas Dinding Penahan Tanah	83
BAB 5 KESIMPULAN	86
5.1 Saran	86
5.2 Kesimpulan	86
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN	89

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kuat tekan beton yang direncanakan pada balok	16
Tabel 3.2 Kuat tekan beton yang direncanakan pada kolom	16
Tabel 3.3 Kolom KB besmen 1 dan 2	17
Tabel 3.4 Kolom K2 besmen 1 dan 2	17
Tabel 3.5 Balok lantai besmen 1 dan 2	17
Tabel 3.6 Balok lantai ground	18
Tabel 3.7 Balok lantai besmen 1 dan 2	18
Tabel 3.8 Lantai Base	18
Tabel 3.9 Dinding Geser	18
Tabel 4.1 Koefisien Situs, F_a	23
Tabel 4.2 Koefisien Situs, F_v	24
Tabel 4.3 Kategori risiko bangunan	25
Tabel 4.4 Faktor Keutamaan Gempa	27
Tabel 4.5 Elevasi antartingkat gedung	27
Tabel 4.6 Kategori desain seismik	28
Tabel 4.7 Beban yang digunakan	29
Tabel 4.8 Tulangan tumpuan pada balok B1	30
Tabel 4.9 Tulangan utama pada balok besmen	31
Tabel 4.10 Tulangan sengkang pada balok besmen	32
Tabel 4.11 Tabel Perhitungan N-rata-rata N-SPT	34
Tabel 4.12 <i>Base reaction</i> lantai besmen 3	37
Tabel 4.13 Efisiensi 2 tiang	40
Tabel 4.14 Efisiensi 4 tiang	40
Tabel 4.15 Efisiensi 6 tiang	41
Tabel 4.16 Efisiensi 8 tiang	41
Tabel 4.17 Efisiensi 9 tiang	41
Tabel 4.18 Efisiensi 10 tiang	41
Tabel 4.19 Efisiensi 12 tiang	42
Tabel 4.20 Efisiensi 14 tiang	42
Tabel 4.21 Efisiensi 15 tiang	42

Tabel 4.22 Efisiensi 16 tiang	42
Tabel 4.23 Efisiensi 20 tiang	43
Tabel 4.24 Efisiensi 24 tiang	43
Tabel 4.25 Efisiensi 30 tiang	43
Tabel 4.26 Efisiensi 32 tiang	43
Tabel 4.27 Efisiensi 36 tiang	44
Tabel 4.28 Jumlah tiang bor gaya aksial sistem ganda	44
Tabel 4.29 Jumlah tiang bor gaya aksial SRPMK	48
Tabel 4.30 Jumlah tiang bor gaya lateral sistem ganda	53
Tabel 4.31 Jumlah tiang bor gaya lateral SRPMK	55
Tabel 4.32 Notasi dan satuan deformasi lateral	58
Tabel 4.33 Defleksi lateral Broms sistem ganda	59
Tabel 4.34 Defleksi lateral Broms SRPMK	62
Tabel 4.35 Nilai penurunan fondasi tiang	66
Tabel 4.36 Penurunan tiang sistem ganda	66
Tabel 4.37 Penurunan tiang SRPMK	68
Tabel 4.38 Parameter Tanah	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Denah Struktur Bangunan Eksisting	7
Gambar 2.2 Hasil Analisis Struktur Setelah Penambahan Lantai	8
Gambar 2.3 Hasil Analisis Struktur Setelah Perkuatan	8
Gambar 2.4 Perencanaan <i>retaining wall</i> di Belakang Gedung C	13
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	14
Gambar 3.2 Sket Lokasi <i>Bore Hole</i> dan Sondir	19
Gambar 4.1 Kolom besmen pada P maksimum	32
Gambar 4.2 Kolom besmen pada M2 maksimum	33
Gambar 4.3 Kolom besmen pada M3 maksimum	33
Gambar 4.4 <i>Joint number base reaction</i>	39
Gambar 4.5 Denah Tiang Bor	47
Gambar 4.6 Grafik hubungan kapasitas lateral ultimit dan momen ultimit	52
Gambar 4.7 DPT yang ditinjau pada perhitungan	72
Gambar 4.8 Desain Rencana Dinding Penahan Tanah	74
Gambar 4.9 Dinding Penahan Tanah beserta pembebanan	84
Gambar 4.10 Interaksi kolom dinding penahan tanah	85
Gambar 4.11 Ilustrasi DPT Besmen	85

DAFTAR NOTASI

R	=	Faktor Koefisien Modifikasi Respon
C_d	=	Faktor Kuat Lebih Sistem
Ω_0	=	Faktor Pembesaran Defleksi
SDS	=	Respon Spektrum Percepatan Desain untuk Periode Pendek
$SD1$	=	Respon Spektrum Percepatan Desain untuk Periode 1,0 detik
S_s	=	Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa periode pendek 0,2 detik di tanah sedang (SD) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2019
S_1	=	Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa periode 0,1 detik di tanah sedang (SD) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2019
F_a	=	Koefisien Periode Pendek
F_v	=	Koefisien Periode 1,0 detik
S_a	=	<i>Spectrum Acceleration</i>
T	=	Periode Fundamental
C_s	=	Koefisien Respon Seismik
F_y	=	Gaya Leleh
F_u	=	Gaya Ultimit
C_t	=	Parameter Periode Pendekatan
W	=	Berat Seismik Efektif Struktur
V	=	Gaya Geser Dasar Prosedur Gaya Lateral Statik Ekuivalen
V_t	=	Gaya Geser Dasar Nominal (Analisis Ragam Spektrum Respon)
f_x	=	Faktor Skala Gaya Gempa Arah X
f_y	=	Faktor Skala Gaya Gempa Arah Y
SF_x	=	Faktor Skala Baru untuk Gaya Gempa Arah X
SF_y	=	Faktor Skala Baru untuk Gaya Gempa Arah Y

DAFTAR SINGKATAN

SRPMK	=	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
KDS	=	Kategori Desain Seismik
DL	=	Dead Load
LL	=	Live Load
SIDL	=	Superimposed Dead Load
DPT	=	Dinding Penahan Tanah

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Denah lantai besmen 3	89
Lampiran 2 Denah lantai besmen 2 sistem ganda	89
Lampiran 3 Denah lantai besmen 1 sistem ganda	90
Lampiran 4 Denah lantai ground sistem ganda	90
Lampiran 5 Deah lantai <i>mezzanine</i> sistem ganda	91
Lampiran 6 Denah lantai 1 sistem ganda	91
Lampiran 7 Denah lantai 2 sistem ganda	92
Lampiran 8 Denah lantai 3,5,7,9,11,12,13,15,17,19,21 sistem ganda	92
Lampiran 9 Denah lantai 4,6,8,10,12,14,16,18,20 sistem ganda	93
Lampiran 10 Denah lantai 22 rooftop sistem ganda	93
Lampiran 11 Denah lantai 23 area kolam sistem ganda	94
Lampiran 12 Desain gedung apartemen sistem ganda	95
Lampiran 13 Denah lantai besmen 2 SRPMK	96
Lampiran 14 Denah lantai besmen 1 SRPMK	96
Lampiran 15 Denah lantai ground SRPMK	97
Lampiran 16 Denah lantai <i>mezzanine</i> SRPMK	97
Lampiran 17 Denah lantai 1 SRPMK	98
Lampiran 18 Denah lantai 2 SRPMK	98
Lampiran 19 Denah lantai 3,5,7,9,11,12,13,15,17,19,21 SRPMK	99
Lampiran 20 Denah lantai 4,6,8,10,12,14,16,18,20 SRPMK	99
Lampiran 21 Denah lantai 22 rooftop SRPMK	100
Lampiran 22 Denah lantai 23 area kolam SRPMK	100
Lampiran 23 Desain gedung apartemen SRPMK	101
Lampiran 24 Diagram tekanan tanah	102
Lampiran 25 Kombinasi pembebanan struktur bawah	105
Lampiran 26 Faktor R, C _d , dan Ω_0	106

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Laju pertumbuhan penduduk di Indonesia secara konsisten mendorong peningkatan kebutuhan akan infrastruktur yang memadai untuk menunjang kesejahteraan masyarakat. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS, 2020), proporsi penduduk yang bermukim di daerah perkotaan meningkat drastis, dari 30% pada tahun 1990 menjadi 56% pada tahun 2020. Fenomena urbanisasi ini, yang didefinisikan sebagai peningkatan proporsi penduduk di wilayah perkotaan, berkorelasi erat dengan pertumbuhan ekonomi karena konsentrasi penduduk di pusat-pusat kota memfasilitasi efisiensi skala dan inovasi. Peningkatan populasi yang pesat ini menciptakan tekanan yang signifikan terhadap infrastruktur dasar dan pelayanan publik, termasuk ketersediaan perumahan dan sistem transportasi.

Sebagai negara yang terletak di wilayah *Ring of Fire*, Indonesia rawan mengalami gempa bumi akibat gesekan antar lempeng tektonik. Getaran akibat gempa sering menyebabkan kerusakan signifikan, terutama pada bangunan tinggi. Perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan turut memengaruhi standar desain struktur bangunan bertingkat, seperti yang diatur dalam SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Standar ini tidak hanya memperhatikan aspek keamanan tetapi juga mempertimbangkan nilai estetika, sehingga bangunan menjadi lebih bernilai, indah, dan aman sesuai regulasi yang berlaku (Hariyono dan S., 2018).

Dalam tugas ini, perencanaan akan mencakup penentuan dimensi elemen struktur seperti balok dan kolom di besmen, jumlah tulangan pada balok dan kolom, jenis sambungan yang digunakan, mutu beton, jenis fondasi, serta bahan tulangan pada struktur bawah bangunan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas didapatkan rumusan masalah yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh sistem struktur ganda terhadap efisiensi jumlah tiang bor dibandingkan dengan sistem SRPMK?
2. Apakah desain dari dinding penahan tanah telah aman terhadap pengecekan guling sesuai SNI 8460:2017?
3. Bagaimana pengaruh kombinasi fondasi tiang-rakit dalam menahan beban maksimum pada sistem ganda dan SRPMK?
4. Apakah penurunan tiang yang terjadi pada fondasi tiang tunggal masih berada dalam batas toleransi yang diizinkan secara teknis?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam perencanaan struktur bangunan gedung ini diperlukan batasan masalah yang akan ditinjau, agar tidak terjadi permasalahan diluar dari perencanaan, adapun batasan masalah yang dibuat adalah sebagai berikut:

1. Struktur bangunan direncanakan menggunakan struktur beton bertulang.
2. Desain Struktur menggunakan standar tentang tata cara perencanaan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non nongedung SNI 1726-2019.
3. Desain Struktur menggunakan standar tentang beban desain minimum dan kriteria terkait SNI 1727-2020.
4. Desain Struktur menggunakan standar tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan SNI 2847-2019.
5. Menentukan dimensi yang diperlukan untuk perencanaan terhadap tidak beraturan vertikal yang terjadi pada struktur bangunan yang didesain.
6. Menghitung struktur bawah dari desain gedung.
7. Perhitungan dan analisis struktur dilakukan dengan menggunakan bantuan program analisis struktur.
8. Menghitung dimensi dan penulangan dari:
 - a. Dimensi dan penulangan balok, kolom, pelat, dan dinding besmen
 - b. Dimensi dan penulangan fondasi

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis efisiensi jumlah tiang bor yang dibutuhkan pada sistem struktur ganda dibandingkan dengan sistem SRPMK.
2. Untuk mengetahui keamanan desain dinding penahan tanah terhadap potensi guling berdasarkan standar yang berlaku, khususnya mengacu pada SNI 8460:2017, guna memastikan stabilitas dan kelayakan desain secara teknis.
3. Untuk mengevaluasi efektivitas kombinasi fondasi tiang-rakit dalam menahan beban maksimum pada sistem struktur ganda dan SRPMK, serta menentukan apakah desain tersebut memenuhi kriteria kekuatan dan keamanan.
4. Untuk meninjau penurunan tiang pada fondasi tiang tunggal, dan memastikan bahwa nilai penurunan tersebut masih berada dalam batas toleransi yang diizinkan menurut standar teknis dan praktik rekayasa geoteknik.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan referensi teknis dalam analisis dan perencanaan struktur bawah gedung bertingkat berdasarkan SNI terbaru, khususnya terkait beban gempa dan tekanan tanah lateral.
2. Menyajikan acuan perhitungan dimensi penampang serta kebutuhan tulangan elemen struktur bawah secara efisien, aman, dan sesuai standar yang berlaku.
3. Mendukung pengambilan keputusan desain fondasi, khususnya dalam penerapan kombinasi fondasi tiang-rakit, dengan data dan analisis yang menunjukkan efektivitasnya dalam menahan beban maksimum pada berbagai sistem struktur.
4. Memberikan acuan bagi perencana struktur dalam memilih sistem fondasi dan struktur yang lebih efisien dan aman, terutama pada proyek bangunan bertingkat dengan kondisi tanah yang kompleks.

1.6 Sistematika Penelitian

Penulisan Tugas akhir dilakukan menjadi beberapa bagian, yaitu sebagai berikut:

1. BAB 1: Bab ini menjelaskan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penulisan, dan sistematika penulisan.
2. BAB 2: Bab ini memberikan keterkaitan penelitian terdahulu dengan penulisan tugas akhir.
3. BAB 3: Metodologi penelitian akan membahas bagaimana memodelkan struktur dengan menggunakan program analisis struktur.
4. BAB 4: Hasil dan pembahasan akan memuat hasil yang diperoleh dan akan disajikan dalam bentuk gambar, grafik atau tabel serta pembahasannya.
5. BAB 5: Hasil berisikan kesimpulan dan saran dari program analisis struktur.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Dalam penulisan tugas akhir ini, saya menemukan beberapa penelitian yang berkaitan dengan penulisan tugas akhir ini, yaitu sebagai berikut:

2.1.1 Penelitian Tentang SRPMK dan Sistem Ganda

Penelitian ini dilakukan untuk merencanakan hotel di Kota Yogyakarta dengan tinggi 10 lantai dengan menggunakan sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) karena Yogyakarta termasuk kategori desain seismik (KDS) D merupakan klasifikasi yang menggambarkan tingkat risiko kegempaan suatu wilayah. KDS digunakan untuk menentukan jenis struktur yang akan digunakan dalam desain bangunan, serta pendetailan desain struktur tersebut. Kategori Desain Seismik (KDS) D adalah kategori desain seismik dengan risiko seismik tinggi. Berdasarkan peta gempa (Ss) provinsi DI Yogyakarta termasuk ke dalam wilayah gempa tinggi dengan spectral percepatan 1.11 g, maka dalam perencanaan gedung didesain harus tahan terhadap gempa (Intane dan Machmoed, 2023).

Struktur bangunan bertingkat tinggi harus dirancang untuk mampu menahan gaya vertikal dan gaya horizontal. Di antara kedua gaya ini, gaya vertikal hanya sedikit memengaruhi beban gravitasi pada struktur. Oleh karena itu, perencanaan gaya vertikal biasanya dilakukan dengan menggunakan faktor keamanan yang cukup, sehingga struktur jarang mengalami keruntuhan akibat gaya vertikal. Sementara itu, gaya gempa horizontal cenderung menyerang bagian-bagian lemah pada struktur yang tidak memiliki kekuatan cukup, sehingga dapat langsung mengakibatkan keruntuhan (*failure*).

Beton bertulang dipilih sebagai bahan konstruksi dalam perencanaan Hotel Velins karena bahan pembuatnya mudah diperoleh, biayanya relatif lebih ekonomis, dan memiliki sifat monolitik yang lebih baik dibandingkan dengan kayu atau baja, yang kini semakin jarang atau sulit ditemukan (Abdul dan Utari, 2020).

Metode perencanaan gedung Hotel Velins menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), dengan pertimbangan bahwa pendetailannya dapat menghasilkan struktur berdaktilitas tinggi, yang mampu mengalami deformasi inelastis tanpa kehilangan kekuatannya (Anson dan Soerjandani, 2023).

Sistem rangka ini dirancang dengan sendi plastis yang mampu menyebarkan gaya gempa secara efektif. Pemodelan struktur menggunakan perangkat lunak analisis struktur, dengan acuan pembebanan sesuai “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung” (SNI 2847-2019) dan “Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung” (SNI 1726-2019). Hal ini bertujuan untuk memastikan hasil perencanaan yang akurat dan kelayakan bangunan yang dirancang.

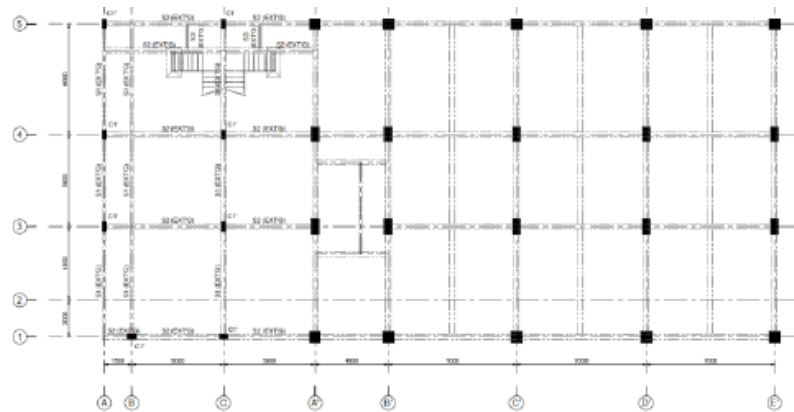
Tujuan perencanaan gedung Hotel Velins meliputi: pertama, menganalisis simpangan horizontal pada tiap lantai agar sesuai dengan kriteria SRPMK. Kedua, memastikan desain Strong Column Weak Beam memenuhi batas minimum yang diizinkan berdasarkan metode SRPMK. Ketiga, mengevaluasi Hubungan Balok-Kolom, khususnya tulangan geser, agar sesuai dengan persyaratan SNI 2847-2019.

Hasil analisis didapatkan bahwa simpangan horizontal rata-rata lantai 1 sampai 9 arah X dan Y adalah 25,76 mm, masih di bawah simpangan izin (Δ_a) yaitu 100 mm, menunjukkan struktur gedung Hotel Velins dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus mampu menahan beban gempa dan menjaga stabilitas lateral. Struktur memenuhi persyaratan *Strong Column Weak Beam* sesuai SNI 2847-2019 pasal 18.7.3, dengan $\Sigma M_{nc} = 3698,46 \text{ kNm} > 1,2 \Sigma M_{nb} = 989,66 \text{ kNm}$. Hubungan Balok-Kolom (HBK): Desain HBK sesuai SNI 2847-2019 pasal 18.8.4.1, memenuhi syarat kekangan balok, yaitu: Kondisi terkekang 4 balok: $V_n = 2715,5 \text{ kN} > V_{x-x} = 1534,05 \text{ kN}$, serta kondisi terkekang 3 atau 2 balok: $V_n = 1916,8 \text{ kN} > V_{x-x} = 853,29 \text{ kN}$.

Penelitian kedua tentang SRPMK yaitu pada bangunan ruko 3 lantai di Jalan Ahmad Yani, Ruko Taman Golf Residence 3, Kota Batam, Kepulauan Riau yang dianalisis dan ditambahkan perkuatan struktur karena perubahan fungsi bangunan menjadi restoran atau café (Horse dan Saputra, 2024).

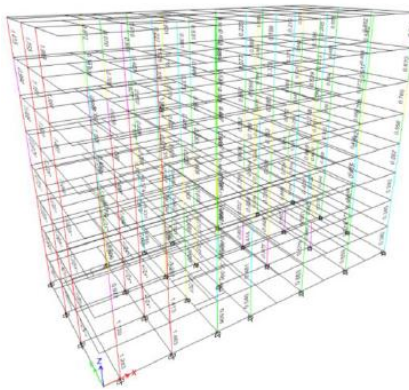
Analisis pembebanan dilakukan untuk menentukan nilai beban yang bekerja pada struktur gedung. Berat komponen struktur dihitung otomatis menggunakan

program ETABS. Berat jenis bata yang digunakan adalah 1700 kg/m^3 , dengan ketebalan bata 150 cm dan ketinggian lantai 3,6 m, sehingga beban mati bata adalah $1700 \times 0,15 \text{ m} \times 3,6 \text{ m} = 918 \text{ kg/m}$. Beban mati tambahan untuk finishing lantai, seperti plafon, keramik, dan ME, adalah 150 kg/m^2 . Beban hidup pada plat lantai adalah 250 kg/m^2 . Elevasi lantai yang digunakan dalam perencanaan adalah 3,6 m.



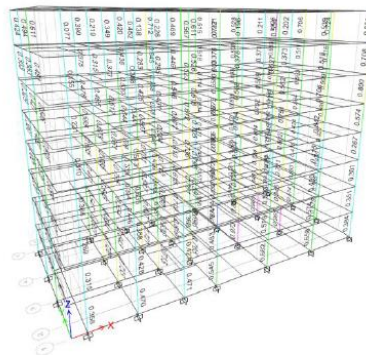
Gambar 2.1: Denah Struktur Bangunan Eksisting (Horse dan Saputra, 2024).

Pemodelan struktur ruko eksisting dilakukan menggunakan aplikasi ETABS v20.1.0, berdasarkan gambar denah struktur eksisting yang ditampilkan pada Gambar 3. Proses pemodelan dimulai dengan menginput mutu material yang digunakan, yaitu beton K-250 (kuat tekan 250 kg/cm^2) untuk kolom, balok, dan plat, serta baja BJTD-42 ($F_y = 420 \text{ MPa}$) sebagai tulangan utama, dan baja BJTP-28 ($F_y = 280 \text{ MPa}$) untuk tulangan geser. Selanjutnya, pemodelan dilanjutkan dengan menginput dimensi penampang komponen struktur dan menyusun model berdasarkan gambar denah balok eksisting. Setelah pemodelan struktur bangunan tambahan, tahap analisis struktur dilakukan menggunakan fitur *Run Concrete Design*. Hasil analisis menunjukkan bahwa kolom eksisting tidak mengalami kegagalan struktur.



Gambar 2.2: Hasil Analisis Struktur Setelah Penambahan Lantai (Horse dan Saputra, 2024).

Struktur kolom dan pondasi bangunan ruko tidak mampu menahan beban tambahan dari 3 lantai menjadi 9 lantai, sehingga diperlukan perkuatan. Analisis ETABS menunjukkan kolom lantai 1-3 perlu diperbesar menjadi 50×80 cm, dan lantai 4-9 menjadi 40×60 cm. Pondasi eksisting (pancang 40×40 cm) perlu dilengkapi dengan *bored pile* berdiameter 40 cm dengan tulangan 8D16. Pile cap eksisting (80×80×75 cm) perlu diperbesar menjadi 240×160×75 cm dengan tulangan D22 jarak 150 mm untuk mengikat *bored pile* tambahan. Desain perkuatan pile cap telah memenuhi kapasitas gaya geser dari kolom dan *bored pile*.



Gambar 2.3: Hasil Analisis Struktur Setelah Perkuatan (Horse dan Saputra, 2024).

2.1.2 Penelitian Tentang Besmen Gedung

Dalam masyarakat modern, urbanisasi yang pesat dan pertumbuhan populasi membuat lahan semakin terbatas. Untuk memaksimalkan penggunaan lahan, gedung bertingkat semakin banyak dibangun, yang membutuhkan fondasi yang lebih dalam serta ruang bawah tanah untuk memanfaatkan ketinggian secara maksimal. Keberadaan basement tidak hanya meningkatkan luas bangunan, tetapi juga efisiensi lahan dan mengurangi kebutuhan penimbunan tanah. Selain itu, penggunaan perangkat lunak teknik yang memungkinkan desainer untuk membuat model bangunan dan mensimulasikan struktur secara mudah, sangat meningkatkan efisiensi dan keandalan desain. Oleh karena itu, penggunaan perangkat lunak teknik dalam proses desain menjadi bagian penting dalam pekerjaan desain saat ini.

Pemanfaatan software rekayasa dalam desain membantu desainer menghemat waktu dan mempermudah perhitungan. Namun, analisis yang dilakukan perangkat lunak terhadap kondisi nyata masih terbatas. Misalnya, dalam hal penghematan biaya dan penerapan desain bangunan ramah lingkungan, desainer perlu melakukan penyesuaian dan peningkatan hasil desain dengan menggunakan pengalaman dan pertimbangan rasional. Diharapkan tulisan ini bermanfaat untuk pengembangan perangkat lunak di masa depan dan kemajuan dalam penerapannya (Zhaohe, 2024).

2.1.3 Penelitian Tentang Fondasi Tiang-Bor

Pemilihan fondasi merupakan salah satu faktor paling penting dalam merencanakan struktur bangunan gedung, Fondasi merupakan elemen penting sebagai penopang bangunan di atasnya, begitu pula dengan tanah di lokasi fondasi tersebut. Oleh karena itu, penyelidikan tanah sangat penting untuk mengetahui sifat-sifat geoteknik tanah dan mengidentifikasi lapisan serta ketebalan tanah di lokasi proyek (Gian dan Prihatiningsih, 2024).

Fondasi adalah struktur yang berfungsi untuk mentransfer beban bangunan ke tanah dan memastikan stabilitasnya. Pada tanah yang lemah atau memiliki daya dukung rendah, fondasi dangkal tidak selalu memadai untuk menopang beban struktur. Sebagai solusinya, fondasi tiang bor dapat diandalkan. Kondisi lapisan tanah di sekitar fondasi juga memengaruhi kekuatan daya dukung dan penurunan struktur fondasi yang akan dibangun. Di banyak lokasi, sering dijumpai lapisan

tanah lunak atau keras, namun ada juga kemungkinan adanya lapisan keras di antara lapisan tanah lunak yang disebut lapisan lensa.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan daya dukung dan penurunan fondasi tiang bor biasa terhadap tiang bor dengan perbesaran tiang di dua tanah lensa (*multi-belled pile*). Penggunaan multi-belled pile pada lapisan lensa lebih baik dari tiang bor biasa, dikarenakan dengan adanya perbesaran tiang pada lapisan lensa dapat meningkatkan daya dukung serta mengurangi penurunan yang terjadi pada fondasi tiang, dan peningkatan mutu beton juga dapat mengurangi penurunan yang terjadi pada tiang fondasi.

Menganalisis daya dukung tanah secara manual, tentunya dapat memakan waktu yang cukup lama, aplikasi yang dapat membantu dalam perhitungan analisis daya dukung dan penurunan fondasi dari tiang dengan menggunakan software ALLPILE (Pribadi dan Rumbyarso, 2023).

Penyelidikan tanah sangat penting dalam merencanakan fondasi, khususnya penyelidikan bor untuk memastikan kedalaman tanah keras. Karena kedalaman tanah keras yang akan dijadikan tumpuan mencapai 36 meter, maka diperlukan fondasi tiang. Salah satu tipe fondasi tiang yang digunakan adalah fondasi *bored pile*, yang termasuk dalam jenis fondasi dalam (*deep foundation*). Pemilihan fondasi *bored pile* dipilih karena kondisi lingkungan proyek yang dikelilingi oleh rumah-rumah warga. Secara umum, fondasi dibagi menjadi dua tipe, yaitu fondasi dangkal (*shallow foundation*) untuk konstruksi dengan beban ringan, dan fondasi dalam (*deep foundation*) untuk beban yang lebih berat, yaitu digunakan ketika kedalaman yang diperlukan untuk menahan beban sangat besar. Beban yang ditanggung oleh fondasi dalam harus dapat diteruskan ke lapisan tanah yang cukup keras, agar fondasi dapat memikul beban dengan efektif.

Fondasi *bored pile* memiliki daya dukung ultimit yang konsisten antara hasil perhitungan software (12.075,08 kN) dan loading test (12.098,31 kN), sementara hasil manual lebih konservatif (411,23 kN). Penurunan fondasi (2 cm dari software dan 1,88 cm dari uji lapangan) memenuhi standar ASTM D 1134-81. Defleksi sebesar 0,19% menunjukkan kinerja struktur yang aman dan kaku. Desain fondasi ini dinyatakan andal dan sesuai standar.

Penelitian tentang fondasi *bored pile* pada proyek pembangunan rumah susun Paspampres Jakarta Pusat memberikan cara untuk menghitung daya dukung fondasi tiang bored pile (Q_{ult}). Menghitung daya dukung kelompok tiang (Q_{gu}), menghitung beban struktur yang dipikul oleh fondasi. Menghitung dimensi dan penulangan Tie Beam, dari perhitungan analisis, didapatkan nilai daya dukung ultimit (Q_{ult}) tiang pancang tunggal sebesar 731,82 Ton dan daya dukung ijin (Q_{ga}) sebesar 181,10 Ton. Berdasarkan daya dukung fondasi tiang kelompok, diperoleh nilai daya dukung ultimit kelompok tiang (Q_{gu}), yaitu (PC-6) = 3152,680 Ton, serta nilai daya dukung ijin kelompok tiang (Q_{ga}), yaitu (PC-6) = 780,178 Ton (Hulu, dkk., 2022).

2.1.4 Penelitian Tentang Fondasi Tiang-Rakit

Desain *Combined Pile-Raft Foundation* (CPRF) semakin sering digunakan dalam perancangan proyek. Fondasi Gabungan Tiang-Rakit memiliki mekanisme interaksi tanah-struktur yang kompleks, mencakup interaksi antara tiang-tanah, tiang pancang, interaksi antar tiang pancang, rakit-tanah, hingga tiang-rakit. Oleh karena itu, diperlukan pemodelan numerik 3D untuk menganalisis interaksi rumit ini. Artikel ini menyajikan dan membahas beberapa model 3D yang digunakan sebagai dasar desain tiga gedung perkantoran yang dibangun menggunakan kombinasi solusi Fondasi Rakit dan Gabungan Tiang-Rakit. Proyek ini terletak di dekat tepi kanan Sungai Tagus, Lisbon, Portugal. Studi tersebut didasarkan pada data geoteknik hasil investigasi lokasi, serta Uji Beban Statis dan Dinamis pada Tiang Pancang yang dilakukan di beberapa titik yang tersebar di lokasi, proses ini mendukung terciptanya solusi fondasi yang lebih efisien dan optimal. (Sousa, dkk., 2024).

Menurut Wulandari dan Tjandra (2015) tiang pancang dapat dimanfaatkan bersama fondasi rakit dalam sistem fondasi gabungan tiang-rakit. Penambahan tiang bertujuan untuk mengurangi penurunan tanah hingga mencapai tingkat yang dianggap aman. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penurunan pada fondasi rakit dan pengaruhnya dengan memasukkan tiang pancang sebagai bagian dari sistem fondasi tiang-rakit di bawah beban yang sama. Analisis numerik dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan perangkat lunak, dengan

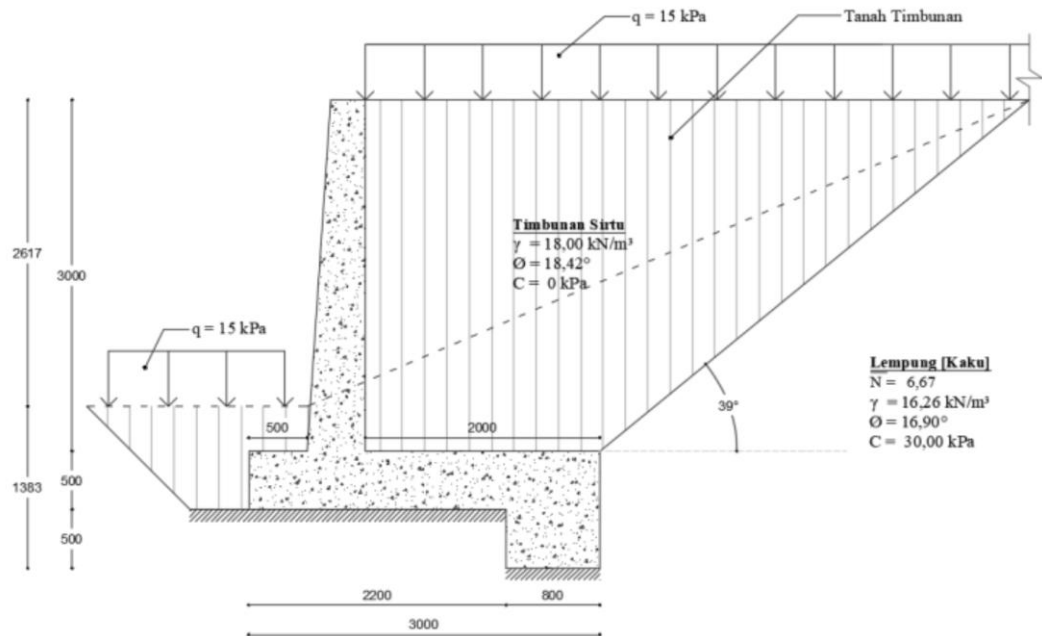
mempertimbangkan variasi jumlah tiang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan tiang dapat mengurangi penurunan tanah secara signifikan, namun setelah mencapai jumlah tertentu, peningkatan jumlah tiang tambahan hanya memberikan efek penurunan yang cenderung konstan. Oleh karena itu, dalam desain yang efisien secara ekonomi, perlu ditentukan jumlah tiang optimal dalam sistem fondasi tiang-rakit berdasarkan batas toleransi penurunan yang diizinkan.

2.1.5 Penelitian Tentang Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah memiliki peran penting dalam konstruksi gedung, terutama pada area dengan perbedaan elevasi atau tanah yang rentan terhadap pergerakan. Struktur penahan tanah yang dirancang secara optimal, aman, dan efisien memberikan banyak manfaat untuk proyek konstruksi. Salah satunya adalah pengurangan biaya dengan memilih metode yang lebih efisien, yang mengurangi biaya material dan tenaga kerja tanpa mengorbankan kualitas dan keselamatan. Desain yang aman mengurangi risiko kerusakan akibat pergerakan tanah seperti longsor atau erosi yang dapat merusak bangunan dan membahayakan penghuninya. Struktur yang efisien juga mempercepat pelaksanaan proyek, mencegah keterlambatan. Penerapan desain yang tepat melindungi lingkungan sekitar dan infrastruktur dari dampak negatif. Perencanaan yang baik juga memastikan proyek memiliki ketahanan dan keberlanjutan yang lebih baik, serta mengurangi kebutuhan untuk perbaikan besar di masa depan. Keuntungan lainnya adalah pemanfaatan ruang yang lebih optimal, memungkinkan pembangunan di tanah yang tidak stabil. Secara keseluruhan, merancang struktur penahan tanah yang efisien dan kokoh memastikan proyek lebih aman, lebih terjangkau, dan lebih berkelanjutan.

Pada perancangan struktur penahan tanah pada sisi Timur Gedung A dan B dirancang menggunakan secant pile dengan kebutuhan 122 pile untuk Gedung A dan 83 pile untuk Gedung B, serta total biaya sebesar Rp 3,86 miliar. Sementara itu, dinding penahan tanah di sisi belakang Gedung C direncanakan sepanjang 110 meter dengan biaya Rp 1,37 miliar. Desain ini diharapkan mampu memberikan solusi yang efektif, aman, dan terjangkau untuk mencegah kelongsoran, sekaligus

mendukung pembangunan Geopark Karangsambung-Karangbolong (Suwarno dan Wicaksono, 2023).



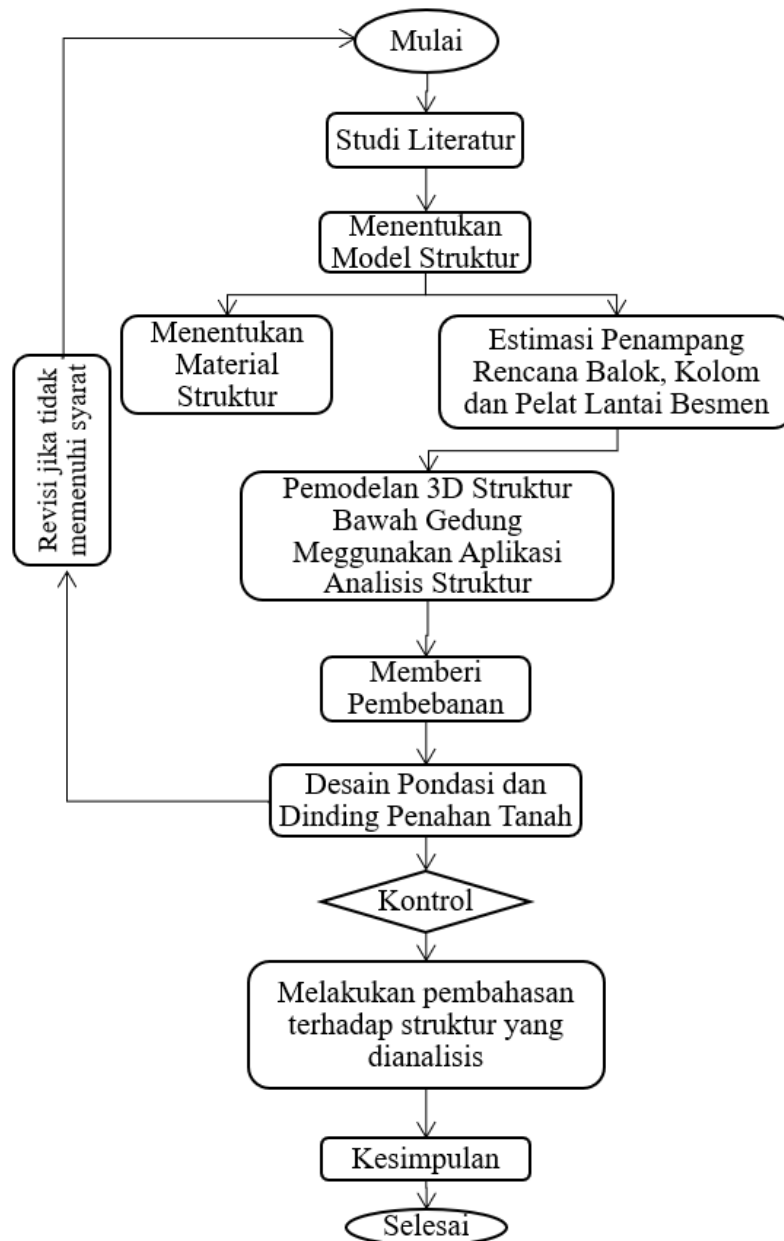
Gambar 2.4: Perencanaan *retaining wall* di Belakang Gedung C (Suwarno dan Wicaksono, 2023).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Proses Permodelan Desain Struktur

Langkah-langkah dalam perencanaan dan analisis struktur gedung The Bliss yang dilakukan pada penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1: Diagram alir penelitian.

3.2 Metodologi Penelitian

Dari diagram alur penelitian di atas dapat dijelaskan metodologi pekerjaan yang akan di pakai dalam menyusun tugas akhir ini.

3.2.1 Studi Literatur

Studi Literatur yang dilakukan menggunakan beberapa buku mengenai perancangan struktur gedung secara umum dan aturan SNI yang berlaku saat ini, studi literatur dilakukan untuk memilih dasar-dasar teori yang dilakukan dalam pelaksanaan tugas akhir.

3.2.2 Menentukan Desain Struktur

Desain struktur harus ditentukan dengan mempertimbangkan fungsi gedung, sehingga pembebanan pada setiap lantai, material yang digunakan, dapat direncanakan dengan baik.

3.2.2.1 Data Umum Bangunan

Data bangunan yang akan digunakan sebagai acuan perencanaan ini adalah sebagai berikut:

Fungsi : Apartemen

Lokasi : Kota Medan

Jumlah lantai : 23

Struktur utama: Struktur beton bertulang

Struktur atas:

- Sistem ganda
- SRPMK

Struktur bawah:

- Besmen: 3 lapis
- Dinding penahan tanah Secant Pile
- Fondasi (Tiang atau Tiang-Rakit)

3.2.2.2 Menentukan Material Struktur

Material yang digunakan dalam perencanaan struktur atas bangunan Apartemen The Bliss adalah sebagai berikut:

a. Beton

Tabel berikut menyajikan nilai kuat tekan beton (f'_c) yang direncanakan untuk digunakan pada elemen balok dalam sistem struktur bangunan. Penentuan kuat tekan beton dilakukan berdasarkan fungsi struktural balok, klasifikasi beban yang dipikul, serta ketentuan mutu sesuai standar SNI 2847:2019.

Tabel 3.1: Kuat tekan beton yang direncanakan pada balok.

Lantai	Fc' Beton
Dasar	40 Mpa
1-10	40 Mpa
11-23	40 Mpa

Tabel 3.2: Kuat tekan beton yang direncanakan pada kolom.

Lantai	Fc' Beton
Dasar	40 Mpa
1-10	40 Mpa
11-23	40 MPa

b. Baja Tulangan

Baja tulangan merupakan komponen utama dalam elemen beton bertulang, berperan penting dalam menahan gaya tarik dan meminimalkan retak akibat beban lentur, aksial, maupun geser. Pemilihan tipe dan mutu baja tulangan dirancang sesuai dengan fungsi struktural, klasifikasi elemen, serta standar mutu bangunan seperti SNI 2847:2019

- Tulangan utama (BJTS 420B):
Tegangan leleh minimum (f_y) : 420 MPa.
Tegangan putus minimum (f_u) : 545 MPa.
- Tulangan sengkang (BJTS 280):
Tegangan leleh minimum (f_y) : 280 MPa.
Tegangan putus minimum (f_u) : 350 MPa.

3.2.2.3 Menentukan Elemen Struktur Besmen

a. Kolom Lantai Besmen

Tabel ini menyajikan spesifikasi dimensi dan konfigurasi tulangan untuk kolom-kolom yang terletak di lantai basement bangunan. Karena kolom basement berfungsi menahan beban vertikal dari seluruh struktur di atasnya sekaligus gaya lateral dari dinding basement dan tanah sekitar, maka perencanaannya mempertimbangkan faktor kekakuan, kekuatan tekan, dan detailing tulangan yang ketat.

Tabel 3.3: Kolom KB besmen 1 dan 2

Lantai	Kolom (KB)	Tulangan utama	Tulangan Sengkang
	(m)	(mm)	(mm)
Base 2	1,6 x 1,6	36 D32	D13-150
Base 1	1,6 x 1,7	37 D32	D13-150

Tabel 3.4: Kolom K2 besmen 1 dan 2

Lantai	Kolom (K2)	Tulangan utama	Tulangan Sengkang
	(m)	(mm)	(mm)
Base 1 dan 2	1 x 1,2	28 D25	D13-150

b. Balok Lantai Besmen

Tabel ini menyajikan rincian dimensi penampang dan konfigurasi tulangan untuk balok-balok yang berada di area basement struktur bangunan. Balok basement merupakan elemen penting dalam sistem pemikul beban gravitasi dan gaya lateral, sekaligus berfungsi sebagai pengaku horizontal terhadap tekanan tanah dari dinding basement.

Tabel 3.5: Balok lantai besmen 1 dan 2

Lantai	Balok Utama B1	Balok Utama B2	Balok Utama B4	Balok Utama BA1	Balok Anak BA
	(m)	(m)	(mm)	(m)	(m)
Base 1 dan 2	0,5 x 0,8	0,9 x 0,6	0,7 x 1	0,5 x 0,8	0,3 x 0,6

Tabel 3.6: Balok lantai ground

Lantai	Balok Utama B1	Balok Utama B2	Balok Utama B4	Balok Utama BA1	Balok Anak BA
	(m)	(m)	(mm)	(m)	(m)
Ground	0,5 x 0,8	0,9 x 0,6	0,7 x 1	0,5 x 0,8	0,3 x 0,6

Tabel 3.7: Balok lantai besmen 1 dan 2

Lantai	Balok Utama B1	Balok Utama B2	Balok Utama B4	Balok Utama BA1	Balok Utama BA
	(m)	(m)	(mm)	(m)	(m)
Base 1 dan 2	10 D25 (Tumpuan lapangan; atas dan bawah)	10 D25 (Tumpuan lapangan; atas dan bawah)	20 D25 (Tumpuan lapangan; atas dan bawah)	10 D25 (Tumpuan lapangan; atas dan bawah)	10 D16 (Tumpuan lapangan; atas dan bawah)

Tabel berikut menampilkan spesifikasi tebal pelat lantai yang digunakan pada area basement bangunan. Penentuan tebal pelat dilakukan berdasarkan analisis struktural terhadap beban gravitasi, tekanan lateral tanah, serta kondisi eksisting tanah dasar.

Tabel 3.8: Lantai Base

Lantai	Tebal Pelat (cm)
Base 3	60
Base 2	15
Base 1	15

Tabel ini menyajikan spesifikasi tebal dinding geser yang digunakan pada area basement bangunan, yang berperan ganda sebagai elemen struktural penahan gaya lateral gempa serta tekanan tanah dari samping. Dalam sistem struktur tahan gempa, khususnya dengan penerapan SRPMK atau Sistem Ganda, dinding geser basement menjadi komponen kaku yang mengarahkan gaya lateral menuju fondasi.

Tabel 3.9: Dinding Geser

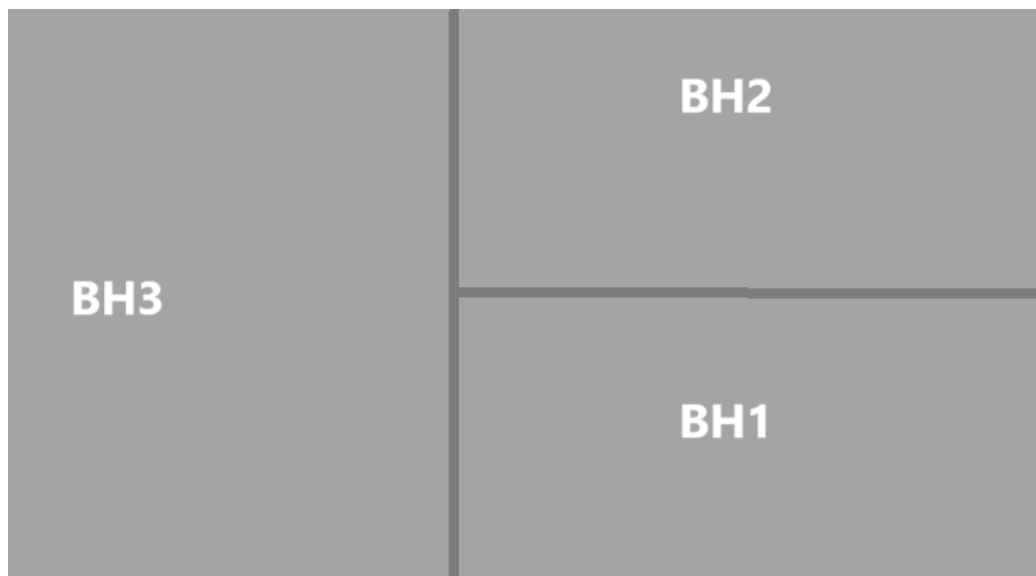
Lantai	Tebal Dinding (cm)
Base 2	60
Base 1	60

3.2.2.4 Kombinasi Pembebanan

Desain struktur mengutamakan keamanan dan stabilitas melalui penerapan kombinasi pembebanan. Metode ini menggabungkan beragam beban (misal: beban mati, hidup, tekanan tanah, gempa) yang telah dikalikan faktor beban sesuai SNI 1727:2020.

3.2.2.5 Desain Fondasi Tiang Bor

Denah pondasi dapat menampilkan penempatan yang akurat setiap tiang bor di bawah kolom-kolom struktur, serta dimensi dan jarak antar tiang yang telah dioptimalkan. Untuk memberikan gambaran yang jelas dari tata letak dan penempatan pondasi tiang bor berdasarkan data sondir akan disajikan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2: Sket Lokasi *Bore Hole* dan Sondir

Titik BH1: Kedalaman 30.15 nilai SPT 31

Titik BH2: Kedalaman 30.15 nilai SPT >60

Titik BH3: Kedalaman 30.15 nilai SPT >60

Perhitungan kapasitas tiang bor dilakukan menggunakan rumus meyerhof:

$$Q_{u \text{ tunggal}} = 40 \times N \times A$$

Dimana:

N = Nilai N-SPT.

A = Luas Penampang tiang.

$$Q_{izin \text{ tunggal}} = \frac{Q_{u \text{ Tunggal}}}{FK}$$

FK = Faktor Keamanan = 3

Kapasitas izin tiang bor dapat ditambah sebesar 30 %:

$$Q_{izin \text{ 130\%}} = 1,3 Q_{izin \text{ tunggal}}$$

Perhitungan efisiensi tiang bor dilakukan menggunakan rumus Converse – Labarre (Braja, 1995; Terzaghi and Peck 1987; Sosrodarsono, dkk., 2000).

$$E_g = 1 - \Theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \times m \times n}$$

E_g = Efisiensi kelompok tiang

Θ = arc tg (D/s), dalam derajat

M = jumlah baris tiang

n = jumlah tiang dalam satu baris

D = Diameter tiang= 1 meter

S = jarak pusat ke pusat tiang= 2,5 D

Perhitungan kapasitas tiang grup:

$$Q_{izin \text{ Grup}} = n \times E_g \times Q_{izin \text{ tiang tunggal}}$$

E_g = Efisiensi kelompok tiang

Θ = arc tg (D/s), dalam derajat

n = jumlah pile yang digunakan

3.2.2.6 Desain Fondasi Rakit

Pondasi rakit/*raft*, atau dikenal juga sebagai pondasi pelat (*mat foundation*), merupakan sistem pondasi dangkal yang dirancang sebagai satu kesatuan pelat beton bertulang berukuran besar. Berbeda dengan pondasi individual yang menopang masing-masing kolom, *raft foundation* bekerja dengan cara menyatukan dan mendistribusikan seluruh beban struktur secara merata ke area tanah yang jauh lebih luas. Ibarat sebuah rakit yang mengapung di permukaan air, strategi ini bertujuan untuk meminimalkan tekanan yang diterima oleh tanah di bawahnya.

Untuk menghitung kapasitas fondasi raft dengan bentuk persegi panjang, Terzaghi memberikan formula sederhana sebagai berikut:

$$q_u = c \times N_c(1 + 0,3 B/L) + q \times N_q + 0,5 \times B \times N_\gamma \times \left(1 - 0,2 \times \left(\frac{33}{64}\right)\right)$$

$$q_u = 10,19 \times 11,12 + 0,5 \times 33 \times 19,13 \times \left(1 - 0,2 \times \left(\frac{33}{64}\right)\right)$$

$$q_u = 2846 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{izin} = \frac{q_u}{FK}$$

Dimana :

C = kohesi (kN/m²) = 0

B = lebar alas fondasi (m) = 33 meter

L = lebar alas fondasi (m) = 64 meter

N_c = 37,16

N_q = 22,46

N_γ = 19,13

Φ = 30°

q = γ' . D_f

D_f = 11,2 meter

γ' = 10,19 kN/m³

3.2.2.7 Desain Fondasi Tiang-Rakit

Pada perhitungan ini, data- data yang digunakan sebagai berikut:

- Tebal pelat rakit: 70 cm
- Pile menggunakan diameter 100 cm (D100)
- Jarak antar pile dari as ke as: 2,5 D (2,5 m)
- Panjang Tiang: 20 m

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dan Parameter Awal Perencanaan

Perencanaan struktur bawah Apartemen The Bliss di Kota Medan disusun dengan mengacu pada spesifikasi bangunan dan material yang telah dijelaskan pada Bab 3. Pada bagian ini, akan dipaparkan parameter teknis tambahan yang digunakan dalam analisis struktur bawah, khususnya yang berkaitan dengan perhitungan beban, parameter seismik, serta data tanah.

4.1.1 Data Desain Spektra

Berdasarkan SNI 1726:2019, didapatkan data desain spektra sebagai berikut:

Daerah = Kota Medan

Jenis Tanah = Tanah Lunak (SE)

Nilai Percepatan Gempa Dasar:

PGA (g) = 0,304

$S_s = 0,656$

$S_1 = 0,3634$

$F_a = 1,450$

Tabel 4.1: Koefisien Situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) yang terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \leq 1,5$
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	$SS^{(a)}$					

Tabel 4.2: Koefisien Situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) yang terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \leq 0,6$
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	$S_s^{(a)}$					

$$F_v = 2,546$$

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 1,450 \times 0,656 \\ &= 0,951 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \times S_1 \\ &= 2,456 \times 0,3634 \\ &= 0,925 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \\ &= \frac{2}{3} \times 0,951 \\ &= 0,634 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{M1} \\ &= \frac{2}{3} \times 0,925 \\ &= 0,617 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 \times S_{DS} / S_{D1} \\ &= 0,2 \times 0,634 / 0,617 \\ &= 0,195 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= S_{D1} / S_{Ds} \\ &= 0,617 / 0,634 \\ &= 0,973 \end{aligned}$$

$$T_L = 20 \text{ detik (Berdasarkan SNI 1726:2019 pada Gambar 20)}$$

4.1.2 Parameter Gempa

Parameter gempa untuk data didapatkan berdasarkan SNI 1726:2019, yaitu tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung:

- Jenis pemanfaatan bangunan: Gedung Apartemen
- Kategori risiko = II
- Faktor keutamaan gempa (I_e) = 1,25
- Tinggi gedung (H) = 121,5 m

Tabel 4.3: Kategori risiko bangunan

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:		I
-	Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan	
-	Fasilitas sementara	
-	Gudang penyimpanan	
-	Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:		II
-	Perumahan	
-	Rumah toko dan rumah kantor	
-	Pasar	
-	Gedung perkantoran	
-	Gedung apartemen/ rumah susun	
-	Pusat perbelanjaan/ mall	
-	Bangunan industri	
-	Fasilitas manufaktur	
-	Pabrik	
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:		III
-	Bioskop	
-	Gedung pertemuan	
-	Stadion	
-	Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat	
-	Fasilitas penitipan anak	
-	Penjara	
-	Bangunan untuk orang jompo	

Tabel 4.3: *Lanjutan*

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:		III
-	Pusat pembangkit listrik biasa	
-	Fasilitas penanganan air	
-	Fasilitas penanganan limbah	
-	Pusat telekomunikasi	
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.		
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:		IV
-	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	

Tabel berikut menampilkan faktor keutamaan gempa (I_e) yang digunakan dalam perhitungan gaya geser dasar dan analisis seismik pada struktur bangunan. Nilai I_e ditetapkan berdasarkan klasifikasi fungsi bangunan, tingkat risiko, dan pentingnya bangunan dalam konteks keselamatan umum, sebagaimana diatur dalam SNI 1726:2019.

Tabel 4.4: Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

Pada desain struktur harus menentukan tinggi antar lantai yang direncanakan agar dapat dimasukkan ke dalam aplikasi analisa struktur, berikut adalah data elevasi tiap lantai pada struktur yang direncanakan:

Tabel 4.5: Elevasi antartingkat gedung

Tingkat	Tinggi (m)	Elevasi (m)
Lt.23 Area Kolam	4,5	118,5
Lt.22 Rooftop	4,5	114
Lt.21	4,5	109,5
Lt.20	4,5	105
Lt.19	4,5	100,5
Lt.18	4,5	96
Lt.17	4,5	91,5
Lt.16	4,5	87
Lt.15	4,5	82,5
Lt.14	4,5	78
Lt.13	4,5	73,5
Lt.12	4,5	69
Lt.11	4,5	64,5
Lt.10	4,5	60
Lt.9	4,5	55,5
Lt.8	4,5	51
Lt.7	4,5	46,5
Lt.6	4,5	42
Lt.5	4,5	37,5
Lt.4	4,5	33
Lt.3	4,5	28,5
Lt.2	4,5	24
Lt.1	4,5	19,5

Tabel 4.5: *Lanjutan*

Lt. <i>Mezzanine</i>	4,5	15
Ground	3,5	10,5
Besmen 1	3,5	7
Besmen 2	3,5	3,5
Besmen 3		0

4.1.3 Kategori Desain Seismik

Tabel ini menyajikan klasifikasi kategori desain seismik untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung, sebagaimana ditentukan dalam SNI 1726:2019. Kategori desain seismik digunakan untuk menetapkan tingkat minimum performa struktur terhadap gempa bumi berdasarkan tingkat bahaya seismik dan risiko bangunan.

Tabel 4.6: Kategori desain seismik

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
$0,33 \leq S_{DS} < 0,5$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

4.1.4 Sistem Struktur

Sistem struktur yang dipilih pada bangunan adalah Sistem Ganda dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) berdasarkan SNI 1726:2019 (Tabel 12.C.5)

Faktor reduksi sistem struktur:

Koefisien Modifikasi Respon (R) = 7

Faktor Pembesaran Defleksi (C_d) = 5,5

Faktor Kuat Lebih Sistem (Ω_0) = 2,5

4.1.5 Data Beban

Beban yang digunakan dalam analisis struktur meliputi beban mati, beban hidup, beban kubah, beban gempa, serta beban angin berdasarkan SNI 1726:2019 dan SNI 1727:2020. Berikut beban mati dan beban hidup yang digunakan dalam perhitungan:

Tabel 4.7: Beban yang digunakan

Fungsi	Beban (kg/m ²)	
	SIDL	Live
Area Servis	120	192
Balkon	120	479
Buffer Tank	120	479
Dapur	120	192
Gudang	120	1197
Gym	120	479
Hall/Aula	120	479
Kantor	120	240
Kolam Renang	120	792
Koridor	120	383
Lantai	120	479
Lobby	120	479
Lobby Lift	120	479
Lobby Lift Base	-35	479
Lt Dasar Basement	-35	192
Mushola	120	479
Naik-Turun	120	192
Parkir	120	192
Parkir Base	-35	192
Playground	120	479
R. Tidur	120	192
R. Binatu	120	479
R. Genset	120	479
R. Keluarga	120	192
R. Makan/Dapur	120	479
R. PPPSRS	120	479
R. Serbaguna	120	479
Ramp	120	192
Ramp Base	-35	192
Ruang ME	-35	1197
Taman	120	479
Tenant	120	479
Toilet	120	192

4.1.6 Data Tanah

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium menyajikan parameter teknis tanah yang relevan untuk perencanaan konstruksi. Data ini menjadi acuan utama dalam perhitungan desain pondasi dan struktur penahan tanah.

4.2 Permodelan struktur

Pemodelan struktur Apartemen The Bliss dilakukan menggunakan perangkat lunak analisa struktur. Struktur dimodelkan untuk menganalisis pembebanan yang terjadi pada struktur bawah.

4.3 Desain Besmen

Setelah dimensi awal elemen-elemen basement (dinding, pelat lantai bawah, dan pelat atap basement) ditetapkan dan analisis struktur telah menghasilkan gaya-gaya internal (momen lentur, gaya geser, dan gaya aksial), langkah krusial berikutnya adalah merancang tulangan baja yang diperlukan. Tulangan baja berfungsi untuk menahan gaya tarik yang tidak dapat dipikul oleh beton, meningkatkan daktilitas struktur, dan mencegah retak yang berlebihan. Desain tulangan harus memenuhi persyaratan kekuatan dan layan yang ditetapkan dalam standar beton bertulang, yaitu SNI 2847:2020. Berikut adalah cara menghitung kebutuhan tulangan balok dan kolom yang diperlukan pada besmen menggunakan bantuan aplikasi:

Tabel 4.8: Tulangan tumpuan pada balok B1

TABLE: Concrete Beam Flexure Envelope - ACI 318-14							
Story	Section	(-) Moment	(-) Combo	As Top	(+) Moment	(+) Combo	As Bot
		kN-m		mm ²	kN-m		mm ²
Lt.23 Area Kolam	B1	-1,3708	ENV ASD K	7	157,0569	ENV LRFD	756

Tulangan yang direncanakan menggunakan diameter 25 mm, dihitung luas dari tulangan:

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan D25} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 25^2 \\ &= 490,8739 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tulangan Atas} &= \frac{\text{As Top}}{\text{Luas Tulangan D25}} \\ &= \frac{7}{490,8739} \\ &= 0,0142603 \text{ (Dibulatkan menjadi 1 tulangan)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tulangan Bawah} &= \frac{\text{As Bot}}{\text{Luas Tulangan D25}} \\ &= \frac{756}{490,8739} \\ &= 1,5401106 \text{ (Dibulatkan menjadi 2 tulangan)}\end{aligned}$$

Nilai diatas dihitung secara keseluruhan dari lantai teratas hingga besmen, kemudian diambil tulangan maksimum yang dibutuhkan pada tabel, sehingga diperoleh data kebutuhan tulangan sebagai berikut:

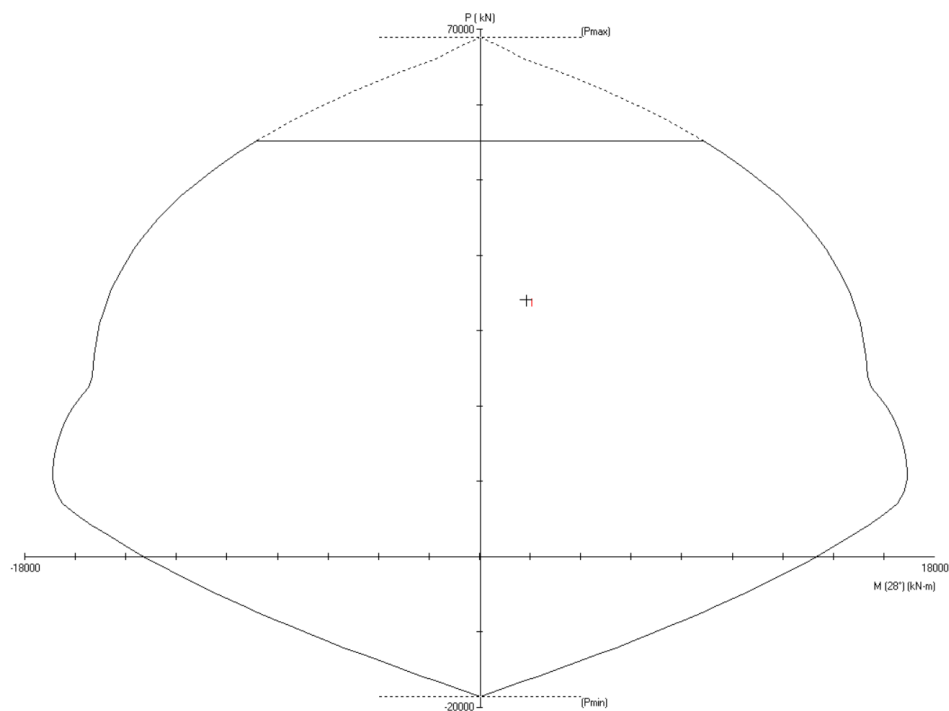
Tabel 4.9: Tulangan utama pada balok besmen

TULANGAN UTAMA MENGGUNAKAN D 25 UNTUK SEMUA LANTAI				
BALOK	JLH.TULANGAN (TUMPUAN)		JLH.TULANGAN (LAPANGAN)	
	ATAS	BAWAH	ATAS	BAWAH
B1	13	11	8	11
B2	17	21	10	16
BW	26	27	17	16
BA-1	3	3	2	3
B4	22	11	8	11

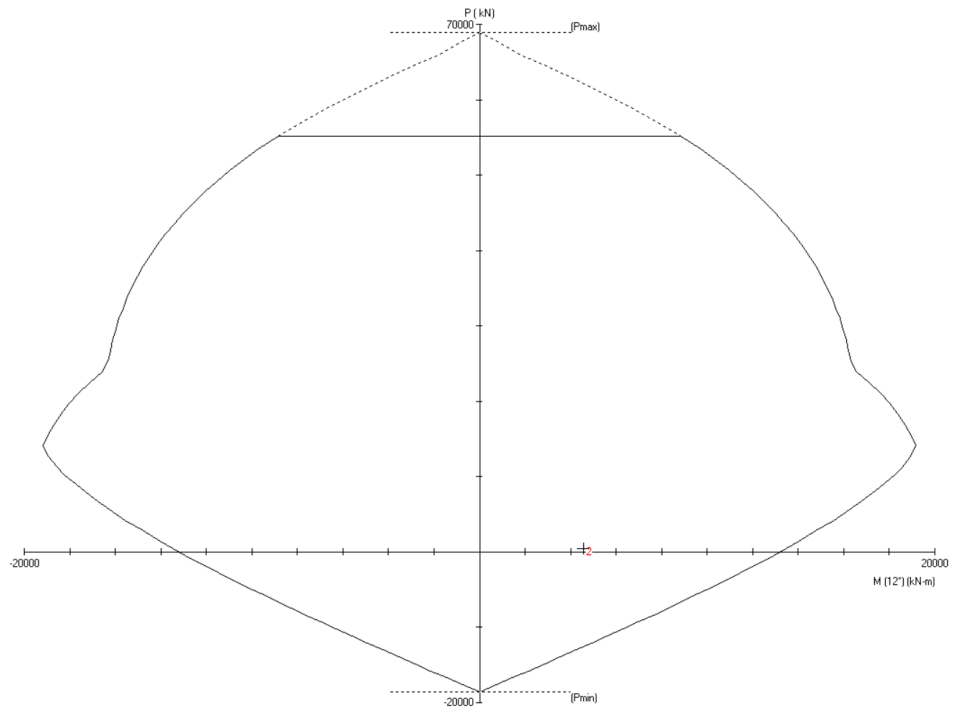
Tabel 4.10: Tulangan sengkang pada balok besmen

TULANGAN SENGKANG MENGGUNAKAN D 13 UNTUK SEMUA LANTAI		
BALOK	SPASI SENGKANG TUMPUAN	SPASI SNGKANG LAPANGAN
	mm	mm
B1	13	14
B2	15	15
BW	15	15
BA-1	167	167
B4	13	14

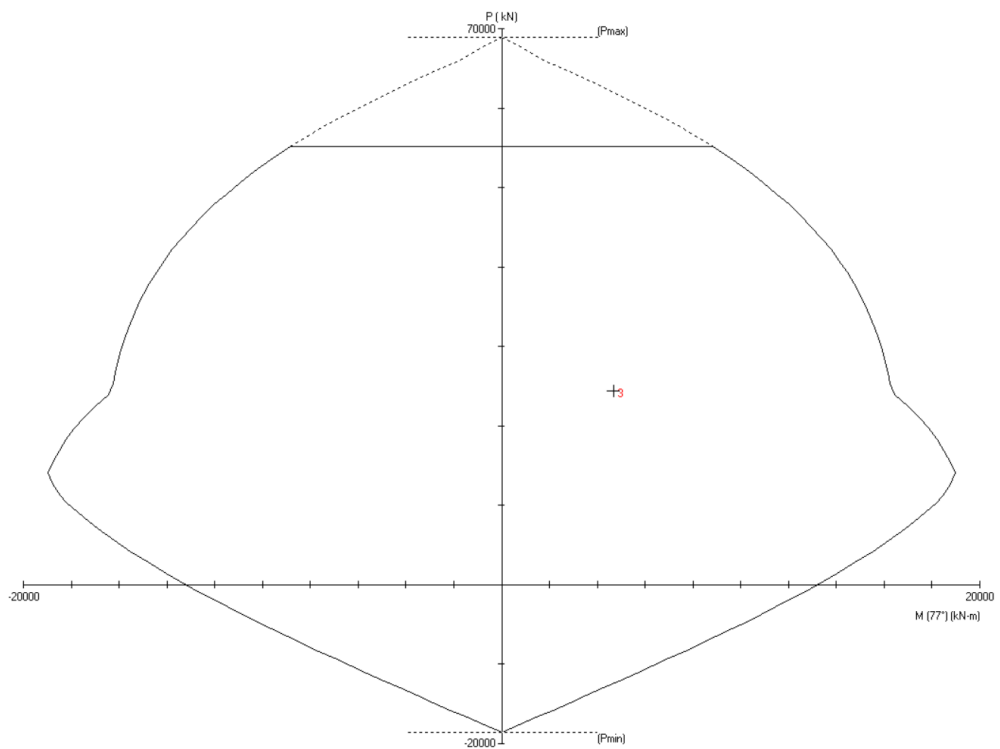
Desain kolom besmen dapat ditinjau dengan menggunakan bantuan aplikasi pca column dengan memasukkan beban dan momen maksimum yang terjadi pada struktur, sehingga didapatkan diagram sebagai berikut:



Gambar 4.1: Kolom besmen pada P maksimum



Gambar 4.2: Kolom besmen pada M2 maksimum



Gambar 4.3: Kolom besmen pada M3 maksimum

4.4 Desain Fondasi Tiang Bor

Fondasi tiang bor (*bored pile foundation*) adalah jenis fondasi dalam yang berfungsi untuk mentransfer beban dari struktur atas ke lapisan tanah yang lebih dalam dan kuat. Berbeda dengan tiang pancang yang dipukul masuk ke tanah, tiang bor dibuat dengan cara mengebor lubang di dalam tanah, lalu memasukkan tulangan besi, dan kemudian mengecor lubang tersebut dengan beton. Proses ini menciptakan tiang beton bertulang yang kuat dan kokoh di bawah permukaan tanah.

4.4.1 Data N-SPT

Untuk analisis lebih lanjut, Tabel 4.11 menyajikan perhitungan nilai N rata-rata dari data SPT pada setiap lapisan tanah. Nilai rata-rata ini digunakan untuk merepresentasikan karakteristik umum lapisan tersebut.

Tabel 4.11: Tabel Perhitungan N-rata-rata N-SPT

Kedalaman (m)	BH1	N rata-rata	BH2	N rata-rata	BH3	N rata-rata
2 s/d 2,45	8	8,00	6	6,00	4	4,00
4 s/d 4,45	6	7,00	5	5,50	6	5,00
6 s/d 6,45	16	10,00	14	8,33	12	7,33
8 s/d 8,45	4	8,50	4	7,25	5	6,75
10 s/d 10,45	19	10,60	17	9,20	17	8,80
12 s/d 12,45	13	11,00	8	9,00	9	8,83
14 s/d 14,45	18	12,00	16	10,00	13	9,43
16 s/d 16,45	9	11,63	11	10,13	12	9,75
18 s/d 18,45	21	12,67	25	11,78	28	11,78
20 s/d 20,45	9	12,30	12	11,80	14	12,00
22 s/d 22,45	11	12,18	16	12,18	21	12,82
24 s/d 24,45	13	12,25	22	13,00	34	14,58
26 s/d 26,45	34	13,92	59	16,54	53	17,54
28 s/d 28,45	30	15,07	60	19,64	60	20,57
30 s/d 30,45	31	16,13	70	23,00	70	23,87
Total	242		345		358	
Rata-rata	16,13		21,56		22,38	

4.4.2 Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal Meyerhoff

Perhitungan kapasitas tiang bor dilakukan menggunakan rumus meyerhoff:

$$Q_u \text{ tunggal} = 40 \times N\text{-SPT} \times A_b$$

Keterangan:

$$Q_u = \text{Daya pikul bore pile} \quad (\text{Ton/tiang})$$

$$N\text{-SPT} = \text{Nilai N-SPT} \quad (\text{m})$$

$$A_b = \text{Luas Penampang Tiang} \quad (\text{m}^2)$$

$$Q \text{ izin Tunggal} = \frac{Q_u \text{ tunggal}}{FK}$$

Keterangan:

$$Q \text{ izin} = \text{Daya pikul izin bore pile} \quad (\text{Ton/Tiang})$$

$$FK = \text{Faktor Keamanan} = 3$$

$$Q \text{ izin } 130\% = 1,3 \text{ } Q \text{ izin tunggal}$$

Perhitungan BH1

$$\text{Diameter Pile} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman Pile} = 20 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas BH1} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \\ &= 0,79 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u \text{ tunggal} &= 40 \times N\text{-SPT BH1} \times A_b \text{ BH1} \\ &= 40 \times 31 \times 0,79 \\ &= 973,89 \text{ Ton/Tiang} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q \text{ izin tunggal} &= \frac{Q_u \text{ tunggal}}{FK} \\ &= \frac{973,89}{3} \\ &= 324,63 \text{ Ton/Tiang} \end{aligned}$$

Kapasitas izin tiang bor dapat ditambah sebesar 30%

$$\begin{aligned}Q \text{ izin } 130\% &= 1,3 \times Q \text{ izin tunggal} \\&= 1,3 \times 324,63 \\&= 422,02 \text{ Ton (Diubah ke satuan kN} = 9,81 \text{ m}^2) \\&= 4140,02 \text{ kN}\end{aligned}$$

Perhitungan BH2

$$\text{Diameter Pile} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman Pile} = 20 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas BH2} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\&= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \\&= 0,79 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_u \text{ tunggal} &= 40 \times N\text{-SPT BH2} \times A_b \text{ BH2} \\&= 40 \times 70 \times 0,79 \\&= 2199,11 \text{ Ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q \text{ izin tunggal} &= \frac{Q_u \text{ tunggal}}{FK} \\&= \frac{2199,11}{3} \\&= 733,04 \text{ Ton}\end{aligned}$$

Kapasitas izin tiang bor dapat ditambah sebesar 30%

$$\begin{aligned}Q \text{ izin } 130\% &= 1,3 \times Q \text{ izin tunggal} \\&= 1,3 \times 733,04 \\&= 925,95 \text{ Ton (Diubah ke satuan kN} = 9,81 \text{ m}^2) \\&= 9348,44 \text{ kN}\end{aligned}$$

Perhitungan BH3

$$\text{Diameter Pile} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman Pile} = 20 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas BH3} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\&= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \\&= 0,79 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q_{\text{tunggal}} &= 40 \times N\text{-SPT BH3} \times A_b \text{ BH3} \\
&= 40 \times 70 \times 0,79 \\
&= 2199,11 \text{ Ton}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q_{\text{izin tunggal}} &= \frac{Q_{\text{tunggal}}}{FK} \\
&= \frac{2199,11}{3} \\
&= 733,04 \text{ Ton}
\end{aligned}$$

Kapasitas izin tiang bor bor dapat ditambah sebesar 30%

$$\begin{aligned}
Q_{\text{izin 130\%}} &= 1,3 \times Q_{\text{izin tunggal}} \\
&= 1,3 \times 733,04 \\
&= 925,95 \text{ Ton (Diubah ke satuan kN} = 9,81 \text{ m}^2\text{)} \\
&= 9348,44 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Dari kombinasi pembebanan diatas, diambil *base reaction* yang terjadi pada lantai dasar atau besmen 3 dan diambil gaya yang aksial yang terjadi, nilai tersebut didapatkan dari pembebanan yang terjadi dari struktur atas, kemudian diteruskan ke lantai dasar, sehingga didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.12: *Base reaction* lantai besmen 3

Level	Joint Number	Load Combination	F aksial = Fz
			kN
Besmen 3	1	ENV ASD K	3252,8734
Besmen 3	2	ENV ASD K	26485,3686
Besmen 3	3	ENV ASD K	26976,7737
Besmen 3	4	ENV ASD K	26743,1628
Besmen 3	5	ENV ASD K	23279,2244
Besmen 3	6	ENV ASD K	26320,5521
Besmen 3	7	ENV ASD K	26532,8309
Besmen 3	8	ENV ASD K	25682,3567
Besmen 3	9	ENV ASD K	3150,1121
Besmen 3	10	ENV ASD K	3086,3112
Besmen 3	11	ENV ASD K	26041,6254
Besmen 3	12	ENV ASD K	25137,2238
Besmen 3	13	ENV ASD K	27092,4892
Besmen 3	14	ENV ASD K	27561,4644
Besmen 3	15	ENV ASD K	26027,7244
Besmen 3	16	ENV ASD K	24167,879
Besmen 3	17	ENV ASD K	25619,6467

Tabel 4.12: *Lanjutan*

Besmen 3	18	ENV ASD K	3477,1769
Besmen 3	19	ENV ASD K	957,834
Besmen 3	20	ENV ASD K	3954,5364
Besmen 3	21	ENV ASD K	38608,0473
Besmen 3	22	ENV ASD K	16809,973
Besmen 3	23	ENV ASD K	27251,4733
Besmen 3	24	ENV ASD K	26531,5921
Besmen 3	25	ENV ASD K	23328,5748
Besmen 3	26	ENV ASD K	23152,7119
Besmen 3	27	ENV ASD K	27582,7775
Besmen 3	28	ENV ASD K	16918,2019
Besmen 3	29	ENV ASD K	38470,1262
Besmen 3	30	ENV ASD K	3916,3235
Besmen 3	31	ENV ASD K	3961,1252
Besmen 3	32	ENV ASD K	38251,7157
Besmen 3	33	ENV ASD K	17386,7028
Besmen 3	34	ENV ASD K	27836,2962
Besmen 3	35	ENV ASD K	26981,2689
Besmen 3	36	ENV ASD K	23913,2564
Besmen 3	37	ENV ASD K	23599,2683
Besmen 3	38	ENV ASD K	28181,1049
Besmen 3	39	ENV ASD K	17285,7913
Besmen 3	40	ENV ASD K	37807,2317
Besmen 3	41	ENV ASD K	4014,0052
Besmen 3	42	ENV ASD K	945,1745
Besmen 3	43	ENV ASD K	3100,8171
Besmen 3	44	ENV ASD K	24464,1656
Besmen 3	45	ENV ASD K	23793,6618
Besmen 3	46	ENV ASD K	25901,4392
Besmen 3	47	ENV ASD K	26328,8273
Besmen 3	48	ENV ASD K	25182,7601
Besmen 3	49	ENV ASD K	23630,464
Besmen 3	50	ENV ASD K	24881,525
Besmen 3	51	ENV ASD K	3575,4941
Besmen 3	52	ENV ASD K	3249,6473
Besmen 3	53	ENV ASD K	24668,5533
Besmen 3	54	ENV ASD K	26168,4788
Besmen 3	55	ENV ASD K	26055,9357
Besmen 3	56	ENV ASD K	22273,8288
Besmen 3	57	ENV ASD K	25762,3363
Besmen 3	58	ENV ASD K	25989,8423
Besmen 3	59	ENV ASD K	24595,8602
Besmen 3	60	ENV ASD K	3133,5437



Gambar 4.4: Joint number base reaction

4.4.3 Konfigurasi tiang bor

$$Q \text{ izin tunggal} = \frac{Q_{u \text{ tunggal}}}{FK}$$

FK = faktor keamanan = 3

Kapasitas izin tiang bor dapat ditambah sebesar 30%.

Maka:

$$Q \text{ izin } 130\% = 1,3 Q \text{ izin tunggal}$$

Perhitungan efisiensi bor dilakukan menggunakan rumus Converse–Labarre (Braja, 1995; Terzaghi and Peck 1987; Sosrodarsono et al., 2000).

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

Keterangan:

E_g = Efisiensi kelompok tiang

Θ = arc tg (D/s), dalam derajat

m = jumlah baris tiang

n = jumlah tiang dalam satu baris

D = Diameter tiang = 1 meter

s = jarak pusat ke pusat tiang = 2,5 D

Perhitungan kapasitas tiang grup:

$$Q \text{ ijin Grup} = n \times E_g \times Q \text{ ijin tunggal}$$

Keterangan:

E_g = Efisiensi kelompok tiang

Θ = $\arctan d/s$, dalam derajat

n = jumlah pile yang digunakan

Perhitungan efisiensi tiang dilakukan untuk mengevaluasi seberapa optimal sistem fondasi dalam menahan beban yang bekerja dibandingkan kapasitas teoritis tiang. Efisiensi ini menjadi indikator penting dalam merancang kelompok tiang agar distribusi beban tetap aman dan ekonomis. Faktor-faktor seperti jarak antar tiang, interaksi antar tiang dan jenis tanah sangat memengaruhi nilai efisiensi.

Untuk memperjelas analisis, dibuat tabel efisiensi tiang yang telah dihitung berdasarkan rumus Converse-Labarre sebagai berikut:

Tabel 4.13: Efisiensi 2 tiang

Efisiensi 2 tiang	
D	0,8
d	2
D/d	0,4
Θ	21,80140949
n	2
m	1
E_g	0,879

Tabel 4.14: Efisiensi 4 tiang

Efisiensi 4 tiang	
D	0,8
d	2
D/d	0,4
Θ	21,80140949
n	2
m	2
E_g	0,758

Tabel 4.15: Efisiensi 6 tiang

Efisiensi 6 tiang	
D	0,8
d	2
D/d	0,4
Θ	21,80140949
n	3
m	2
Eg	0,717

Tabel 4.16: Efisiensi 8 tiang

Efisiensi 8 tiang	
D	0,8
d	2
D/d	0,4
Θ	21,80141
n	4
m	2
Eg	0,697

Tabel 4.17: Efisiensi 9 tiang

Efisiensi 9 tiang	
D	0,8
d	2
D/d	0,4
Θ	21,8014095
n	3
m	3
Eg	0,677

Tabel 4.18: Efisiensi 10 tiang

Efisiensi 10 tiang	
D	0,8
d	2
D/d	0,4
Θ	21,80140949
n	5
m	2
Eg	0,685

Tabel 4.19: Efisiensi 12 tiang

Efisiensi 12 tiang	
D	0,8
d	2
D/d	0,4
Θ	21,80140949
n	4
m	3
Eg	0,657

Tabel 4.20: Efisiensi 14 tiang

Efisiensi 14 tiang	
D	0,8
d	2
D/d	0,4
Θ	21,80140949
n	7
m	2
Eg	0,671

Tabel 4.21: Efisiensi 15 tiang

Efisiensi 15 tiang	
D	0,8
d	2
D/d	0,4
Θ	21,80141
n	5
m	3
Eg	0,645

Tabel 4.22: Efisiensi 16 tiang

Efisiensi 16 tiang	
D	0,8
d	2
D/d	0,4
Θ	21,8014095
n	4
m	4
Eg	0,637

Tabel 4.23: Efisiensi 20 tiang

Efisiensi 20 tiang	
D	0,8
d	2
D/d	0,4
Θ	21,80140949
n	5
m	4
Eg	0,625

Tabel 4.24: Efisiensi 24 tiang

Efisiensi 24 tiang	
D	0,8
d	2
D/d	0,4
Θ	21,80140949
n	6
m	4
Eg	0,616

Tabel 4.25: Efisiensi 30 tiang

Efisiensi 30 tiang	
D	0,8
d	2
D/d	0,4
Θ	21,80140949
n	6
m	5
Eg	0,604

Tabel 4.26: Efisiensi 32 tiang

Efisiensi 32 tiang	
D	0,8
d	2
D/d	0,4
Θ	21,80141
n	8
m	4
Eg	0,606

Tabel 4.27: Efisiensi 36 tiang

Efisiensi 36 tiang	
D	0,8
d	2
D/d	0,4
Θ	21,8014095
n	6
m	6
Eg	0,596

Hasil evaluasi terhadap gaya aksial ganda pada berbagai konfigurasi jumlah tiang bor dirangkum dalam tabel Jumlah Tiang Bor terhadap Gaya Aksial Ganda, yang bertujuan untuk membantu perancang menentukan jumlah dan susunan tiang yang paling efisien dan aman berdasarkan beban rencana dan kondisi tanah.

Tabel 4.28: Jumlah tiang bor gaya aksial sistem ganda

No, Join	Tambahan Q all 30%	Daerah pengaruh borehole	F Axial/ Q all	n	Efisiensi labare	Q grup (kN)	Jumlah Pile yang diperlukan	
1	9348,4	BH 3	0,347	1	1,000	9348,43 ₇	1	1
2	9348,4	BH 3	2,833	3	0,757	21251,6 ₇₄	3,726	4
3	9348,4	BH 3	2,885	3	0,757	21251,6 ₇₄	3,726	4
4	9348,4	BH 3	2,860	3	0,757	21251,6 ₇₄	3,726	4
5	4140,0	BH 1	5,622	6	0,757	18822,9 ₁₁	7,453	8
6	4140,0	BH 1	6,357	7	0,757	21960,0 ₆₃	8,695	9
7	4140,0	BH 1	6,408	7	0,757	21960,0 ₆₃	8,695	9
8	4140,0	BH 1	6,203	7	0,757	21960,0 ₆₃	8,695	9
9	4140,0	BH 1	0,760	1	1,000	4140,02 ₂	1	1
10	9348,4	BH 3	0,330	1	1,000	9348,43 ₇	1	1
11	9348,4	BH 3	2,785	3	0,757	21251,6 ₇₄	3,726	4
12	9348,4	BH 3	2,688	3	0,757	21251,6 ₇₄	3,726	4

Tabel 4.28: *Lanjutan*

No, Join	Tambah an Q all 30%	Daerah pengaru h borehole	F Axial/ Q all	n	Efisiensi labare	Q grup (kN)	Jumlah Pile yang diperlukan	
13	9348,4	BH 3	2,898	3	0,757	21251,6 74	3,726	4
14	4140,0	BH 1	6,657	7	0,697	20205,0 411	9,119	10
15	4140,0	BH 1	6,286	7	0,697	20205,0 411	9,119	10
16	4140,0	BH 1	5,837	6	0,757	18822,9 11	7,453	8
17	4140,0	BH 1	6,188	7	0,757	21960,0 6398	8,695	9
18	4140,0	BH 1	0,839	1	1,000	4140,02 2	1	1
19	9348,4	BH 3	0,102	1	1,000	9348,43 7	1	1
20	9348,4	BH 3	0,423	12	0,657	2580098 3,62	16,118	17
21	9348,4	BH 3	4,129			2741354 5,09		
22	9348,4	BH 3	1,798			2902610 6,57		
23	9348,4	BH 3	2,915	3	0,757	21251,6 74	3,726	4
24	4140,0	BH 1	6,408	7	0,697	20205,0 41	9,119	10
25	4140,0	BH 1	5,634	6	0,697	17318,6 06	7,816	8
26	4140,0	BH 1	5,592	23	0,616	58699,3 20	31,821	32
27	4140,0	BH 1	6,662			58699,3 20		
28	4140,0	BH 1	4,086			58699,3 20	31,821	
29	4140,0	BH 1	9,292	10	1,000	41400,2 22	10	10
30	9348,4	BH 3	0,418	1	1,000	9348,43 72	1	1
31	9348,4	BH 3	0,423	12	0,657	73683,9 71	16,118	17
32	9348,4	BH 3	4,091			73683,9 71		
33	9348,4	BH 3	1,859			73683,9 71		
34	9348,4	BH 3	2,977	3	0,757	21251,6 74	3,726	4

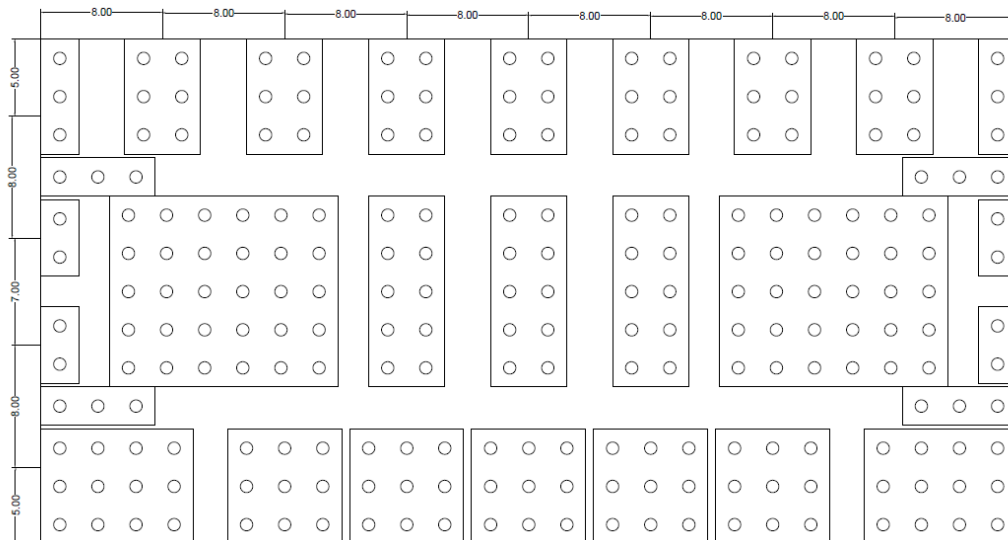
Tabel 4.28: *Lanjutan*

No, Join	Tam- ban Q all 30%	Daerah pengaruh borehole	F Axial/ Q all	n	Efisiensi labare	Q grup (kN)	Jumlah Pile yang diperlukan	
35	9348,4	BH 3	2,886	3	0,757	21251,6 74	3,726	4
36	9348,4	BH3	2,557	3	0,757	21251,6 74	3,726	4
37	9348,4	BH 3	2,524	12	0,657	73683,9 71	16,118	17
38	9348,4	BH 3	3,014			73683,9 71		
39	9348,4	BH 3	1,849			73683,9 71		
40	9348,4	BH 3	4,044	5	1,000	46742,1 86	5	5
41	9348,4	BH3	0,429	1	1,000	9348,43 7	1	1
42	9348,4	BH3	0,101	1	0,757	7083,89 1	1,242	2
43	9348,4	BH3	0,331	1	0,757	7083,89 1	1,242	2
44	9348,4	BH 2	2,616	3	0,757	21251,6 74	3,726	4
45	9348,4	BH 2	2,545	3	0,757	21251,6 74	3,726	4
46	9348,4	BH 2	2,770	3	0,757	21251,6 74	3,726	4
47	9348,4	BH 2	2,816	3	0,757	21251,6 74	3,726	4
48	9348,4	BH 2	2,693	3	0,757	21251,6 74	3,726	4
49	9348,4	BH 2	2,527	3	1,000	28045,3 1178	3	3
50	9348,4	BH3	2,661	3	1,000	28045,3 11	3	3
51	9348,4	BH3	0,382	1	0,757	7083,89 16	1,242	2
52	9348,4	BH3	0,347	1	0,757	7083,89 16	1,242	2
53	9348,4	BH 2	2,638	3	0,757	21251,6 74	3,726	4
54	9348,4	BH 2	2,799	3	0,757	21251,6 74	3,726	4
55	9348,4	BH 2	2,787	3	0,757	21251,6 74	3,726	4
56	9348,4	BH 2	2,382	3	0,757	21251,6 74	3,726	4
57	9348,4	BH 2	2,755	3	0,757	21251,6 74	3,726	4

Tabel 4.28: *Lanjutan*

No, Join	Tambahan Q all 30%	Daerah pengaruh borehole	F Axial/ Q all	n	Efisiensi labare	Q grup (kN)	Jumlah Pile yang diperlukan	
58	9348,4	BH 2	2,780	3	1,00	28045,3 11	3	3
59	9348,4	BH 2	2,631	3	1,00	28045,3 11	3	3
60	9348,4	BH 2	0,335	1	1,00	9348,43 7	1	1
Total pile sebelum efisiensi				225	Total pile setelah efisiensi		296	

Jumlah tiang yang diperlukan dapat dikurangi akibat kontribusi slab sebagai fondasi rakitan (25%), sesuai dengan SNI 8460:2017. Maka dipakai jumlah tiang sebesar 75% dari 296 pile yaitu 222 tiang. Susunan tiang ditunjukkan pada halaman berikutnya. Berdasarkan konfigurasi susunan pile diperlukan jumlah tiang sebanyak 222 tiang. Pembuktian kontribusi 25% slab sebagai fondasi rakitan dilakukan melalui pemodelan struktur.



Gambar 4.5: Denah Tiang Bor

Perencanaan fondasi dengan tiang bor memerlukan evaluasi mendalam terhadap jumlah tiang yang digunakan untuk mendukung sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Gaya aksial yang bekerja pada masing-masing tiang dipengaruhi oleh beberapa parameter, termasuk konfigurasi tiang, dimensi elemen struktur atas, serta beban gempa dan gravitasi yang ditransfer melalui kolom.

Dalam konteks ini, dilakukan perhitungan gaya aksial yang ditanggung oleh masing-masing tiang berdasarkan jumlah tiang dalam kelompok fondasi. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menentukan kapasitas dukung yang sesuai serta memastikan distribusi beban yang efisien dan aman sesuai dengan kriteria desain SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019.

Untuk memberikan gambaran lebih rinci, tabel jumlah tiang bor dan gaya aksial SRPMK disajikan berikut ini:

Tabel 4.29: Jumlah tiang bor gaya aksial SRPMK

No. Join	Tambahan Q all 30%	Daerah pengaruh borehole	F Axial/ Q all	n	Efisiensi labare	Q grup (kN)	Jumlah Pile yang diperlukan	
1	9348,4	BH 3	0,4285	1	1,000	9348,43 7	1	1
2	9348,4	BH 3	3,246	4	0,757	28335,5 66	4,968	5
3	9348,4	BH 3	3,435	4	0,757	28335,5 66	4,968	5
4	9348,4	BH 3	3,324	4	0,757	28335,5 66	4,968	5
5	4140,0	BH 1	6,560	7	0,757	21960,0 63	8,6956	9
6	4140,0	BH 1	7,517	8	0,757	25097,2 15	9,937	10
7	4140,0	BH 1	7,587	8	0,757	25097,2 1598	9,937	10
8	4140,0	BH 1	7,183	8	0,757	25097,2 15	9,937	10
9	4140,0	BH 1	0,966	1	1,000	4140,02 2	1	1
10	9348,4	BH 3	0,381	1	1,000	9348,43 7	1	1
11	9348,4	BH 3	3,045	4	0,757	28335,5 66	4,968	5
12	9348,4	BH 3	3,276	4	0,757	28335,5 66	4,968	5
13	9348,4	BH 3	3,298	4	0,757	28335,5 66	4,968	5
14	4140,0	BH 1	7,215	8	0,697	23091,4 75	10,422 38	11
15	4140,0	BH 1	7,384	8	0,697	23091,4 75	10,422	11
16	4140,0	BH 1	7,140	8	0,757	25097,2 15	9,937	10

Tabel 4.29: *Lanjutan*

No. Join	Tambahan Q all 30%	Daerah pengaruh borehole	F Axial/ Q all	n	Efisiensi labare	Q grup (kN)	Jumlah Pile yang diperlukan	
17	4140,0	BH 1	6,875	7	0,757	21960,0 63	8,695	9
18	4140,0	BH 1	0,939	1	1,000	4140,02 2215	1	1
19	9348,4	BH 3	0,111	1	1,000	9348,43 7	1	1
20	9348,4	BH 3	0,406	12	0,657	444446 51,65	16,118	17
21	9348,4	BH 3	1,885			472224 42,38		
22	9348,4	BH 3	0,007			500002 33,1		
23	9348,4	BH 3	1,882	2	0,757	14167,7 83	2,484	3
24	4140,0	BH 1	4,046	5	0,697	14432,1 72	6,513	7
25	4140,0	BH 1	3,342	4	0,697	11545,7 37	5,211	6
26	4140,0	BH 1	3,394	23	0,616	58699,3 20	31,821	32
27	4140,0	BH 1	4,159			58699,3 20		
28	4140,0	BH 1	0,015			58699,3 20		
29	4140,0	BH 1	4,178	5	1,000	20700,1 11	5	5
30	9348,4	BH 3	0,366	1	1,000	9348,43 7	1	1
31	9348,4	BH 3	0,414	12	0,657	73683,9 71	16,118	17
32	9348,4	BH 3	1,793			73683,9 71		
33	9348,4	BH 3	0,007			73683,9 71		
34	9348,4	BH 3	1,862	2	0,757	14167,7 83	2,484	3
35	9348,4	BH 3	2,846	3	0,757	21251,6 74	3,726	4
36	9348,4	BH3	1,884	2	0,757	14167,7 83	2,484	3
37	9348,4	BH 3	1,523	12	0,657	73683,9 71	16,118	17
38	9348,4	BH 3	1,829			73683,9 71		
39	9348,4	BH 3	0,007			73683,9 71		

Tabel 4.29: *Lanjutan*

No. Join	Tambahan Q all 30%	Daerah pengaruh borehole	F Axial/ Q all	n	Efisiensi labare	Q grup (kN)	Jumlah Pile yang diperlukan	
40	9348,4	BH 3	1,806	2	1,000	18696,8 7452	2	2
41	9348,4	BH3	0,376	1	1,000	9348,43 7259	1	1
42	9348,4	BH3	0,107	1	0,757	7083,89 1	1,242	2
43	9348,4	BH3	0,388	1	0,757	7083,89 1	1,242	2
44	9348,4	BH 2	2,929	3	0,757	21251,6 74	3,726	4
45	9348,4	BH 2	3,033	4	0,757	28335,5 66	4,968	5
46	9348,4	BH 2	3,050	4	0,757	28335,5 66	4,968	5
47	9348,4	BH 2	2,990	3	0,757	21251,6 7482	3,726	4
48	9348,4	BH 2	3,092	4	0,757	28335,5 66	4,968	5
49	9348,4	BH 2	3,076	4	1,000	37393,7 49	4	4
50	9348,4	BH3	3,020	4	1,000	37393,7 49	4	4
51	9348,4	BH3	0,435	1	0,757	7083,89 1	1,242	2
52	9348,4	BH3	0,419	1	0,757	7083,89 1	1,242	2
53	9348,4	BH 2	2,970	3	0,757	21251,6 74	3,726	4
54	9348,4	BH 2	3,156	4	0,757	28335,5 66	4,968	5
55	9348,4	BH 2	3,039	4	0,757	28335,5 66	4,968	5
56	9348,4	BH 2	2,594	3	0,757	21251,6 74	3,726	4
57	9348,4	BH 2	3,084	4	0,757	28335,5 66	4,968	5
58	9348,4	BH 2	3,194	4	1,000	37393,7 49	4	4
59	9348,4	BH 2	3,011	4	1,000	37393,7 49	4	4
60	9348,4	BH 2	0,418	1	1,000	9348,43 7	1	1
Total pile sebelum efisiensi				234	Total pile setelah efisiensi		304	

Jumlah tiang yang diperlukan dapat dikurangi akibat kontribusi slab sebagai fondasi rakitan (25%), sesuai dengan SNI 8460:2017. Maka dipakai jumlah tiang

sebesar 75% dari 304 pile yaitu 228 tiang. Susunan tiang ditunjukkan pada halaman berikutnya. Berdasarkan konfigurasi susunan pile diperlukan jumlah tiang sebanyak 228 tiang. Pembuktian kontribusi 25% slab sebagai fondasi rakitan dilakukan melalui pemodelan struktur.

4.4.4 Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Lateral Fondasi

Sebelum mencari kapasitas lateral tiang, harus menentukan jenis tiang tersebut termasuk tiang pendek atau tiang panjang. Untuk menentukan jenis tiang, Broms memberikan formula:

$$\frac{L}{T} > 4 \text{ (tiang panjang atau tiang flexibel)}$$

$$\frac{T}{L} > 2 \text{ (tiang pendek atau tiang fix)}$$

Dimana:

$$I_p = \frac{1}{64} \pi D^4$$

$$I_p = \frac{1}{64} \times 3,14 \times 1^4$$

$$= 0,05$$

Keterangan:

I_p = Inersia Tiang

E_p = Modulus Elastisitas Tiang

$$E_p = 4700 \times \sqrt{f_c}$$

$$= 4700 \times \sqrt{40}$$

$$= 29725,4 \text{ MPa} \times 1000$$

$$= 29725400 \text{ kN/m}^2$$

nh = Modulus Subgrade = 12000 kN/m³

L = Panjang tiang = 20 meter.

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p \cdot I_p}{nh}}$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{29725400 \times 0,05}{12000}}$$

$$T = 2,62$$

Untuk menghitung momen ultimit, Broms memberikan formula sederhana sebagai berikut:

$$M_u = z \times f_b$$

$$M_u = I_p \times \left(\frac{D}{2}\right) \times 0,85 \times f_c$$

$$M_u = 0,05 \times \left(\frac{1}{2}\right) \times 0,85 \times 40$$

$$M_u = 3337,94 \text{ kN.m}$$

Keterangan:

I_p = Inersia Tiang

D = Diameter Tiang (m)

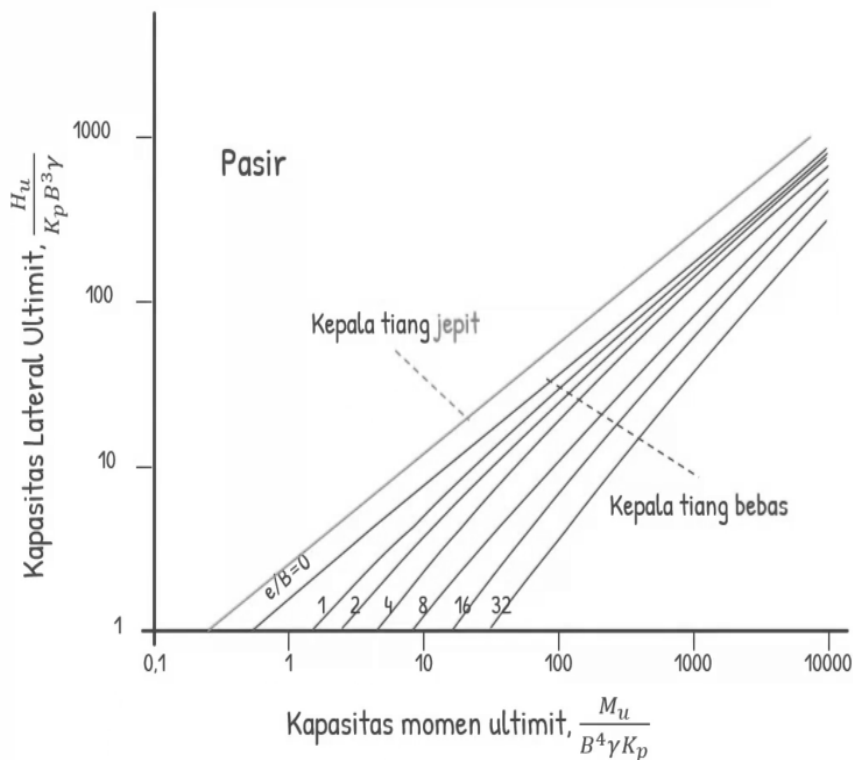
F_c = Mutu Beton

Untuk mencari kapasitas lateral ultimit (H_u) Broms menggunakan grafik hubungan:

$$\frac{M_u}{K_p \times D^4 \times \gamma'} \text{ dan } \frac{H_u}{K_p \times D^3 \times \gamma'}$$

$$K_p \times D^4 \times \gamma' = 3 \times 1^4 \times 11,69 = 35,07$$

$$K_p \times D^3 \times \gamma' = 3 \times 1^3 \times 11,69 = 35,07$$



Gambar 4.6: Grafik hubungan kapasitas lateral ultimit dan momen ultimit

Dari grafik, diperoleh:

$$\frac{Mu}{Kp \times D^4 \times y'} = 95$$

$$\frac{Hu}{Kp \times D^3 \times y'} = 80$$

$$Hu = 80 \times 35,07$$

$$Hu = 2805,6$$

Dimana:

Hu = Kapasitas lateral ultimit tiang bor

FK = 3

Maka:

$$H \text{ ijin} = \frac{Hu}{FK}$$

$$H \text{ ijin} = \frac{2805,6}{FK}$$

$$= 935,2 \text{ kN/m}^2$$

H ijin = Kapasitas lateral ijin tiang bor

Dalam desain struktur tahan gempa yang menggunakan sistem ganda dengan dinding geser dan fondasi menjadi elemen kunci dalam mentransfer dan menahan gaya lateral yang berasal dari beban gempa horizontal. Tiang bor berperan sebagai elemen pendukung yang mengalirkan gaya geser dan momen dari atas ke tanah, sehingga jumlah dan konfigurasi tiang sangat menentukan efektivitas kinerja lateral sistem fondasi. Hasil analisis tersebut disajikan dalam tabel Jumlah Tiang Bor terhadap Gaya Lateral pada Sistem Ganda, yang memperlihatkan distribusi gaya lateral, defleksi lateral, serta kapasitas dukung lateral berdasarkan jumlah tiang yang digunakan.

Tabel 4.31: Jumlah tiang bor gaya lateral sistem ganda

No. Join	Kapasitas lateral tiang ijin	Daerah pengaruh borehole	F Lateral /Q all	n	Efisiensi labare	Q grup (kN)	Jumlah Pile yang diperlukan	
1	935,2	BH 3	0,5316	1	1,000	935,2	1	1
2	935,2	BH 3	0,5259	1	1,000	935,2	1	1
3	935,2	BH 3	0,5121	1	1,000	935,2	1	1
4	935,2	BH 3	0,5129	1	1,000	935,2	1	1
5	935,2	BH 1	0,5134	1	1,000	935,2	1	1

Tabel 4.31: *Lanjutan*

No. Join	Kapasitas lateral tiang ijin	Daerah pengaruh borehole	F Lateral /Q all	n	Efisiensi labare	Q grup (kN)	Jumlah Pile yang diperlukan	
6	935,2	BH 1	0,5151	1	1,000	935,2	1	1
7	935,2	BH 1	0,5090	1	1,000	935,2	1	1
8	935,2	BH 1	0,5051	1	1,000	935,2	1	1
9	935,2	BH 1	0,4645	1	1,000	935,2	1	1
10	935,2	BH 3	0,5265	1	1,000	935,2	1	1
11	935,2	BH 3	0,6516	1	1,000	935,2	1	1
12	935,2	BH 3	0,5095	1	1,000	935,2	1	1
13	935,2	BH 3	0,5125	1	1,000	935,2	1	1
14	935,2	BH 1	0,5103	1	1,000	935,2	1	1
15	935,2	BH 1	0,5163	1	1,000	935,2	1	1
16	935,2	BH 1	0,5145	1	1,000	935,2	1	1
17	935,2	BH 1	0,5050	1	1,000	935,2	1	1
18	935,2	BH 1	0,4680	1	1,000	935,2	1	1
19	935,2	BH 3	0,2393	1	1,000	935,2	1	1
20	935,2	BH 3	0,6615	11	0,657	6756,938	14,7 7487 368	15
21	935,2	BH 3	3,8738			6756,938		
22	935,2	BH 3	2,5941			6756,938		
23	935,2	BH 3	3,8845	4	0,757	2834,637	4,96 8951 533	5
24	935,2	BH 1	3,9307	4	0,757	2834,637	4,96 8951 533	5
25	935,2	BH 1	3,5734	4	0,717	2683,609	5,13 0443 455	6
26	935,2	BH 1	3,6335	14	0,616	8071,144	19,3 6960 641	20
27	935,2	BH 1	3,9173			8071,144		
28	935,2	BH 1	4,2842			8071,144		
29	935,2	BH 1	3,9101	4	1,000	3740,8	4	4
30	935,2	BH 3	0,4391	1	1,000	935,2	1	1
31	935,2	BH 3	0,6606	8	0,697	5216,191	10,4 2237 883	11
32	935,2	BH 3	3,6231			5216,191		
33	935,2	BH 3	2,6410			5216,191		
34	935,2	BH 3	1,8425	2	1,000	1870,4	2	2
35	935,2	BH 3	1,1769	2	1,000	1870,4	2	2
36	935,2	BH3	1,2442	2	1,000	1870,4	2	2
37	935,2	BH 3	1,3337	8	0,697	5216,191	10,4 2237 883	11
38	935,2	BH 3	1,8474			5216,191		
39	935,2	BH 3	4,3680			5216,191		

Tabel 4.31: *Lanjutan*

No. Join	Kapasitas lateral tiang ijin	Daerah pengaruh borehole	F Lateral /Q all	n	Efisiensi labare	Q grup (kN)	Jumlah Pile yang diperlukan	
40	935,2	BH 3	2,4307	3	1,000	2805,6	3	3
41	935,2	BH3	0,4365	1	1,000	935,2	1	1
42	935,2	BH3	0,2401	1	1,000	935,2	1	1
43	935,2	BH3	0,5227	1	1,000	935,2	1	1
44	935,2	BH 2	0,6516	1	1,000	935,2	1	1
45	935,2	BH 2	0,5119	1	1,000	935,2	1	1
46	935,2	BH 2	0,5157	1	1,000	935,2	1	1
47	935,2	BH 2	0,5129	1	1,000	935,2	1	1
48	935,2	BH 2	0,5123	1	1,000	935,2	1	1
49	935,2	BH 2	0,5078	1	1,000	935,2	1	1
50	935,2	BH3	0,4997	1	1,000	935,2	1	1
51	935,2	BH3	0,4341	1	1,000	935,2	1	1
52	935,2	BH3	0,5267	1	1,000	935,2	1	1
53	935,2	BH 2	0,5225	1	1,000	935,2	1	1
54	935,2	BH 2	0,5130	1	1,000	935,2	1	1
55	935,2	BH 2	0,5133	1	1,000	935,2	1	1
56	935,2	BH 2	0,5141	1	1,000	935,2	1	1
57	935,2	BH 2	0,5150	1	1,000	935,2	1	1
58	935,2	BH 2	0,5095	1	1,000	935,2	1	1
59	935,2	BH 2	0,5014	1	1,000	935,2	1	1
60	935,2	BH 2	0,4607	1	1,000	935,2	1	1
Total tiang sebelum efisiensi				106	Total tiang yang diperlukan		126	

Tabel berikut menyajikan jumlah tiang bor yang dirancang untuk menahan gaya lateral pada struktur dengan sistem SRPMK. Penentuan jumlah tiang bor dilakukan berdasarkan hasil analisis gaya geser dasar dan momen guling akibat beban lateral seperti gempa dan angin, sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019 serta mempertimbangkan kapasitas dukung tanah setempat

Tabel 4.31: Jumlah tiang bor gaya lateral SRPMK

No. Join	Kapasitas lateral tiang ijin	Daerah pengaruh borehole	F Lateral /Q all	n	Efisiensi i labare	Q grup (kN)	Jumlah Pile yang diperlukan	
1	935,2	BH 3	0,673	1	1,00	935,2	1	1
2	935,2	BH 3	0,657	1	1,00	935,2	1	1
3	935,2	BH 3	0,640	1	1,00	935,2	1	1
4	935,2	BH 3	0,641	1	1,00	935,2	1	1

Tabel 4.31: *Lanjutan*

No. Join	Kapasitas lateral tiang ijin	Daerah pengaruh borehole	F Lateral /Q all	n	Efisiensi labare	Q grup (kN)	Jumlah Pile yang diperlukan	
5	935,2	BH 1	0,642	1	1,00	935,2	1	1
6	935,2	BH 1	0,643	1	1,00	935,2	1	1
7	935,2	BH 1	0,637	1	1,00	935,2	1	1
8	935,2	BH 1	0,632	1	1,00	935,2	1	1
9	935,2	BH 1	0,711	1	1,00	935,2	1	1
10	935,2	BH 3	0,784	1	1,00	935,2	1	1
11	935,2	BH 3	0,790	1	1,00	935,2	1	1
12	935,2	BH 3	0,677	1	1,00	935,2	1	1
13	935,2	BH 3	0,656	1	1,00	935,2	1	1
14	935,2	BH 1	0,641	1	1,00	935,2	1	1
15	935,2	BH 1	0,666	1	1,00	935,2	1	1
16	935,2	BH 1	0,703	1	1,00	935,2	1	1
17	935,2	BH 1	0,733	1	1,00	935,2	1	1
18	935,2	BH 1	0,863	1	1,00	935,2	1	1
19	935,2	BH 3	0,285	1	1,00	935,2	1	1
20	935,2	BH 3	0,781	11	0,657	6756,938	14,774	15
21	935,2	BH 3	0,998			6756,938		
22	935,2	BH 3	0,000			6756,938		
23	935,2	BH 3	0,943	1	0,757	708,659	1,242	2
24	935,2	BH 1	0,916	1	0,757	708,659	1,242	2
25	935,2	BH 1	0,898	1	0,717	670,902	1,282	2
26	935,2	BH 1	0,907	14	0,616	8071,144	19,369	20
27	935,2	BH 1	0,945			8071,144		
28	935,2	BH 1	0,000			8071,144		
29	935,2	BH 1	0,970	1	1,00	935,2	1	1
30	935,2	BH 3	0,739	1	1,00	935,2	1	1
31	935,2	BH 3	0,801	8	0,697	5216,191	10,422	11
32	935,2	BH 3	0,942			5216,191		
33	935,2	BH 3	0,000			5216,191		
34	935,2	BH 3	0,928	1	1,00	935,2	1	1
35	935,2	BH 3	0,927	1	1,00	935,2	1	1
36	935,2	BH3	0,904	1	1,00	935,2	1	1
37	935,2	BH 3	0,912	8	0,697	5216,191	10,422	11
38	935,2	BH 3	0,950			5216,191		
39	935,2	BH 3	0,000			5216,191		
40	935,2	BH 3	0,980	1	1,00	935,2	1	1

Tabel 4.31: *Lanjutan*

No. Join	Kapasitas lateral tiang ijin	Daerah pengaruh borehole	F Lateral /Q all	n	Efisiensi labare	Q grup (kN)	Jumlah Pile yang diperlukan	
41	935,2	BH3	0,759	1	1,00	935,2	1	1
42	935,2	BH3	0,297	1	1,00	935,2	1	1
43	935,2	BH3	0,769	1	1,00	935,2	1	1
44	935,2	BH 2	0,798	1	1,00	935,2	1	1
45	935,2	BH 2	0,639	1	1,00	935,2	1	1
46	935,2	BH 2	0,641	1	1,00	935,2	1	1
47	935,2	BH 2	0,640	1	1,00	935,2	1	1
48	935,2	BH 2	0,639	1	1,00	935,2	1	1
49	935,2	BH 2	0,635	1	1,00	935,2	1	1
50	935,2	BH3	0,628	1	1,00	935,2	1	1
51	935,2	BH3	0,806	1	1,00	935,2	1	1
52	935,2	BH3	0,677	1	1,00	935,2	1	1
53	935,2	BH 2	0,657	1	1,00	935,2	1	1
54	935,2	BH 2	0,646	1	1,00	935,2	1	1
55	935,2	BH 2	0,646	1	1,00	935,2	1	1
56	935,2	BH 2	0,648	1	1,00	935,2	1	1
57	935,2	BH 2	0,650	1	1,00	935,2	1	1
58	935,2	BH 2	0,644	1	1,00	935,2	1	1
59	935,2	BH 2	0,632	1	1,00	935,2	1	1
60	935,2	BH 2	0,688	1	1,00	935,2	1	1
Total tiang sebelum efisiensi				89	Total tiang yang diperlukan		108	

4.4.5 Perhitungan Deformasi Lateral Fondasi Tiang

Sebelum melakukan perhitungan deformasi lateral, terlebih dahulu ditentukan tiang yang digunakan berupa tiang panjang atau tiang pendek dengan formula sebagai berikut:

$$\beta = \left(\frac{k_h \times D}{4 E_p I_p} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$\beta = \left(\frac{12000 \times 1}{4 \times 29725410 \times 0,05} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$\beta = 0,213$$

Dimana:

β = Faktor tak berdimensi

k_h = Modulus reaksi subgrade horizontal

D = Diameter tiang

E_p = Modulus elastisitas tiang pancang

I_p = Momen Inersia Tiang

$\beta \times L > 1,5$ (Tiang Panjang)

$0,213 \times 20 > 1,5$ (Tiang Panjang)

$4,25 > 1,5$ (Tiang Panjang)

Dimana:

β = Faktor tak berdimensi

L = Panjang tiang

Untuk menghitung deformasi lateral tiang tunggal, Broms memberikan formula sebagai berikut:

$$\gamma_0 = \frac{(H/n) \times \beta}{k_h \times D}$$

Tabel ini memuat notasi teknis dan satuan yang digunakan dalam analisis gaya lateral pada sistem fondasi bangunan. Notasi disusun untuk mendukung konsistensi dan kejelasan dalam perhitungan, khususnya pada struktur yang memikul beban horizontal akibat gempa, angin, atau gaya lain yang bersifat lateral.

Tabel 4.32: Notasi dan satuan deformasi lateral

Keterangan	Notasi	Satuan
Faktor tak berdimensi	β	
Modulus reaksi subgrade horizontal	k_h	kN/m^3
Gaya Lateral	H	kN
Diameter tiang	D	m
Jumlah tiang yang diperlukan	n	unit
Defleksi lateral	γ_0	mm
Defleksi lateral ijin berdasarkan SNI 1726:2019 sebesar 25 mm	γ	mm

Tabel berikut menyajikan hasil perhitungan defleksi lateral pada elemen fondasi tiang bor menggunakan pendekatan Broms, dalam konteks sistem struktur ganda yang terdiri dari sistem ganda. Metode Broms digunakan untuk mengevaluasi perilaku lateral tiang yang tertanam dalam tanah, khususnya untuk analisis terhadap gaya geser horizontal dan momen akibat gempa atau angin.

Tabel 4.33: Defleksi lateral Broms Sistem Ganda

No. Join	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN. m)	MY (kN. m)	n	Defleksi Lateral (m)	Defleksi Lateral (mm)	Status tiang terhadap defleksi lateral
1	497,12	343,18	3252,87	3035,31	4534,39	1	0,0088	8,821	AMAN
2	491,81	268,57	2648,537	2852,29	4526,32	4	0,0022	2,182	AMAN
3	478,87	266,54	2697,677	2735,67	4516,57	4	0,0021	2,124	AMAN
4	479,64	257,77	2674,316	2633,55	4518,42	4	0,0021	2,128	AMAN
5	480,17	255,09	2327,922	2546,10	4519,03	8	0,0011	1,065	AMAN
6	481,70	255,61	2632,055	2652,35	4519,77	9	0,0009	0,950	AMAN
7	476,00	263,29	2653,283	2762,07	4515,28	9	0,0009	0,939	AMAN
8	472,35	271,03	2568,236	2871,96	4511,78	9	0,0009	0,931	AMAN
9	434,37	342,66	3150,11	3070,99	4479,72	1	0,0077	7,708	AMAN
10	492,36	408,08	3086,31	3102,37	4494,12	1	0,0087	8,737	AMAN
11	609,41	446,60	2604,163	2913,38	4584,31	4	0,0027	2,704	AMAN
12	476,49	412,98	2513,722	2780,91	4478,14	4	0,0021	2,114	AMAN
13	479,33	404,60	2709,249	2672,65	4481,88	4	0,0021	2,126	AMAN
14	477,23	393,16	2756,146	2578,82	4480,64	10	0,0008	0,847	AMAN
15	482,81	402,91	2602,772	2691,89	4485,39	10	0,0009	0,857	AMAN
16	481,20	413,21	2416,788	2805,29	4483,73	8	0,0011	1,067	AMAN
17	472,25	433,84	2561,965	2970,62	4475,70	9	0,0009	0,931	AMAN

Tabel 4.33: *Lanjutan*

No. Join	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN.m)	MY (kN.m)	n	Defleksi Lateral (m)	Defleksi Lateral (mm)	Status tiang terhadap defleksi lateral
18	407,93	437,70	3477,18	3124,90	4424,04	1	0,0078	7,767	AMAN
19	223,77	165,80	957,83	797,04	994,67	1	0,004	3,971	AMAN
20	618,66	407,78	3954,54	3117,19	4646,45	17	0,0006	0,646	AMAN
21	3442,94	3622,81	3860,05	1041,09	1094,74	15	0,0043	4,286	AMAN
22	2425,99	0,00	1680,97	49,14	1223,15	15	0,0029	2,870	AMAN
23	0,00	3632,79	2725,14	1589,84	0,16	4	0,0161	16,116	AMAN
24	0,00	3676,02	2653,59	1491,94	0,00	10	0,0065	6,523	AMAN
25	0,00	3341,84	2332,85	1442,28	0,78	8	0,0074	7,413	AMAN
26	0,00	3398,04	2315,71	1523,63	0,00	32	0,0019	1,884	AMAN
27	0,00	3663,47	2758,78	1601,34	0,08	32	0,002	2,032	AMAN
28	4006,62	0,00	1691,82	49,14	1384,55	32	0,0022	2,222	AMAN
29	2098,06	3656,76	3847,01	1070,73	1255,41	10	0,0065	6,489	AMAN
30	410,63	349,78	3916,32	3117,49	4313,35	1	0,0073	7,287	AMAN
31	617,83	418,23	3961,13	3114,22	4668,13	17	0,0006	0,645	AMAN
32	3388,33	2277,61	3825,72	944,17	1095,60	17	0,0035	3,537	AMAN
33	2469,89	0,00	1738,67	-23,07	1234,24	17	0,0026	2,578	AMAN
34	0,00	1723,07	2783,63	1327,33	0,16	4	0,0076	7,644	AMAN
35	0,00	1100,63	2698,12	1297,14	0,00	4	0,0049	4,883	AMAN
36	0,00	1163,54	2391,32	1255,64	0,78	4	0,0052	5,162	AMAN
37	0,00	1247,31	2359,92	1294,52	0,00	17	0,0013	1,302	AMAN
38	0,00	1727,65	2818,10	1341,29	0,07	17	0,0018	1,803	AMAN

Tabel 4.33: *Lanjutan*

No. Join	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN. m)	MY (kN. m)	n	Defleksi Lateral (m)	Defleksi Lateral (mm)	Status tiang terhadap defleksi lateral
39	4084,93	0,00	17285,79	-27,16	1389,19	17	0,0043	4,264	AMAN
40	2010,41	2273,21	37807,23	889,59	1148,09	5	0,0081	8,068	AMAN
41	408,26	368,02	4014,01	3097,66	4389,69	1	0,0072	7,245	AMAN
42	224,53	156,32	945,17	929,22	1003,55	2	0,002	1,992	AMAN
43	488,81	393,61	3100,82	3115,56	4545,51	2	0,0043	4,337	AMAN
44	609,41	304,91	24464,17	3017,01	4640,21	4	0,0027	2,703	AMAN
45	478,73	288,90	23793,66	2997,20	4537,62	4	0,0021	2,124	AMAN
46	482,31	268,73	25901,44	2903,52	4541,38	4	0,0021	2,140	AMAN
47	479,63	259,52	26328,83	2813,15	4540,07	4	0,0021	2,128	AMAN
48	479,13	270,94	25182,76	2916,13	4539,53	4	0,0021	2,126	AMAN
49	474,90	287,98	23630,46	3020,85	4535,69	3	0,0028	2,809	AMAN
50	467,33	298,45	24881,53	3130,93	4528,95	3	0,0028	2,764	AMAN
51	405,95	383,83	3575,49	3177,24	4479,73	2	0,0036	3,602	AMAN
52	492,53	321,36	3249,65	3063,50	4604,57	2	0,0044	4,370	AMAN
53	488,67	234,40	24668,55	2948,77	4600,71	4	0,0022	2,168	AMAN
54	479,80	222,98	26168,48	2847,44	4595,71	4	0,0021	2,129	AMAN
55	480,02	210,92	26055,94	2746,81	4597,16	4	0,0021	2,129	AMAN
56	480,79	203,83	22273,83	2662,79	4597,91	4	0,0021	2,133	AMAN
57	481,67	210,58	25762,34	2762,48	4598,29	4	0,0021	2,137	AMAN
58	476,50	220,92	25989,84	2869,37	4594,15	3	0,0028	2,818	AMAN
59	468,95	230,50	24595,86	2975,69	4587,28	3	0,0028	2,774	AMAN
60	430,82	320,79	3133,54	3098,53	4555,71	1	0,0076	7,645	AMAN

Tabel berikut menyajikan hasil perhitungan defleksi lateral tiang bor yang dirancang sebagai elemen fondasi untuk sistem struktur SRPMK. Perhitungan dilakukan menggunakan pendekatan Broms, yang mengasumsikan perilaku elastis linier tanah serta interaksi gaya lateral pada elemen tiang yang tertanam.

Tabel 4.34: Defleksi lateral Broms SRPMK

No. Join	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN.m)	MY (kN.m)	n	Defleksi Lateral (m)	Defleksi Lateral (mm)	Status tiang terhadap defleksi lateral
1	624,14	630,19	3252,87	3035,31	4534,39	1	0,0112	11,183	AMAN
2	614,76	501,55	2648,37	2852,29	4526,32	5	0,0022	2,182	AMAN
3	598,94	484,34	2697,67	2735,67	4516,57	5	0,0021	2,126	AMAN
4	599,64	467,76	2674,31	2633,55	4518,42	5	0,0021	2,128	AMAN
5	600,73	461,15	2327,92	2546,10	4519,03	9	0,0012	1,184	AMAN
6	602,20	471,95	2632,05	2652,35	4519,77	10	0,0011	1,069	AMAN
7	596,61	503,80	2653,83	2762,07	4515,28	10	0,0011	1,059	AMAN
8	591,49	522,90	2568,36	2871,96	4511,78	10	0,0010	1,050	AMAN
9	558,69	665,46	3150,11	3070,99	4479,72	1	0,0118	11,809	AMAN
10	614,17	733,57	3086,31	3102,37	4494,12	1	0,0130	13,017	AMAN
11	739,16	687,23	2604,63	2913,38	4584,31	5	0,0026	2,623	AMAN
12	592,18	633,25	2513,72	2780,91	4478,14	5	0,0022	2,247	AMAN
13	593,67	614,15	2709,49	2672,65	4481,88	5	0,0022	2,180	AMAN
14	592,78	600,33	2756,46	2578,82	4480,64	11	0,0010	0,968	AMAN
15	599,35	623,33	2602,72	2691,89	4485,39	11	0,0010	1,006	AMAN
16	599,50	658,24	2416,78	2805,29	4483,73	10	0,0012	1,168	AMAN
17	588,64	686,03	2561,95	2970,62	4475,70	9	0,0014	1,353	AMAN
18	531,51	807,30	3477,18	3124,90	4424,04	1	0,0143	14,325	AMAN
19	266,96	266,79	957,83	797,04	994,67	1	0,0047	4,737	AMAN

Tabel 4.34: *Lanjutan*

No. Join	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN.m)	MY (kN.m)	n	Defleksi Lateral (m)	Defleksi Lateral (mm)	Status tiang terhadap defleksi lateral
20	700,67	730,65	3954,54	3117,19	4646,45	17	0,0008	0,763	AMAN
21	934,00	787,51	3860,8,05	1041,09	1094,74	15	0,0011	1,105	AMAN
22	0,00	0,00	1680,9,97	49,14	1223,15	15	0,0000	0,000	AMAN
23	882,57	767,71	2725,1,47	1589,84	0,16	3	0,0052	5,220	AMAN
24	857,35	743,59	2653,1,59	1491,94	0,00	7	0,0022	2,173	AMAN
25	840,38	713,57	2332,8,57	1442,28	0,78	6	0,0025	2,485	AMAN
26	848,24	758,17	2315,2,71	1523,63	0,00	32	0,0005	0,470	AMAN
27	884,29	793,93	2758,2,78	1601,34	0,08	32	0,0005	0,490	AMAN
28	0,00	0,00	1691,8,20	49,14	1384,55	32	0,0000	0,000	AMAN
29	907,64	831,94	3847,0,13	1070,73	1255,41	5	0,0032	3,221	AMAN
30	517,24	691,24	3916,32	3117,49	4313,35	1	0,0123	12,266	AMAN
31	707,20	749,10	3961,13	3114,22	4668,13	17	0,0008	0,782	AMAN
32	881,24	864,95	3825,1,72	944,17	1095,60	17	0,0009	0,920	AMAN
33	0,00	0,00	1738,6,70	-23,07	1234,24	17	0,0000	0,000	AMAN
34	868,25	813,46	2783,6,30	1327,33	0,16	3	0,0051	5,136	AMAN
35	867,54	771,61	2698,1,27	1297,14	0,00	4	0,0038	3,849	AMAN
36	845,62	755,68	2391,3,26	1255,64	0,78	3	0,0050	5,002	AMAN
37	853,56	792,97	2359,9,27	1294,52	0,00	17	0,0009	0,891	AMAN
38	888,64	844,92	2818,1,10	1341,29	0,07	17	0,0009	0,928	AMAN
39	0,00	0,00	1728,5,79	-27,16	1389,19	17	0,0000	0,000	AMAN
40	916,50	892,79	3780,7,23	889,59	1148,09	2	0,0081	8,132	AMAN
41	520,54	709,90	4014,01	3097,66	4389,69	1	0,0126	12,597	AMAN

Tabel 4.34: *Lanjutan*

No. Join	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN.m)	MY (kN.m)	n	Defleksi Lateral (m)	Defleksi Lateral (mm)	Status tiang terhadap defleksi lateral
42	278,03	263,80	945,17	929,22	1003,55	2	0,0025	2,467	AMAN
43	620,66	719,64	3100,82	3115,56	4545,51	2	0,0064	6,385	AMAN
44	747,12	591,49	2446,17	3017,01	4640,21	4	0,0033	3,314	AMAN
45	597,67	546,31	2379,66	2997,20	4537,62	5	0,0021	2,121	AMAN
46	599,79	520,76	2590,14	2903,52	4541,38	5	0,0021	2,129	AMAN
47	598,65	508,35	2632,83	2813,15	4540,07	4	0,0027	2,656	AMAN
48	597,90	533,44	2518,76	2916,13	4539,53	5	0,0021	2,122	AMAN
49	594,63	561,04	2363,04	3020,85	4535,69	4	0,0026	2,638	AMAN
50	584,49	587,37	2488,15	3130,93	4528,95	4	0,0026	2,606	AMAN
51	541,97	754,15	3575,49	3177,24	4479,73	2	0,0067	6,691	AMAN
52	633,26	608,90	3249,65	3063,50	4604,57	2	0,0056	5,619	AMAN
53	615,21	469,75	2466,85	2948,77	4600,71	4	0,0027	2,729	AMAN
54	604,73	451,18	2616,84	2847,44	4595,71	5	0,0021	2,146	AMAN
55	604,97	433,08	2605,94	2746,81	4597,16	5	0,0021	2,147	AMAN
56	606,41	421,60	2227,33	2662,79	4597,91	4	0,0027	2,690	AMAN
57	607,89	438,63	2576,34	2762,48	4598,29	5	0,0022	2,157	AMAN
58	602,37	459,60	2598,94	2869,37	4594,15	4	0,0027	2,672	AMAN
59	591,77	480,34	2459,86	2975,69	4587,28	4	0,0026	2,625	AMAN
60	571,18	643,92	3133,54	3098,53	4555,71	1	0,0114	11,426	AMAN

4.4.6 Perhitungan Penurunan Fondasi Tiang

Untuk menghitung penurunan tiang tunggal, Vesic (1977) memberikan formula sederhana sebagai berikut:

$$S = \frac{D}{100} + \frac{Q \times L}{A_p \times E_p}$$

Dimana:

S_g = Penurunan total di kepala tiang (m)

D = Diameter tiang (m)

Q = Tahanan izin Tiang (m)

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

E_p = Modulus elastisitas tiang (kN/m^2)

L = Panjang tiang (m)

Berikut adalah keterangan notasi, nilai dan satuan yang digunakan pada perhitungan yang dibuat dalam bentuk tabel.

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1^2 \\ &= 0,785 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_p &= 4700 \times \sqrt{f'c'} \\ &= 4700 \times \sqrt{40} \\ &= 29.725,410 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 29.725.410 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

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

$$D = 1 \text{ m}$$

$$Q = 12.420,07$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{100} + \frac{Q \times L}{A_p \times E_p} \\ &= \frac{1}{100} + \frac{12.420,07 \times 20}{0,785 \times 29.725.410} \\ &= 0,021 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{izin}} &= \frac{1}{100} \times D \\
 &= \frac{1}{100} \times 1 \\
 &= 0,1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.35: Nilai penurunan fondasi tiang

Keterangan	Notasi	Nilai	Satuan
Luas Penampang tiang	A_p	0,785	m ²
Modulus Elastisitas tiang	E_p	29.725.400	kN/m ²
Panjang tiang	L	20	m
Diameter tiang	D	1	m
Penurunan tiang tunggal	S	0,021	m
Penurunan izin tiang tunggal (10% Diameter pile)	S _{izin}	0,1	m

Tabel ini memaparkan hasil perhitungan dari penurunan fondasi tiang bor pada sistem struktur ganda yang terdiri dari sistem ganda. Evaluasi penurunan dilakukan untuk memastikan bahwa fondasi memberikan kestabilan vertikal yang memadai, serta menghindari risiko penurunan diferensial yang dapat memengaruhi performa elemen struktur atas.

Tabel 4.36: Penurunan tiang sistem ganda

No. Join	Kapasitas aksial tiang ijin	Daerah pengaruh bore hole	n tiang per kelompok	Penurunan Tiang Tunggal (m)	Status Tiang Tunggal Terhadap Penurunan	Lebar Tiang Kelompok (m)	Penurunan Tiang Kelompok (m)	Status Kelompok Tiang Terhadap Penurunan
1	9348,43	BH 3	1	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN
2	9348,43	BH 3	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
3	9348,43	BH 3	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
4	9348,43	BH 3	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
5	4140,02	BH 1	8	0,0135	AMAN	5	0,0303	AMAN
6	4140,02	BH 1	9	0,0135	AMAN	5	0,0303	AMAN
7	4140,02	BH 1	9	0,0135	AMAN	5	0,0303	AMAN
8	4140,02	BH 1	9	0,0135	AMAN	5	0,0303	AMAN
9	4140,02	BH 1	1	0,0135	AMAN	2,5	0,0214	AMAN
10	9348,43	BH 3	1	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN
11	9348,43	BH 3	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN

Tabel 4.36: *Lanjutan*

No. Join	Kapasitas aksial tiang ijin	Daerah pengaruh bore hole	n tiang per kelompok	Penurunan Tiang Tunggal (m)	Status Tiang Tunggal Terhadap Penurunan	Lebar Tiang Kelompok (m)	Penurunan Tiang Kelompok (m)	Status Kelompok Tiang Terhadap Penurunan
12	9348,43	BH 3	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
13	9348,43	BH 3	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
14	4140,02	BH 1	10	0,0135	AMAN	5	0,0303	AMAN
15	4140,02	BH 1	10	0,0135	AMAN	5	0,0303	AMAN
16	4140,02	BH 1	8	0,0135	AMAN	5	0,0303	AMAN
17	4140,02	BH 1	9	0,0135	AMAN	5	0,0303	AMAN
18	4140,02	BH 1	1	0,0135	AMAN	2,5	0,0214	AMAN
19	9348,43	BH 3	1	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN
20	9348,43	BH 3	17	0,0180	AMAN	7,5	0,0493	AMAN
21	9348,43	BH 3	15	0,0180	AMAN	7,5	0,0493	AMAN
22	9348,43	BH 3	15	0,0180	AMAN	7,5	0,0493	AMAN
23	9348,43	BH 3	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
24	4140,02	BH 1	10	0,0135	AMAN	7,5	0,0371	AMAN
25	4140,02	BH 1	8	0,0135	AMAN	7,5	0,0371	AMAN
26	4140,02	BH 1	32	0,0135	AMAN	10	0,0428	AMAN
27	4140,02	BH 1	32	0,0135	AMAN	10	0,0428	AMAN
28	4140,02	BH 1	32	0,0135	AMAN	10	0,0428	AMAN
29	4140,02	BH 1	10	0,0135	AMAN	2,5	0,0214	AMAN
30	9348,43	BH 3	1	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN
31	9348,43	BH 3	17	0,0180	AMAN	7,5	0,0493	AMAN
32	9348,43	BH 3	17	0,0180	AMAN	7,5	0,0493	AMAN
33	9348,43	BH 3	17	0,0180	AMAN	7,5	0,0493	AMAN
34	9348,43	BH 3	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
35	9348,43	BH 3	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
36	9348,43	BH3	4	0,0180	AMAN	7,5	0,0493	AMAN
37	9348,43	BH 3	17	0,0180	AMAN	7,5	0,0493	AMAN
38	9348,43	BH 3	17	0,0180	AMAN	7,5	0,0493	AMAN
39	9348,43	BH 3	17	0,0180	AMAN	7,5	0,0493	AMAN
40	9348,43	BH 3	5	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN
41	9348,43	BH 3	1	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN
42	9348,43	BH 3	2	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
43	9348,43	BH 3	2	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
44	9348,43	BH 2	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
45	9348,43	BH 2	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
46	9348,43	BH 2	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
47	9348,43	BH 2	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
48	9348,43	BH 2	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN

Tabel 4.36: *Lanjutan*

No. Join	Kapasitas aksial tiang ijin	Daerah pengaruh bore hole	n tiang per kelompok	Penurunan Tiang Tunggal (m)	Status Tiang Tunggal Terhadap Penurunan	Lebar Tiang Kelompok (m)	Penurunan Tiang Kelompok (m)	Status Kelompok Tiang Terhadap Penurunan
49	9348,43	BH 2	3	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN
50	9348,43	BH 3	3	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN
51	9348,43	BH 3	2	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
52	9348,43	BH 3	2	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
53	9348,43	BH 2	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
54	9348,43	BH 2	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
55	9348,43	BH 2	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
56	9348,43	BH 2	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
57	9348,43	BH 2	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
58	9348,43	BH 2	3	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN
59	9348,43	BH 2	3	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN
60	9348,43	BH 2	1	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN

Tabel berikut memuat hasil perhitungan dari penurunan fondasi tiang bor yang digunakan pada struktur SRPMK, di mana kontrol terhadap penurunan sangat penting demi memastikan performa dan stabilitas struktur atas. SRPMK merupakan sistem tahan gempa yang bergantung pada deformasi plastis pada elemen atas, sehingga interaksi vertikal antara fondasi dan struktur harus dijaga agar tidak terjadi penurunan berlebih atau diferensial.

Tabel 4.37: Penurunan tiang SRPMK

No. Join	Kapasitas aksial tiang ijin	Daerah pengaruh bore hole	n tiang per kelompok	Penurunan Tiang Tunggal (m)	Status Tiang Tunggal Terhadap Penurunan	Lebar Tiang Kelompok (m)	Penurunan Tiang Kelompok (m)	Status Kelompok Tiang Terhadap Penurunan
1	9348,43	BH 3	1	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN
2	9348,43	BH 3	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
3	9348,43	BH 3	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
4	9348,43	BH 3	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
5	4140,02	BH 1	8	0,0135	AMAN	5	0,0303	AMAN

Tabel 4.37: *Lanjutan*

No. Join	Kapasitas aksial tiang ijin	Daerah pengaruh bore hole	n tiang per kelompok	Penurunan Tiang Tunggal (m)	Status Tiang Tunggal Terhadap Penurunan	Lebar Tiang Kelompok (m)	Penurunan Tiang Kelompok (m)	Status Kelompok Tiang Terhadap Penurunan
6	4140,02	BH 1	9	0,0135	AMAN	5	0,0303	AMAN
7	4140,02	BH 1	9	0,0135	AMAN	5	0,0303	AMAN
8	4140,02	BH 1	9	0,0135	AMAN	5	0,0303	AMAN
9	4140,02	BH 1	1	0,0135	AMAN	2,5	0,0214	AMAN
10	9348,43	BH 3	1	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN
11	9348,43	BH 3	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
12	9348,43	BH 3	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
13	9348,43	BH 3	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
14	4140,02	BH 1	10	0,0135	AMAN	5	0,0303	AMAN
15	4140,02	BH 1	10	0,0135	AMAN	5	0,0303	AMAN
16	4140,02	BH 1	8	0,0135	AMAN	5	0,0303	AMAN
17	4140,02	BH 1	9	0,0135	AMAN	5	0,0303	AMAN
18	4140,02	BH 1	1	0,0135	AMAN	2,5	0,0214	AMAN
19	9348,43	BH 3	1	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN
20	9348,43	BH 3	17	0,0180	AMAN	7,5	0,0493	AMAN
21	9348,43	BH 3	15	0,0180	AMAN	7,5	0,0493	AMAN
22	9348,43	BH 3	15	0,0180	AMAN	7,5	0,0493	AMAN
23	9348,43	BH 3	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
24	4140,02	BH 1	10	0,0135	AMAN	7,5	0,0371	AMAN
25	4140,02	BH 1	8	0,0135	AMAN	7,5	0,0371	AMAN
26	4140,02	BH 1	32	0,0135	AMAN	10	0,0428	AMAN
27	4140,02	BH 1	32	0,0135	AMAN	10	0,0428	AMAN
28	4140,02	BH 1	32	0,0135	AMAN	10	0,0428	AMAN
29	4140,02	BH 1	10	0,0135	AMAN	2,5	0,0214	AMAN
30	9348,43	BH 3	1	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN
31	9348,43	BH 3	17	0,0180	AMAN	7,5	0,0493	AMAN
32	9348,43	BH 3	17	0,0180	AMAN	7,5	0,0493	AMAN
33	9348,43	BH 3	17	0,0180	AMAN	7,5	0,0493	AMAN
34	9348,43	BH 3	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
35	9348,43	BH 3	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
36	9348,43	BH 3	4	0,0180	AMAN	7,5	0,0493	AMAN
37	9348,43	BH 3	17	0,0180	AMAN	7,5	0,0493	AMAN
38	9348,43	BH 3	17	0,0180	AMAN	7,5	0,0493	AMAN
39	9348,43	BH 3	17	0,0180	AMAN	7,5	0,0493	AMAN
40	9348,43	BH 3	5	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN
41	9348,43	BH 3	1	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN
42	9348,43	BH 3	2	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN

Tabel 4.37: *Lanjutan*

No. Join	Kapasitas aksial tiang ijin	Daerah pengaruh bore hole	n tiang per kelompok	Penurunan Tiang Tunggal (m)	Status Tiang Tunggal Terhadap Penurunan	Lebar Tiang Kelompok (m)	Penurunan Tiang Kelompok (m)	Status Kelompok Tiang Terhadap Penurunan
43	9348,43	BH 3	2	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
44	9348,43	BH 2	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
45	9348,43	BH 2	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
46	9348,43	BH 2	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
47	9348,43	BH 2	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
48	9348,43	BH 2	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
49	9348,43	BH 2	3	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN
50	9348,43	BH 3	3	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN
51	9348,43	BH 3	2	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
52	9348,43	BH 3	2	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
53	9348,43	BH 2	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
54	9348,43	BH 2	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
55	9348,43	BH 2	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
56	9348,43	BH 2	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
57	9348,43	BH 2	4	0,0180	AMAN	5	0,0403	AMAN
58	9348,43	BH 2	3	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN
59	9348,43	BH 2	3	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN
60	9348,43	BH 2	1	0,0180	AMAN	2,5	0,0285	AMAN

4.5 Desain Pondasi Rakit

Untuk menghitung kapasitas pondasi rakit dengan bentuk persegi Panjang, Terzaghi memberikan formula sederhana untuk menghitung kapasitas pondasi, berikut adalah perhitungan dalam melakukan desain pondasi rakit:

$$q_u = c \times N_c \times \left(1 + 0,3 \frac{B}{L}\right) + q \times N_q + 0,5 \times B \times N_\gamma \times \left(1 - 0,2 \times \left(\frac{33}{64}\right)\right)$$

$$q_u = 10,19 \times 11,2 + 0,5 \times 33 \times 19,13 \times \left(1 - 0,2 \times \left(\frac{33}{64}\right)\right)$$

$$q_u = 2846 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{izin} = \frac{q_u}{FK}$$

Dimana:

$$C = \text{kohesi (kN/m}^2\text{)} = 0$$

$$B = \text{lebar alas fondasi (m)} = 33 \text{ meter}$$

$$L = \text{lebar alas fondasi (m)} = 64 \text{ meter}$$

$$\text{Diameter tiang} = 1 \text{ m}$$

$$N_c = 37,16$$

$$N_q = 22,46$$

$$N_\gamma = 19,13$$

$$\Phi = 30^\circ$$

$$q = \gamma' \times D_f$$

$$D_f = 11,2 \text{ meter}$$

$$\gamma' = 10,19 \text{ kN/m}^3$$

$$q_{\text{izin}} = \frac{2846}{3} \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{izin}} = 949 \text{ kN/m}^2$$

Sebanyak 25% akan berkontribusi bersama grup tiang bor (fondasi tiang rakit)
yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Kontribusi grup} &= q_{\text{izin}} \times 25\% \times B \times L \\ &= 949 \times 25\% \times 33 \times 64 \\ &= 500967,98 \text{ kN} \\ &= 50096,8 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tiang bor sebesar} &= 500967,98 \text{ kN} / 9348,44 \text{ kN} \\ &= 53 \text{ tiang} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tiang yang diperlukan} &= 25\% \times 282 \text{ tiang} \\ &= 74 \text{ tiang} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya dukung tiang yang diperlukan} &= 74 \times 9348,44 \\ &= 68969,87 \text{ kN} \\ &= 6896,9 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Daya dukung aktual fondasi rakitan setelah dikurangi area fondasi bor pada sistem ganda adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q_u &= (q \text{ izin} \times (B \times L)) - (\text{Jumlah Tiang} \times \text{Luas Tiang}) \\
 &= (949 \times (33 \times 64)) - (282 \times \pi \times r^2) \\
 &= (949 \times ((33 \times 64) - (282 \times 3,14 \times 0,5^2))) \\
 &= 2.004.288 - 210080,13 \\
 &= 1.794.207,87 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Pada sistem ganda maka diperoleh kontribusi fondasi rakitan sebesar 40,72% dari beban maksimum 1.063.505,27 kN pada struktur bawah, sedangkan pada SRPMK diperoleh kontribusi fondasi rakitan sebesar 41,41% dari beban maksimum 1.051.125,08 atau lebih besar dari 25% (AMAN)

4.6 Desain Dinding Penahan Tanah

Berdasarkan data tanah yang diperoleh dan prinsip mekanika tanah, sub-bab ini akan menguraikan perhitungan desain DPT. Tujuannya adalah menentukan dimensi DPT yang tepat agar mampu menahan tekanan tanah dan beban lainnya pada gedung. Bagian yang ditinjau pada DPT adalah sebagai berikut:



Gambar 4.7: DPT yang ditinjau pada perhitungan

4.6.1 Teori Rankine

Tekanan lateral aktif adalah gaya tekan yang diberikan oleh massa tanah ke arah horizontal pada struktur penahan tanah (seperti dinding penahan), ketika tanah mengalami kondisi lepas (tanah "meluncur" karena dinding menjauh dari tanah). Berikut adalah rumus untuk tekanan lateral aktif dan tekanan lateral pasif:

$$E_a = \frac{1}{2} H^2 \times \gamma \times K_a - 2 \times c \times \sqrt{K_a} \times H$$

Dimana:

E_a = Total gaya tekanan aktif (kN/m)

γ = Berat isi tanah (kN/m²)

H = Tinggi dinding penahan tanah (m)

K_a = Koefisien tekanan tanah aktif

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$E_p = \frac{1}{2} H^2 \times \gamma \times K_p + 2 \times c \times \sqrt{K_p} \times H$$

Dimana:

E_p = Total gaya tekanan aktif (kN/m)

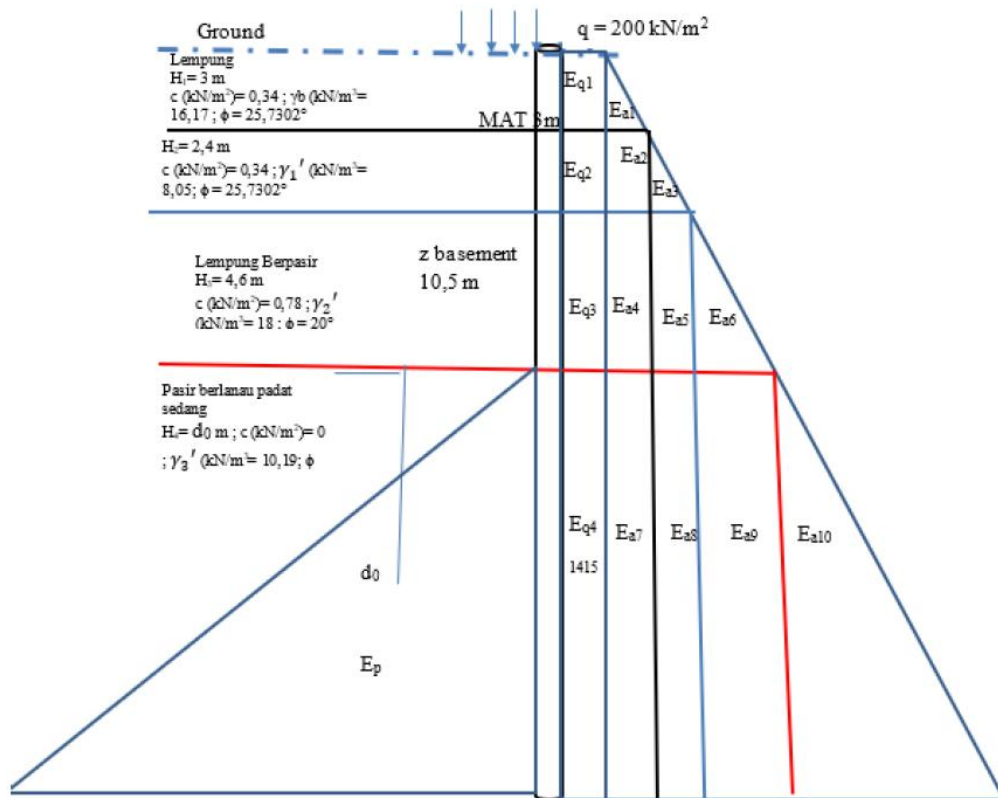
γ = Berat isi tanah (kN/m²)

H = Tinggi dinding penahan tanah (m)

K_p = Koefisien tekanan tanah pasif

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

Untuk mengelola tekanan tanah akibat galian dalam, Gambar 4.8 menampilkan desain DPT. Desain ini penting untuk menstabilkan tanah di sekitar struktur Gedung.



Gambar 4.8: Desain Rencana Dinding Penahan Tanah

Untuk memahami karakteristik tanah di lokasi proyek, Tabel 4.16 menyajikan parameter tanah hasil uji laboratorium berdasarkan gambar 4.1. Data ini digunakan sebagai dasar perhitungan dan desain teknis.

Tabel 4.38: Parameter Tanah

Notasi	Nilai	Satuan
$q =$	200	kN/m^2
$\phi_1 =$	25,7302	°
$\phi_2 =$	20	°
$\phi_3 =$	25,7	°
$H_1 =$	3	m
$H_2 =$	2,4	m
$H_3 =$	4,6	m
$H_4 =$	d0	m

Berdasarkan teori Rankine dan parameter tanah yang telah diperoleh, Koefisien tanah aktif dan koefisien tanah aktif dapat dihitung dengan mempertimbangkan sudut geser dalam tanah (ϕ), yang kemudian akan digunakan dalam perhitungan gaya lateral, berikut adalah perhitungan nilai koefisien tekanan tanah aktif (K_a) dan koefisien tekanan tanah pasif (K_p).

Perhitungan koefisien tanah aktif:

$$\begin{aligned}K_{a1} &= \tan^2 \left(45 - \frac{\phi_1}{2} \right) \\&= \tan^2 \left(45 - \frac{25,7302}{2} \right) \\&= 0,395\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_{a2} &= \tan^2 \left(45 - \frac{\phi_2}{2} \right) \\&= \tan^2 \left(45 - \frac{20}{2} \right) \\&= 0,490\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_{a3} &= \tan^2 \left(45 - \frac{\phi_3}{2} \right) \\&= \tan^2 \left(45 - \frac{30}{2} \right) \\&= 0,333\end{aligned}$$

Perhitungan koefisien tanah pasif:

$$\begin{aligned}K_p &= \tan^2 \left(45 - \frac{\phi_3}{2} \right) \\&= \tan^2 \left(45 - \frac{25,7}{2} \right) \\&= 2,53\end{aligned}$$

4.6.2 Tekanan Akibat Beban *Surcharge*:

Beban surcharge adalah timbunan tambahan yang diberikan di atas permukaan tanah lunak untuk mempercepat proses konsolidasi sebelum konstruksi utama dilakukan (Yapriadi, Sumarli, & Iskandar, 2020).

Berdasarkan gambarr 4.8, diketahui beban surcharge bernilai $q = 200 \text{ kN/m}^2$

Maka:

Gaya 1-2

$$\begin{aligned} E_{q1} &= q \times H_1 \times K_{a1} \\ &= 200 \times 3 \times 0,395 \\ &= 236,74 \\ E_{q2} &= q \times H_2 \times K_{a1} \\ &= 200 \times 2,4 \times 0,395 \\ &= 189,39 \end{aligned}$$

Lengan 1-2

$$\begin{aligned} L_{1-2} &= \left(\left(\frac{1}{2} \times 5,4 \right) + 4,6 + d_0 \right) \\ &= 7,3 + d_0 \end{aligned}$$

Momen 1-2

$$\begin{aligned} &1728,2 + 236,74 d_0 \\ &1382,54 + 189,39 d_0 \end{aligned}$$

Gaya 3

$$\begin{aligned} E_{q3} &= q \times H_3 \times K_{a2} \\ &= 200 \times 4,6 \times 0,490 \\ &= 451,07 \end{aligned}$$

Lengan 3

$$\begin{aligned} L_3 &= \left(\left(\frac{1}{2} \times 4,6 \right) + d_0 \right) \\ &2,3 + d_0 \end{aligned}$$

Momen 3

$$1037,46 + 451,07 d_0$$

Gaya 4

$$\begin{aligned} E_{q4} &= q \times H_4 \times K_{a3} \\ &= 200 \times 4,6 \times 0,333 \\ &= 66,67 d_0 \end{aligned}$$

Lengan 4

$$L_4 = \left(\frac{1}{2} \times d_0 \right)$$

$$0,5 d_0$$

Momen 4

$$33,33 d_0^2$$

4.6.3 Tekanan Lateral Aktif

Setelah menentukan koefisien tanah aktif, perhitungan tekanan lateral aktif dapat dilakukan. Pada bagian ini akan menguraikan bagaimana gaya lateral yang bekerja pada Dinding Penahan Tanah (DPT) dihitung pada berbagai kedalaman.

Diketahui:

$$K_{a1} = 0,395$$

$$K_{a2} = 0,490$$

$$K_{a3} = 0,333$$

$$\varphi_1 = 25,73^\circ$$

$$\varphi_2 = 20^\circ$$

$$\varphi_3 = 25,7^\circ$$

$$H_1 = 3 \text{ m}$$

$$H_2 = 2,4 \text{ m}$$

$$H_3 = 4,6 \text{ m}$$

$$H_4 = d_0 \text{ m}$$

$$\gamma_b = 16,17 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_1' = 8,05 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_2' = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_3' = 10,19 \text{ kN/m}^3$$

$$c_1 = 0,34 \text{ kN/m}^2$$

$$c_2 = 0,78 \text{ kN/m}^2$$

Maka:

Gaya 1:

$$\begin{aligned}E_{a1} &= \frac{1}{2} \times H_1^2 \times \gamma_b \times K_{a1} - 2 \times c_1 \times \sqrt{K_{a1}} \times H_1 \\&= \frac{1}{2} \times 3^2 \times 16,17 \times 0,395 - 2 \times 0,34 \times \sqrt{0,395} \times 3 \\&= 27,43\end{aligned}$$

Lengan Gaya 1:

$$\begin{aligned}L_1 &= \left(\left(\frac{1}{3} \times 5,4 \right) + 4,6 + d_0 \right) \\&= 6,4 + d_0\end{aligned}$$

Momen 1:

$$175,55 + 27,43 d_0$$

Gaya 2:

$$\begin{aligned}E_{a2} &= H_2 \times H_1 \times \gamma_b \times K_{a1} - 2 \times c_1 \times \sqrt{K_{a1}} \times H_2 \\&= 2,4 \times 3 \times 16,17 \times 0,395 - 2 \times 0,34 \times \sqrt{0,395} \times 2,4 \\&= 44,91\end{aligned}$$

Lengan Gaya 2:

$$\begin{aligned}L_2 &= \left(\left(\frac{1}{2} \times 2,4 \right) + 4,6 + d_0 \right) \\&= 5,8 + d_0\end{aligned}$$

Momen 2:

$$291,47 + 45,91 d_0$$

Gaya 3:

$$\begin{aligned}E_{a3} &= \frac{1}{2} \times H_2^2 \times \gamma_1' \times K_{a1} - 2 \times c_1 \times \sqrt{K_{a1}} \times H_2 \\&= \frac{1}{2} \times 2,4^2 \times 8,05 \times 0,395 - 2 \times 0,34 \times \sqrt{0,395} \times 2,4 \\&= 8,12\end{aligned}$$

Lengan Gaya 3:

$$\begin{aligned}L_3 &= \left(\left(\frac{1}{3} \times 2,4 \right) + 4,6 + d_0 \right) \\&= 5,4 + d_0\end{aligned}$$

Momen 3:

$$43,84 + 8,12 d_0$$

Gaya 4:

$$\begin{aligned} E_{a4} &= H_3 \times H_1 \times \gamma_b \times K_{a2} - 2 \times c_2 \times \sqrt{K_{a2}} \times H_3 \\ &= 4,6 \times 3 \times 16,17 \times 0,49 - 2 \times 0,78 \times \sqrt{0,49} \times 4,6 \\ &= 104,38 \end{aligned}$$

Lengan Gaya 4:

$$\begin{aligned} L_4 &= \left(\left(\frac{1}{2} \times 4,6 \right) + d_0 \right) \\ &= 2,3 + d_0 \end{aligned}$$

Momen 4:

$$240,07 + 104,38 d_0$$

Gaya 5:

$$\begin{aligned} E_{a5} &= H_3 \times H_2 \times \gamma_1' \times K_{a2} - 2 \times c_2 \times \sqrt{K_{a2}} \times H_3 \\ &= 4,6 \times 2,4 \times 8,05 \times 0,49 - 2 \times 0,78 \times \sqrt{0,49} \times 4,6 \\ &= 38,54 \end{aligned}$$

Lengan Gaya 5:

$$\begin{aligned} L_5 &= \left(\left(\frac{1}{2} \times 4,6 \right) + d_0 \right) \\ &= 2,3 + d_0 \end{aligned}$$

Momen 5:

$$88,66 + 38,55 d_0$$

Gaya 6:

$$\begin{aligned} E_{a6} &= \frac{1}{2} \times H_3^2 \times \gamma_2' \times K_{a2} - 2 \times c_2 \times \sqrt{K_{a2}} \times H_3 \\ &= \frac{1}{2} \times 4,6^2 \times 18 \times 0,49 - 2 \times 0,78 \times \sqrt{0,49} \times 4,6 \\ &= 88,34 \end{aligned}$$

Lengan Gaya 6:

$$L_6 = \left(\left(\frac{1}{3} \times 4,6 \right) + d_0 \right)$$

$$= 1,53 + d_0$$

Momen 6:

$$135,17 + 88,35 d_0$$

Gaya 7:

$$\begin{aligned} E_{a7} &= H_4 \times H_1 \times \gamma_b \times K_{a3} \\ &= d_0 \times 3 \times 16,17 \times 0,333 \\ &= 16,17 d_0 \end{aligned}$$

Lengan Gaya 7:

$$\begin{aligned} L_7 &= \left(\frac{1}{2} + d_0 \right) \\ &= 0,5 d_0 \end{aligned}$$

Momen 7:

$$8,08 d_0^2$$

Gaya 8:

$$\begin{aligned} E_{a8} &= H_4 \times H_2 \times \gamma_1' \times K_{a3} \\ &= d_0 \times 2,4 \times 8,05 \times 0,333 \\ &= 6,44 d_0 \end{aligned}$$

Lengan Gaya 8:

$$\begin{aligned} L_8 &= \left(\frac{1}{2} + d_0 \right) \\ &= 0,5 d_0 \end{aligned}$$

Momen 8:

$$3,22 d_0^2$$

Gaya 9:

$$\begin{aligned} E_{a9} &= H_4 \times H_2 \times \gamma_2' \times K_{a3} \\ &= d_0 \times 2,4 \times 18 \times 0,333 \\ &= 14,4 d_0 \end{aligned}$$

Lengan Gaya 9:

$$\begin{aligned} L_9 &= \left(\frac{1}{2} + d_0 \right) \\ &= 0,5 d_0 \end{aligned}$$

Momen 9:

$$7,2 d_0^2$$

Gaya 10:

$$\begin{aligned} E_{a10} &= \frac{1}{2} \times H_4^2 \times \gamma_3' \times K_{a3} \\ &= 0,5 \times d_0^2 \times 10,19 \times 0,333 \\ &= 1,68 d_0^2 \end{aligned}$$

Lengan Gaya 10:

$$\begin{aligned} L_{10} &= \left(\frac{1}{2} + d_0 \right) \\ &= 0,5 d_0 \end{aligned}$$

Momen 10:

$$0,84 d_0^3$$

Maka:

$$\begin{aligned} \text{Persamaan total momen tanah aktif} &= 0,84 d_0^3 + 51,83 d_0^2 + 1189,94 d_0 + \\ &5034,3 \end{aligned}$$

4.6.4 Tekanan Lateral Pasif

Setelah menentukan koefisien tanah pasif, perhitungan tekanan lateral pasif dapat dilakukan. Pada bagian ini akan menguraikan bagaimana gaya lateral yang bekerja pada Dinding Penahan Tanah (DPT) dihitung pada berbagai kedalaman.

Diketahui:

$$H_4 = d_0 \text{ m}$$

$$\varphi_3 = 25,7^\circ$$

$$\gamma_3' = 10,19 \text{ kN/m}^3$$

$$K_p = 2,57$$

Maka:

Gaya 1:

$$\begin{aligned} E_p &= \frac{1}{2} \times H_4^2 \times \gamma_3' \times K_p \\ &= 0,5 \times d_0^2 \times 10,19 \times 2,53 \\ &= 12,89 d_0^2 \end{aligned}$$

Lengan Gaya 1:

$$L_{10} = \left(\frac{1}{2} + d_0\right) \\ = 0,5 d_0$$

Momen 1:

$$6,45 d_0^3$$

$$\text{Nilai total momen tanah pasif} = 6,45 d_0^3$$

4.6.5 Analisis Kedalaman Tiang pada Dasar Besmen

Perhitungan ini bertujuan untuk memastikan bahwa tiang memiliki panjang yang cukup untuk mencapai lapisan tanah pendukung yang memadai, sehingga mampu menahan beban aksial, gaya lateral, serta gaya angkat, serta dapat membatasi penurunan yang terjadi

Kedalaman tiang dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$\sum M d_0 = 0.$$

$$M_a + M_p = 0$$

$$0,84 d_0^3 + 51,83 d_0^2 + 1189,94 d_0 + 5034,3 + (-6,45 d_0^3) = 0$$

$$0,84 d_0^3 + 51,83 d_0^2 + 1189,94 d_0 + 5034,3 + (-6,45 d_0^3) = 0$$

$$-5,61 d_0^3 + 51,83 d_0^2 + 1189,94 d_0 + 5034,3 = 0$$

$$d_0 = 21,23 \text{ m}$$

Nilai d_0 sudah didapatkan, dimasukkan nilai d_0 ke persamaan total momen tanah aktif =

$$M_a = 0,84 d_0^3 + 51,83 d_0^2 + 1189,94 d_0 + 5034,3$$

$$M_a = 0,84 \times 21,23^3 + 51,83 \times 21,23^2 + 1189,94 \times 21,23 + 5034,3$$

$$M_a = 61694 \text{ kN.m}$$

$$M_a = 6289 \text{ Ton.m}$$

$$\text{Maka nilai total momen aktif} = 6289 \text{ Ton.m}$$

Nilai d_0 sudah didapatkan, dimasukkan nilai d_0 ke persamaan total momen tanah pasif =

$$M_p = 6,45 d_0^3$$

$$M_p = 6,45 \times 21,23^3$$

$$M_p = 61717 \text{ kN.m}$$

$$M_p = 6291,3 \text{ Ton.m}$$

Maka nilai total momen pasif = 6291,3 Ton.m

4.6.6 Pengecekan Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Untuk menentukan efektivitas pondasi tiang pada struktur besmen, ada dua dimensi utama. Pertama panjang tiang yang tertanam di bawah dasar besmen, ini penting untuk penyaluran beban. Kedua, panjang tiang keseluruhan dari permukaan tanah hingga ujung tiang, dengan perhitungan sebagai berikut:

Diketahui:

$$H_1 = 3 \text{ m}$$

$$H_2 = 2,4 \text{ m}$$

$$H_3 = 4,6 \text{ m}$$

$$d_0 = 21,23 \text{ m}$$

$$SF = 1,2$$

$$D = SF \times d_0$$

$$= 1,2 \times 21,23$$

$$= 25,48 \text{ m}$$

Panjang secant pile keseluruhan:

$$L = H_1 + H_2 + H_3 + D$$

$$= 3 + 2,4 + 4,6 + 25,48$$

$$= 35,48 \text{ m}$$

$$SF = \frac{\Sigma M_p}{\Sigma M_a}$$

$$SF = \frac{61717}{61694}$$

$$SF = \frac{61717}{61694}$$

$$SF = 1,00$$

$SF = 1,00 < 2$ (Tidak aman terhadap guling)

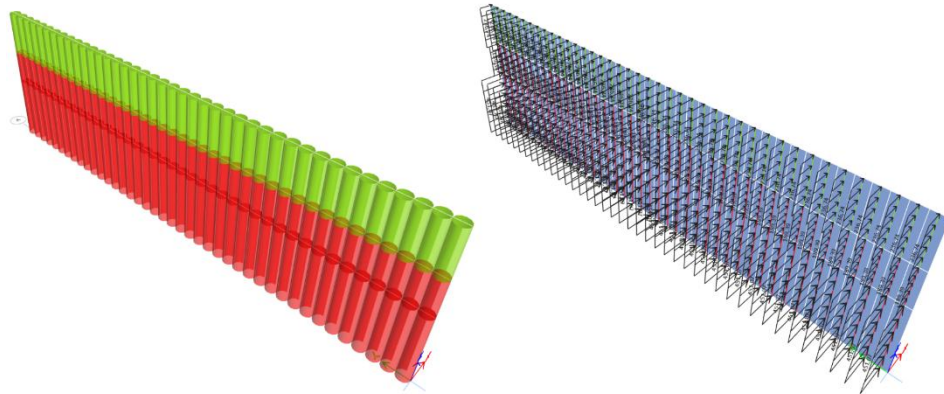
SNI 8460:2017 pasal 10.2.5.3

Setiap dinding penahan tanah harus diperiksa stabilitasnya terhadap guling, geser lateral, dan daya dukung.

Faktor keamanan yang disyaratkan adalah sebagai berikut:

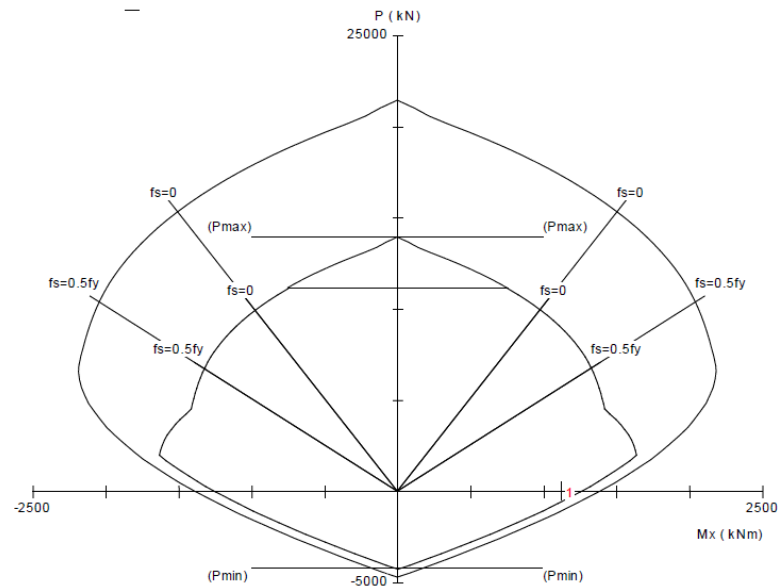
- a) Faktor keamanan terhadap guling minimum 2;
- b) Faktor keamanan terhadap geser lateral minimum 1,5;
- c) Faktor keamanan terhadap daya dukung minimum 3;
- d) Faktor keamanan terhadap stabilitas global minimum 1,5;
- e) Faktor keamanan terhadap gempa minimum 1,1.

Desain DPT dimodelkan dengan menggunakan software, kemudian diberikan gaya lateral aktif dan surcharge dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, berikut adalah desain dari DPT yang telah dimodelkan:



Gambar 4.9: Dinding Penahan Tanah beserta pembebanan

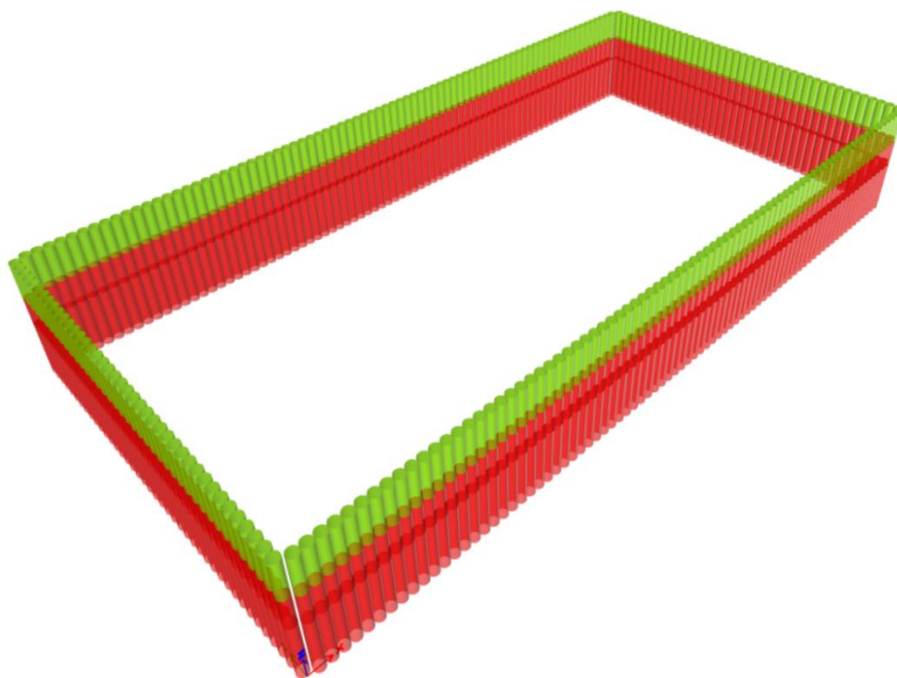
Beban dan Momen maksimum yang terjadi pada desain dicek, apakah sudah sudah masuk kedalam diagram menggunakan pcaColumn



No	P_u kN	M_{ux} kNm	ϕM_{ux} kNm	$\phi M_u/M_u$	NA Depth mm	d_t Depth mm	ϵ_t	ϕ
1	68.00	1121.00	1265.78	1.129	198	738	0.00816	0.900

Gambar 4.10: Interaksi kolom dinding penahan tanah

Dinding penahan tanah dimodelkan sehingga nantinya dapat memberikan gambaran mengenai desain yang direncanakan pada bangunan gedung apartemen The Bliss seperti yang akan diilustrasikan pada gambar 4.11.



Gambar 4.11: Ilustrasi DPT Besmen

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa pondasi gabungan antara pondasi tiang bor dengan pondasi rakit dapat dipakai untuk menambah daya dukung pondasi tiang bor pada perencanaan gedung apartemen The Bliss. Hal tersebut didasari oleh beberapa alasan, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Jumlah tiang bor yang dibutuhkan setelah diefisiensi pada sistem ganda adalah 222 tiang, sedangkan pada SRPMK berjumlah 228 tiang, karena kontribusi dinding geser dalam sistem ganda mampu mengurangi beban yang harus dipikul oleh tiang.
2. Pada dinding penahan tanah keamanan (SF) yang dihasilkan dari pemakaian pondasi gabungan tersebut sebesar 1,00 dimana lebih kecil dari angka keamanan yang direncanakan berdasarkan konsep keamanan global ($SF = 2$), sehingga diperlukan peninjauan ulang terhadap desain struktur atau dinding penahan tanah.
3. Beban maksimum yang ditanggung pada fondasi tiang-rakit sebesar 1.063.505,27 kN dan SRPMK sebesar 1.051.125,08 kN, sehingga efektifitas kombinasi pondasi pada sistem ganda dapat dipikul sebesar 40,72% dan SRPMK sebesar 41,41% setelah kombinasi fondasi tiang-rakit, maka desain tersebut dinyatakan aman karena melebihi syarat yaitu 25%.
4. Penurunan tiang yang dihasilkan dari tiang tunggal masih dapat ditoleransi yaitu sebesar 0,021 m, dimana penurunan tiang tunggal izin sebesar 0,1 m.

5.2 Saran

Agar perencanaan pondasi dapat lebih sempurna, sebaiknya data tanah yang diambil tidak hanya berasal dari data lapangan, tetapi juga dari data laboratorium. Sehingga akan dihasilkan suatu perencanaan yang lebih detail. Selain itu juga perlu diperhitungkan adanya interaksi antara pondasi rakit, tiang dengan tanah agar didapatkan hasil perencanaan pondasi gabungan yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

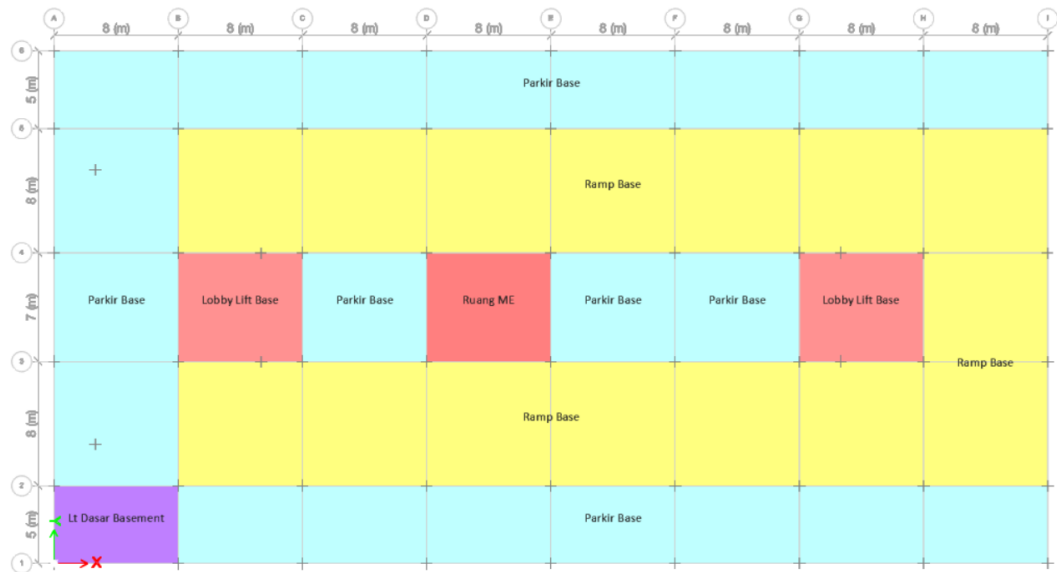
- Hariyono, E., & S., L. (2020). *The Characteristics of Volcanic Eruption in Indonesia*. Dalam G. M. B. V. (Ed.), *Volcanoes: Eruption, Effects, and Mitigation* (hal. 1-20). IntechOpen.
- Badan Pusat Statistik. (2020). Sensus Penduduk Tahun 2020. Badan Pusat Statistik Indonesia. <https://sensus.bps.go.id/main/index/sp2020>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI - 1726 - 2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI - 1727 – 20 Beban Desain Minimum dan Kriteria terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI - 2847 - 2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan dan Penjelasan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Diana, W., Hartono, E., & Widiyanti, A. (2017). *Pengaruh kadar air awal dan surcharge pressure pada uji karakteristik pengembangan tanah ekspansif*. Jurnal MKTS, 3(1), 1–8. Universitas Diponegoro.
- Gian Brian dan Aniek Prihatiningsih. (2024) *Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Fondasi Tiang Bor Biasa Dan Multi-Belled Pile*. Jurnal Mitra Teknik Sipil, 7(2), 573-582.
- Horse Vernondo dan Ade Jaya Saputra (2023). *Analisis Dampak Penambahan Lantai Terhadap Perkuatan Struktur Kolom dan Pondasi Bangunan Ruko 9 Lantai*, Jurnal Teslink, 6(1), 142-156.
- Hulu, S. dkk (2022). *Evaluasi Struktur Bawah Pada Proyek Pembangunan Rumah Susun Paspampres Jakarta Pusat*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 11(1), 21-27.
- Sousa, A., Pinto, A., dan Silva, N. (2024). Combined pile-raft and raft foundation modelling and design for three distinct office buildings in Lisbon, Portugal. In *Geotechnical Engineering Challenges to Meet Current and Emerging Needs of Society* (Hal. 855–860). CRC Press.
- Suwarno dan Wicaksono, L.A. (2023). *Alternatif Desain Struktur Penahan Tanah Pada Proyek Fasilitas Kawasan Geodiversitas Indonesia Di Karang Sambung, Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah*. KoNTekS Ke-17 Balikpapan, 1(6).
- Laurens, Y., Mardiaman, R., dan Manurung, E. H. (2019). *Pemilihan Metode Konstruksi Top Down Pada Pekerjaan Konstruksi Basement Proyek Indonesia Satu*. In Seminar Nasional Cendekiawan Ke (Vol. 5).
- Pribadi G. dan Yonas P. A.R. (2023). *Analisis Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Bor Dengan Perhitungan Manual dan Software ALLPILE*. Jurnal Teslink, 5(2).
- Octavia D.D. dan Tira Roesdiana (2022). *Perencanaan Struktur Hotel Beton Bertulang IV Lantai Di Desa Linggasana – Kuningan*. Jurnal Konstruksi dan Infrastruktur UGJ CIREBON, 10(1).
- Veronika Lydya Intane dan Soerjandani Priantoro (2023). *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Hotel Velins 10 Lantai Di Kota Yogyakarta Dengan*

Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi, 11(3), 161-172.

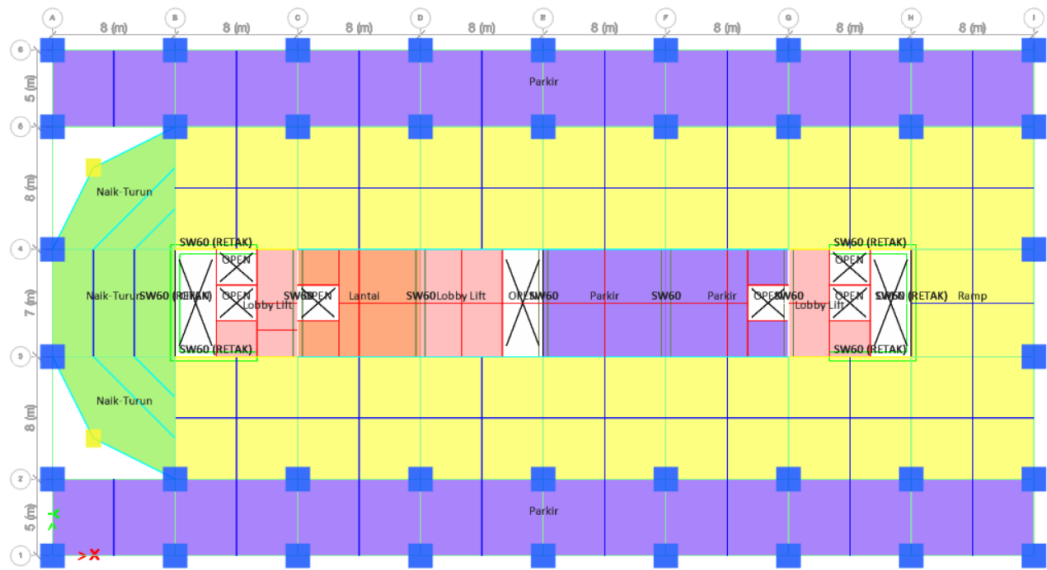
Wang Zhaohe (2024). *Study of Basement Design Based on PKPM Software*. 92.

Wulandari Paravita Sri dan Tjandra Daniel (2015). *Analysis of piled raft foundation on soft soil using PLAXIS 2D*. Jurnal Procedia Engineering, 215, 363-367.

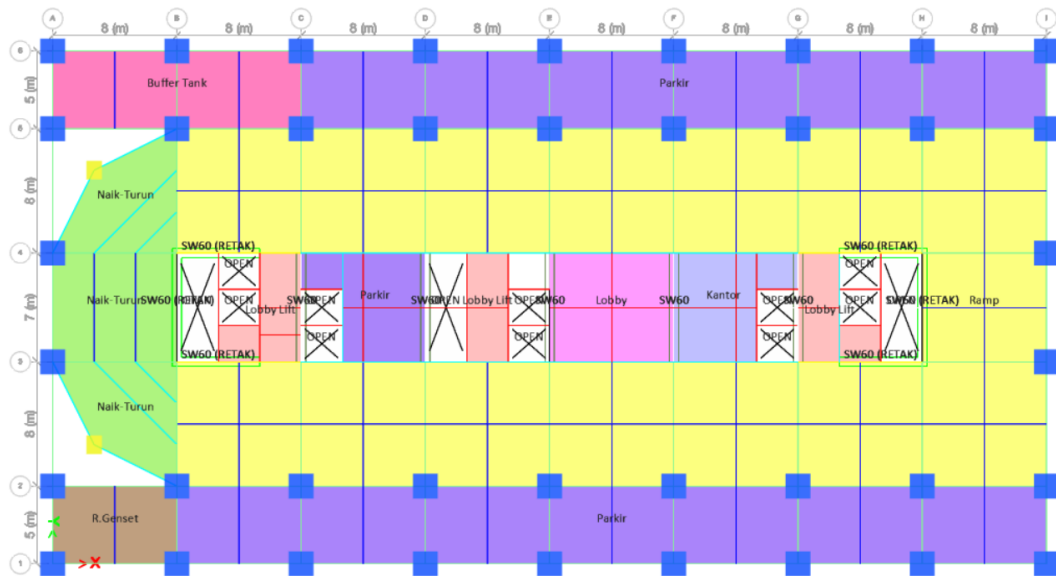
LAMPIRAN



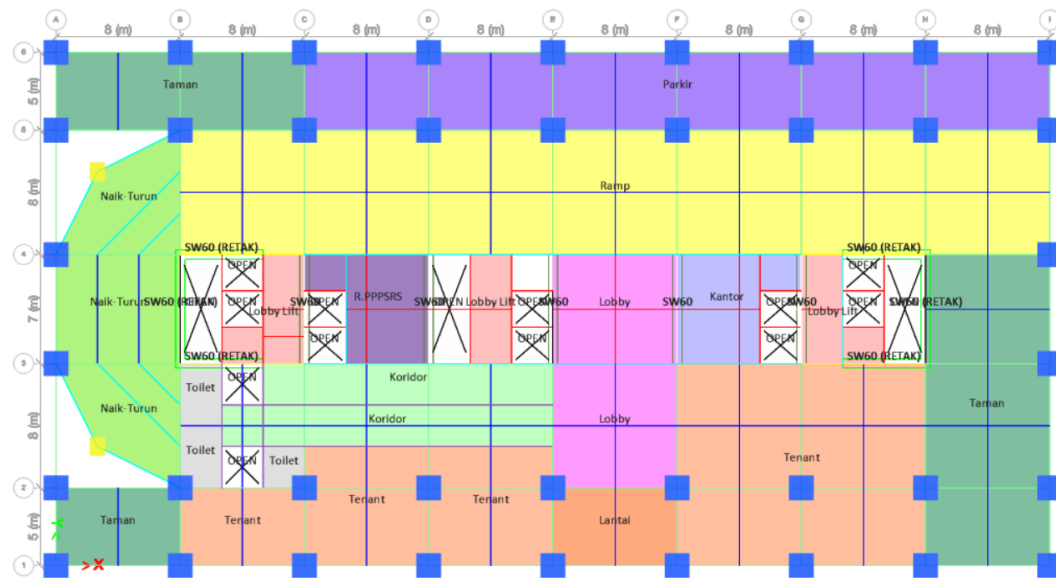
Lampiran 1: Denah lantai besmen 3



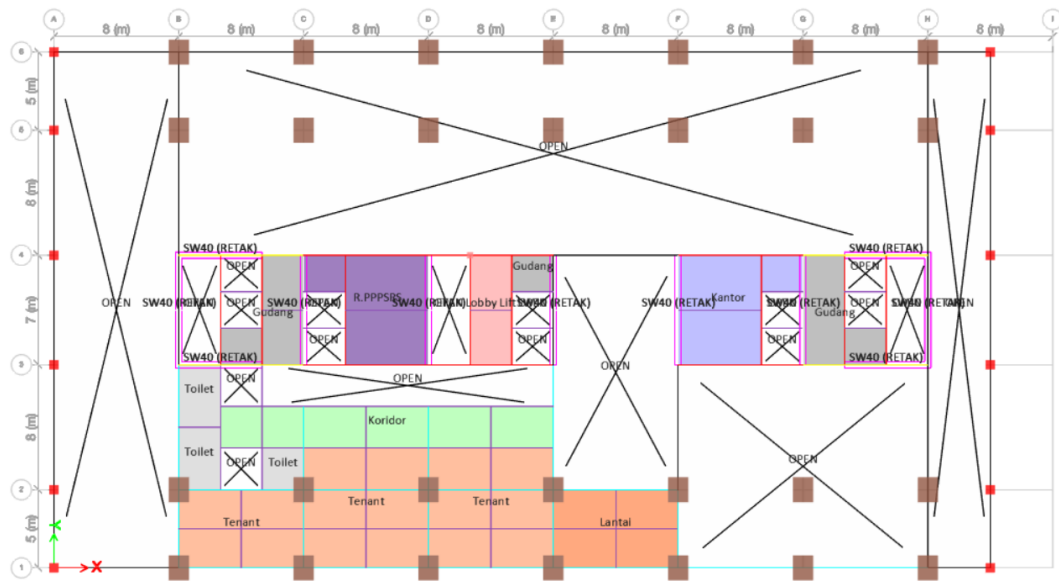
Lampiran 2: Denah lantai besmen 2 sistem ganda



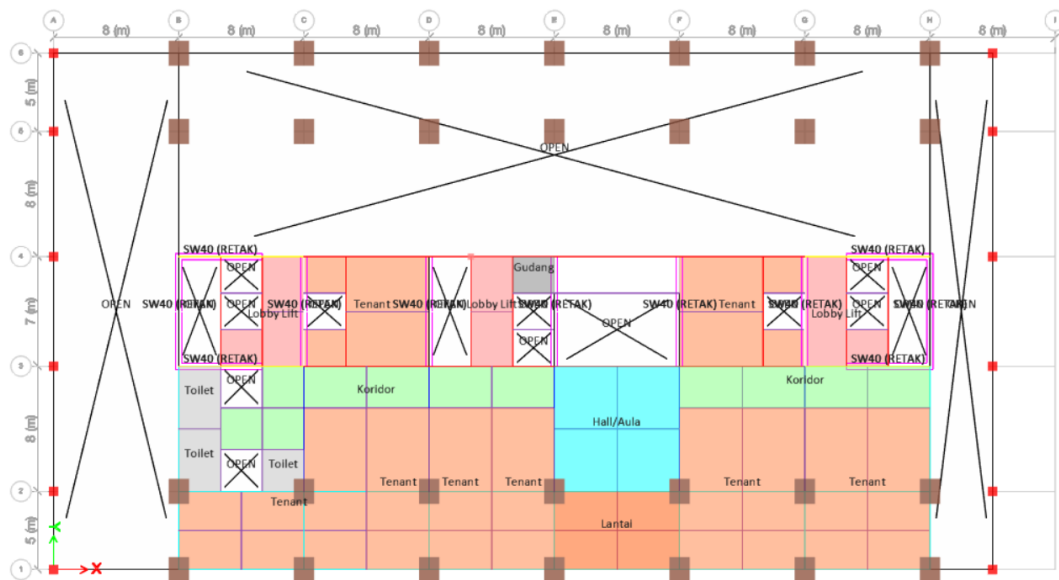
Lampiran 3: Denah lantai besmen 1 sistem ganda



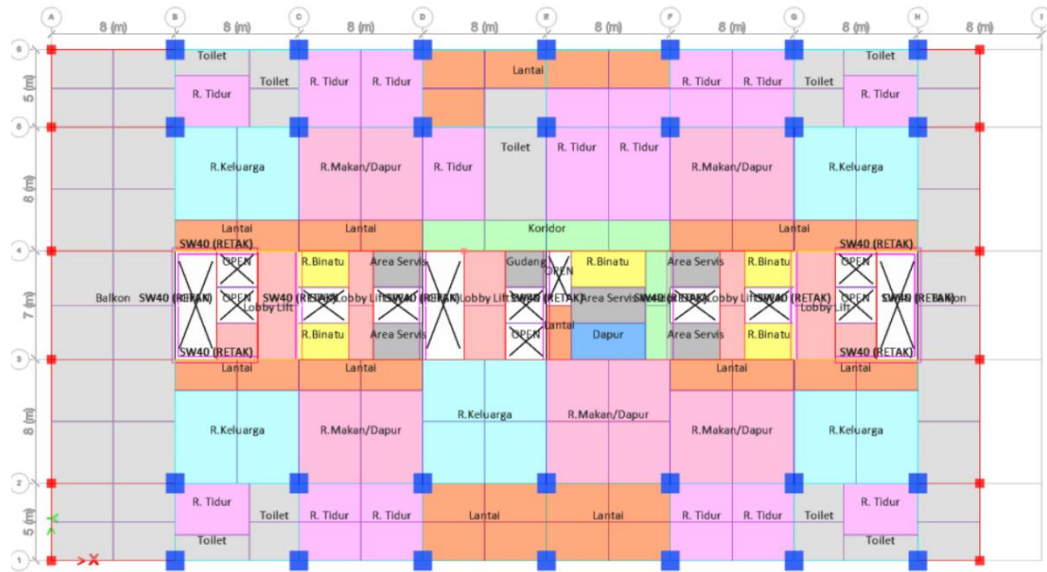
Lampiran 4: Denah lantai ground sistem ganda



Lampiran 5: Denah lantai *mezzanine* sistem ganda



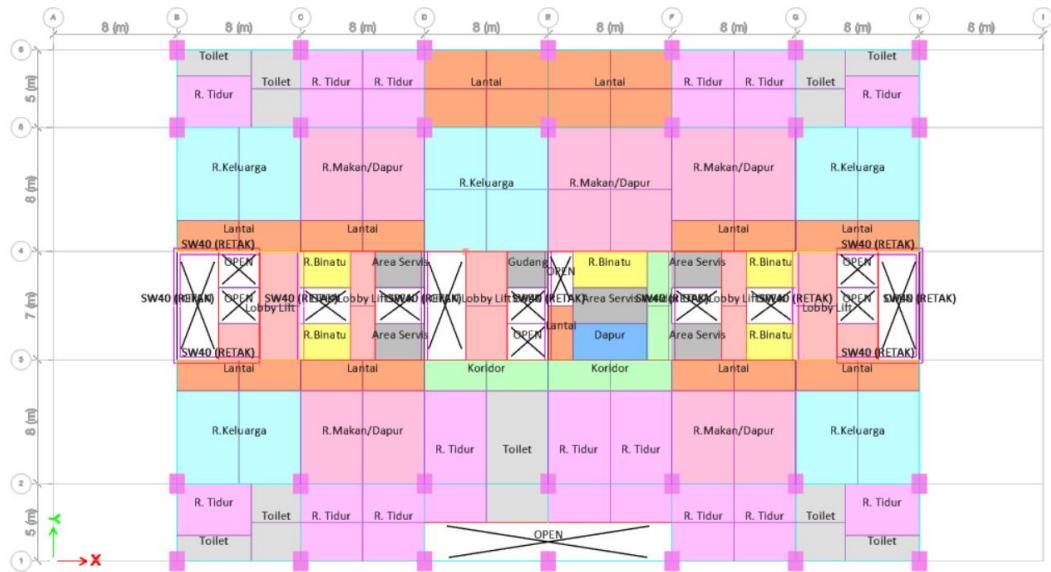
Lampiran 6: Denah lantai 1 sistem ganda



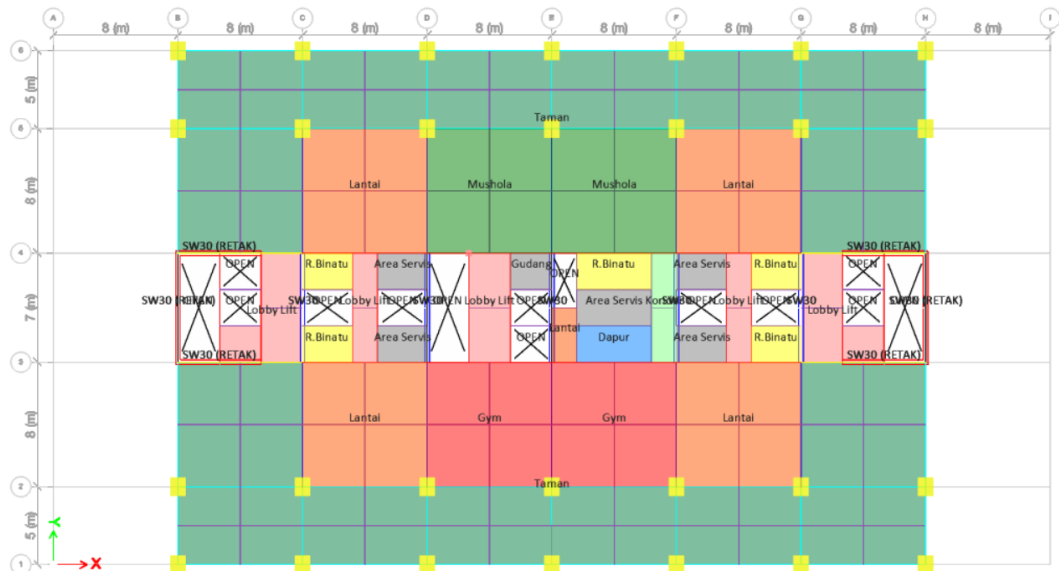
Lampiran 7: Denah lantai 2 sistem ganda



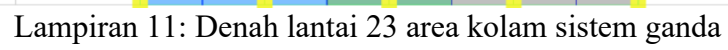
Lampiran 8: Denah lantai 3,5,7,9,11,12,13,15,17,19,21 sistem ganda

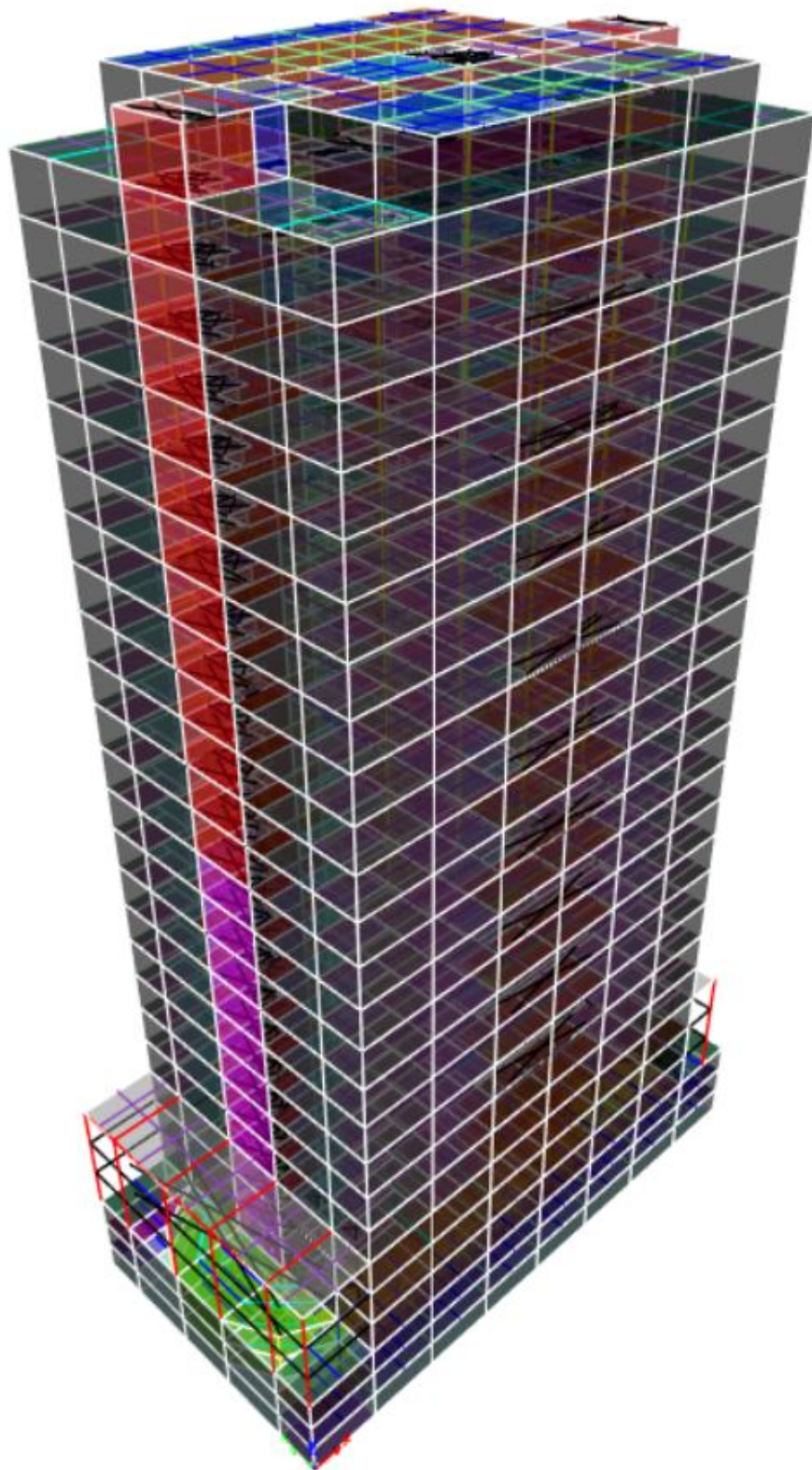


Lampiran 9: Denah lantai 4,6,8,10,12,14,16,18,20 sistem ganda

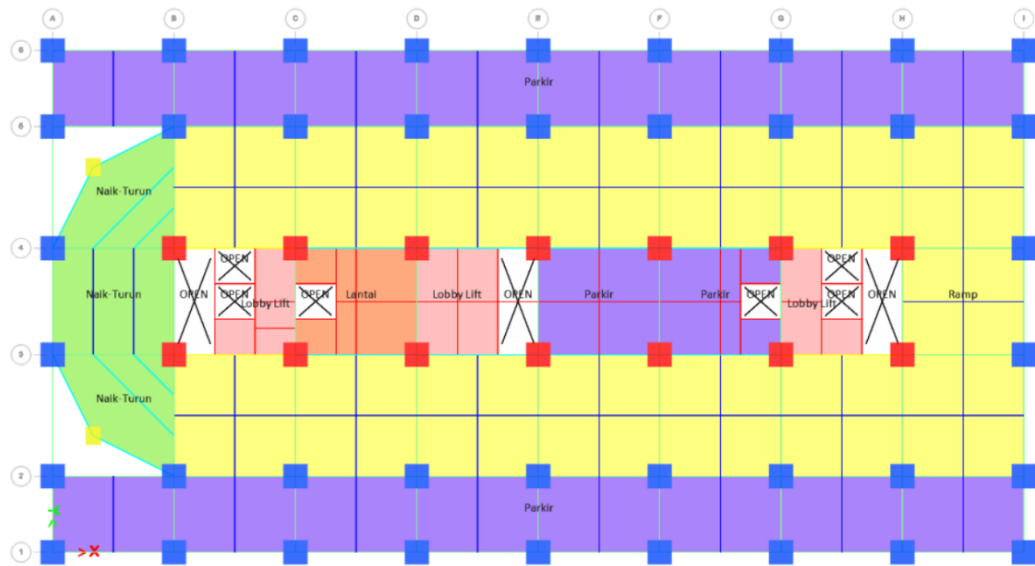


Lampiran 10: Denah lantai 22 rooftop sistem ganda

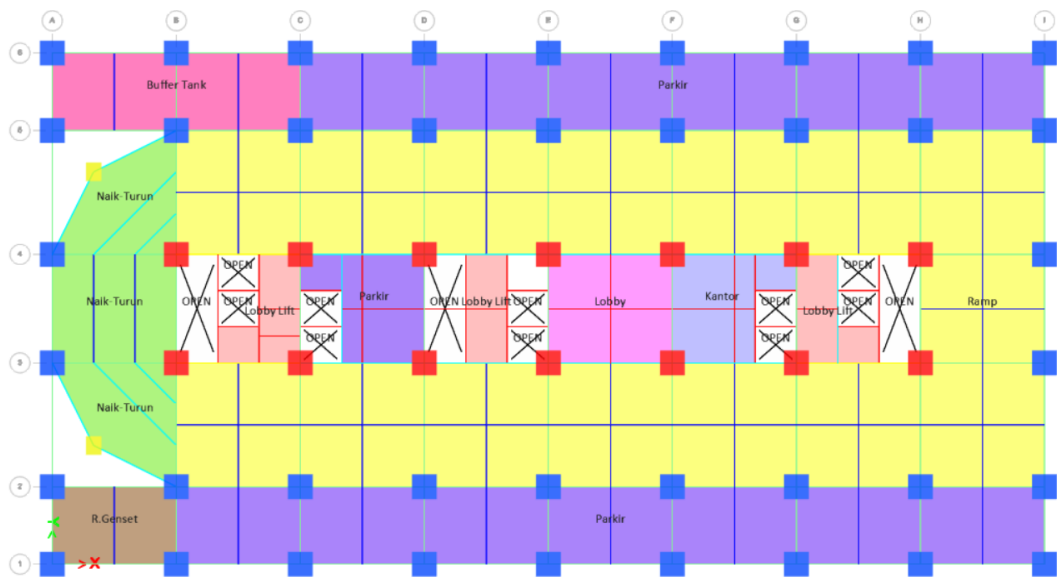




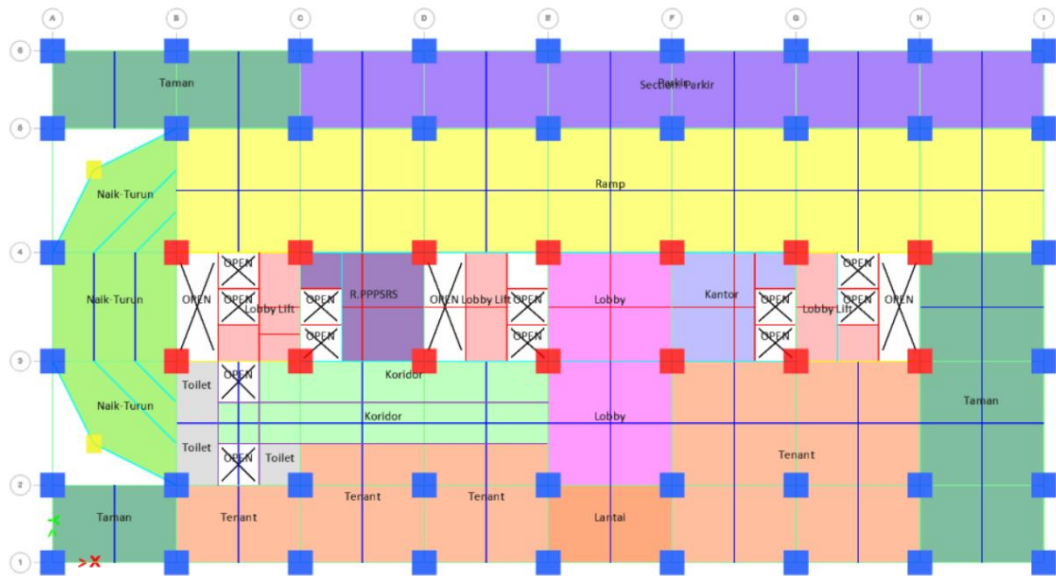
Lampiran 12: Desain gedung apartemen sistem ganda



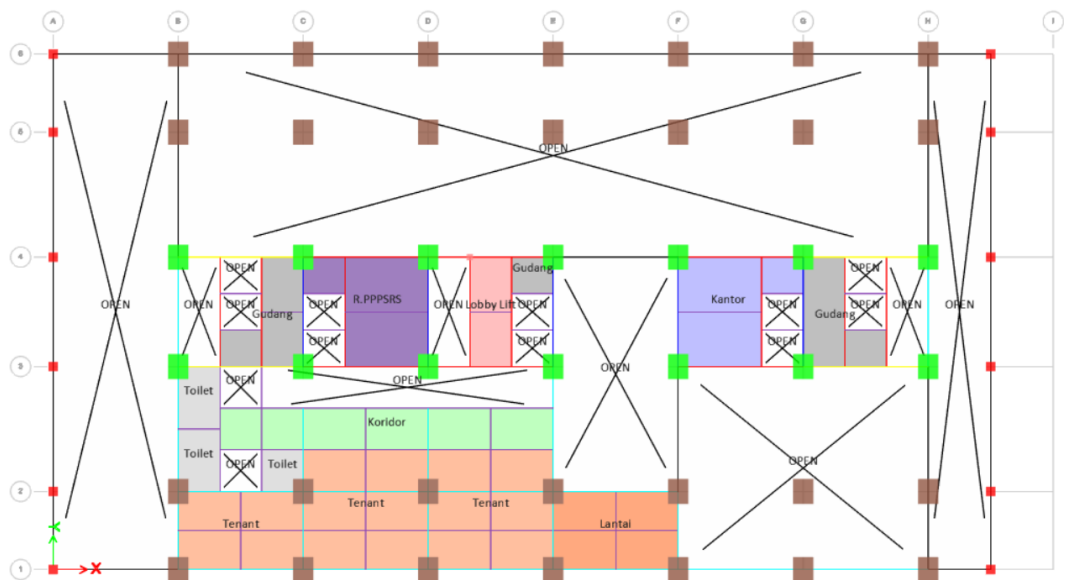
Lampiran 13: Denah lantai besmen 2 SRPMK



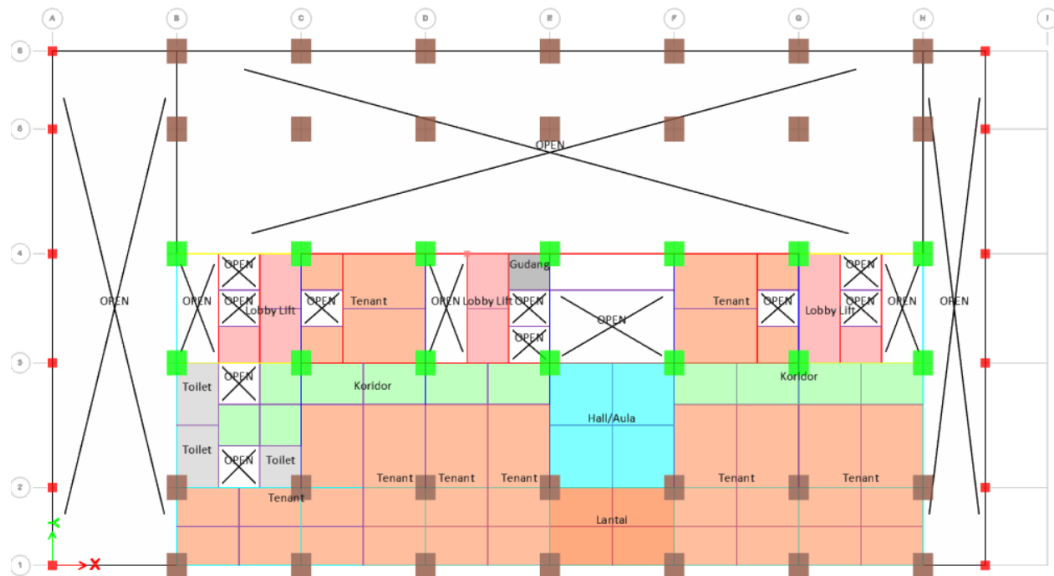
Lampiran 14: Denah lantai besmen 1 SRPMK



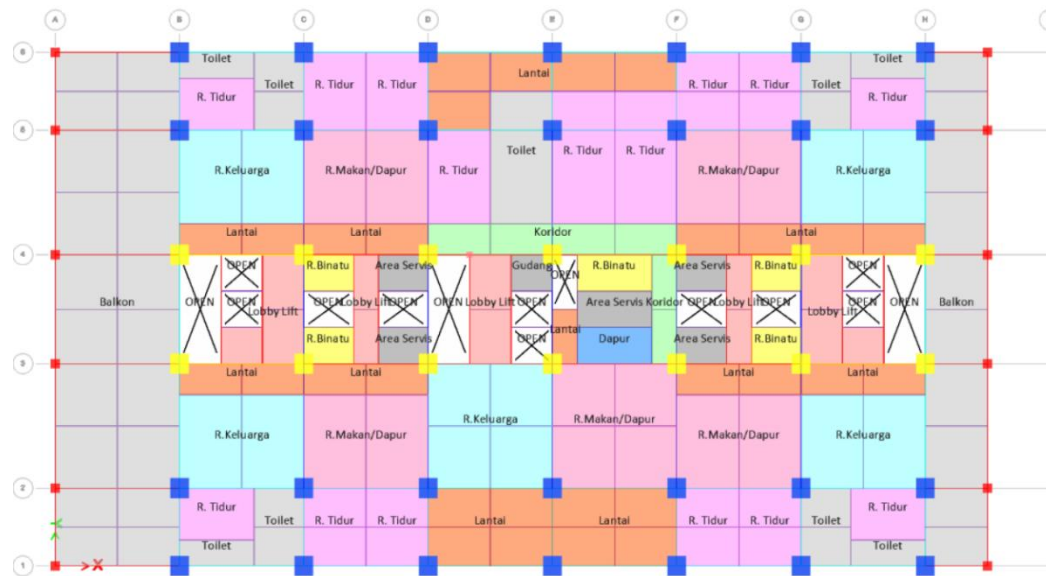
Lampiran 15: Denah lantai ground SRPMK



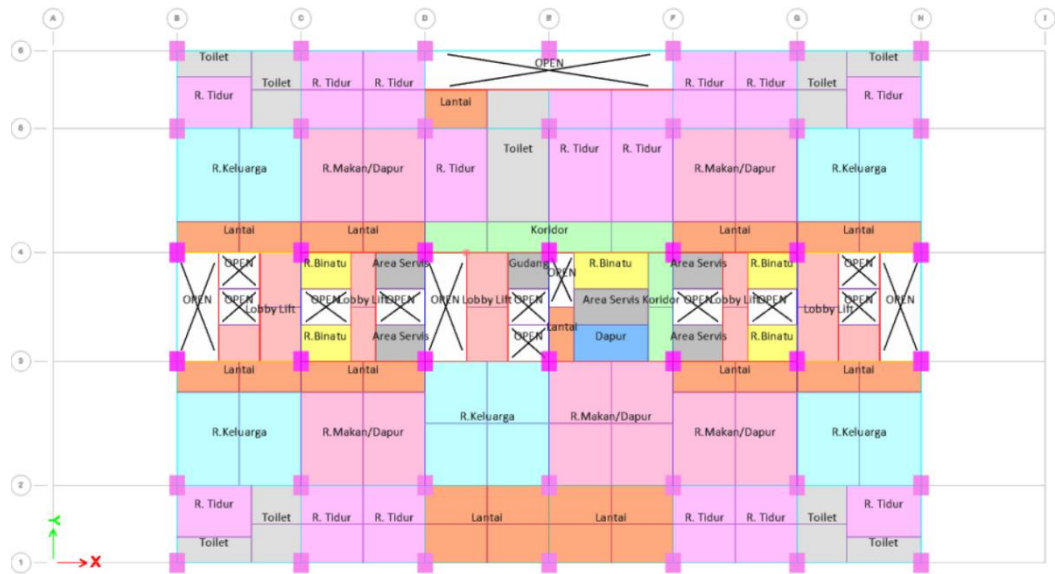
Lampiran 16: Denah lantai mezzanine SRPMK



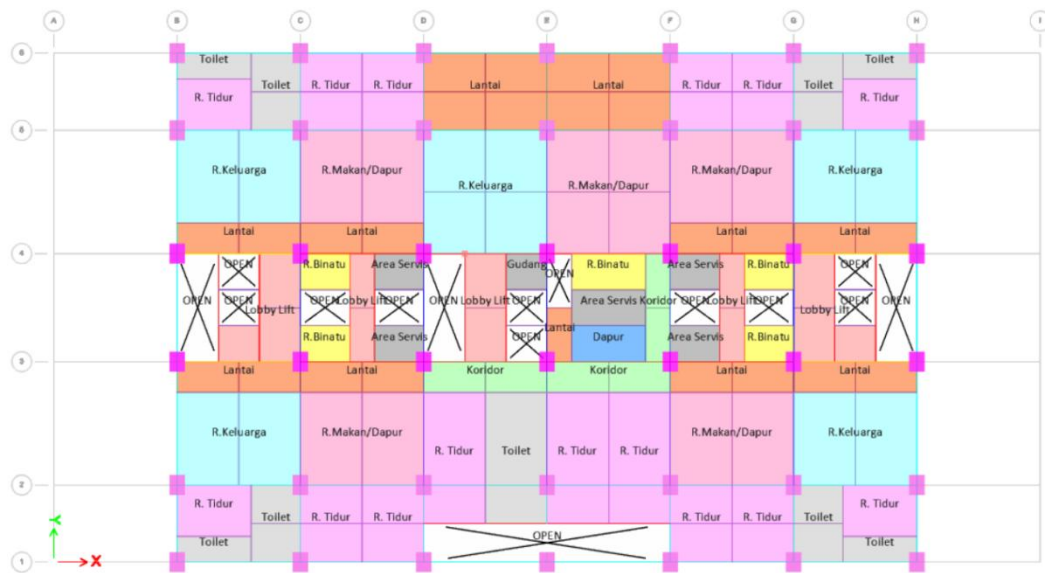
Lampiran 17: Denah lantai 1 SRPMK



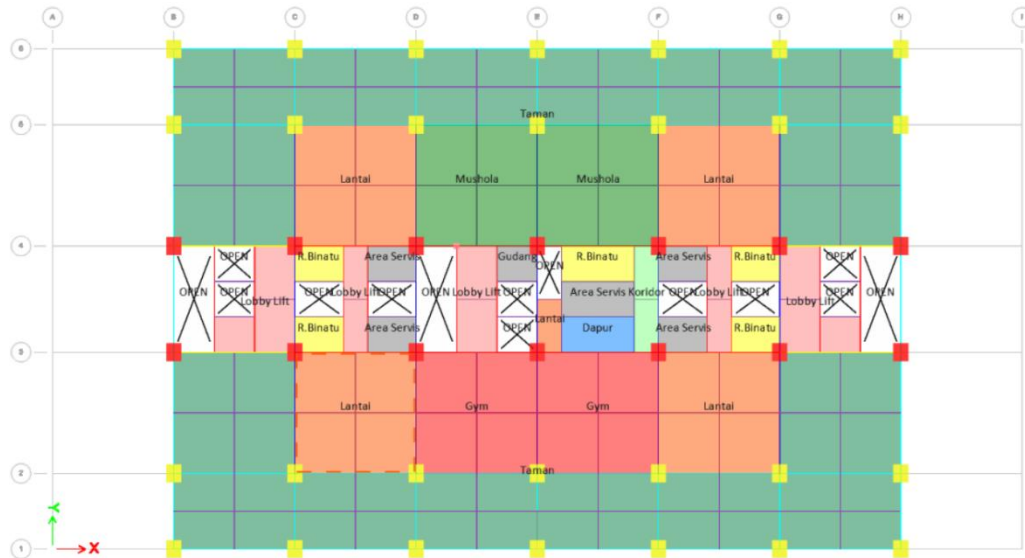
Lampiran 18: Denah lantai 2 SRPMK



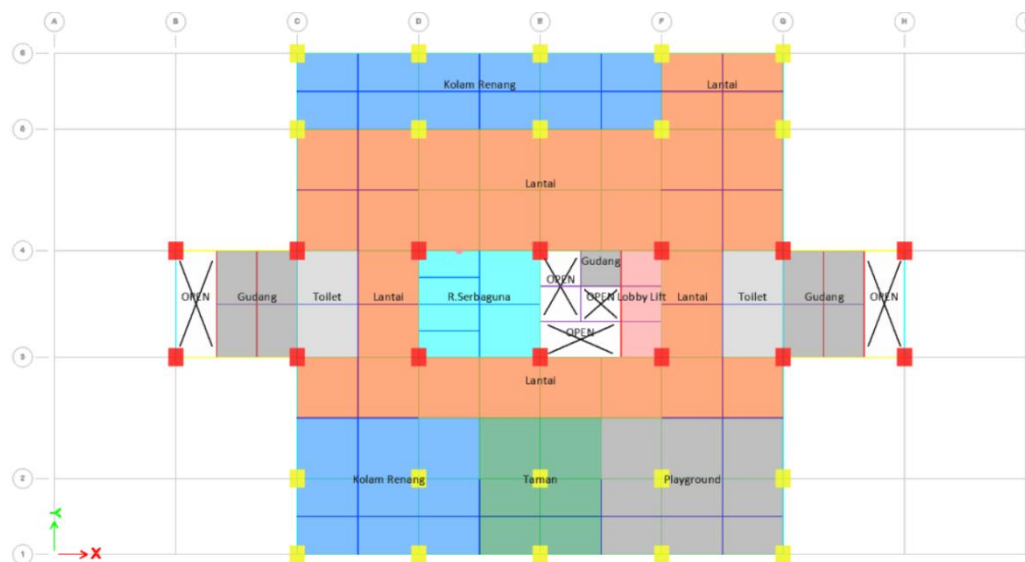
Lampiran 19: Denah lantai 3,5,7,9,11,12,13,15,17,19,21 SRPMK



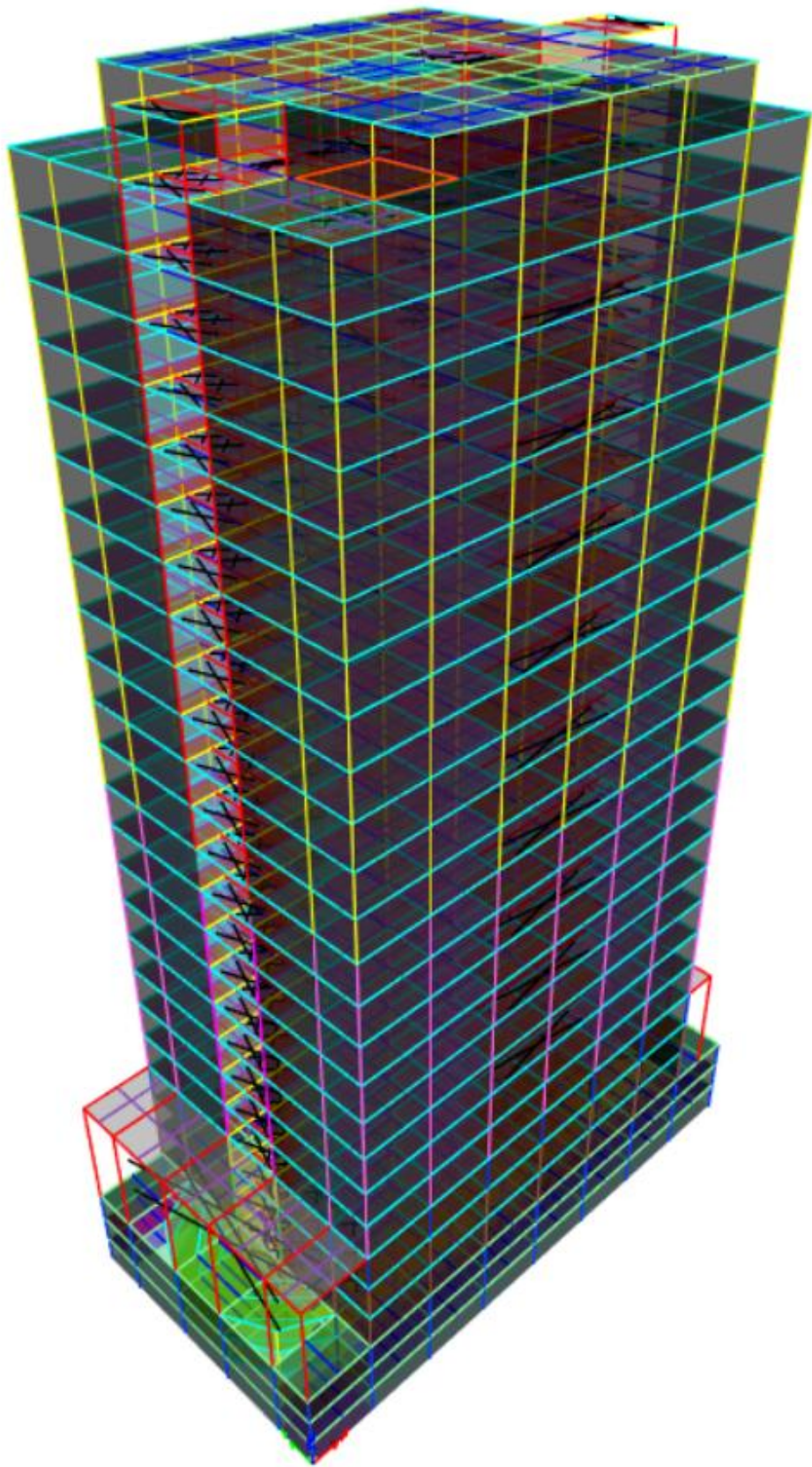
Lampiran 20: Denah lantai 4,6,8,10,12,14,16,18,20 SRPMK



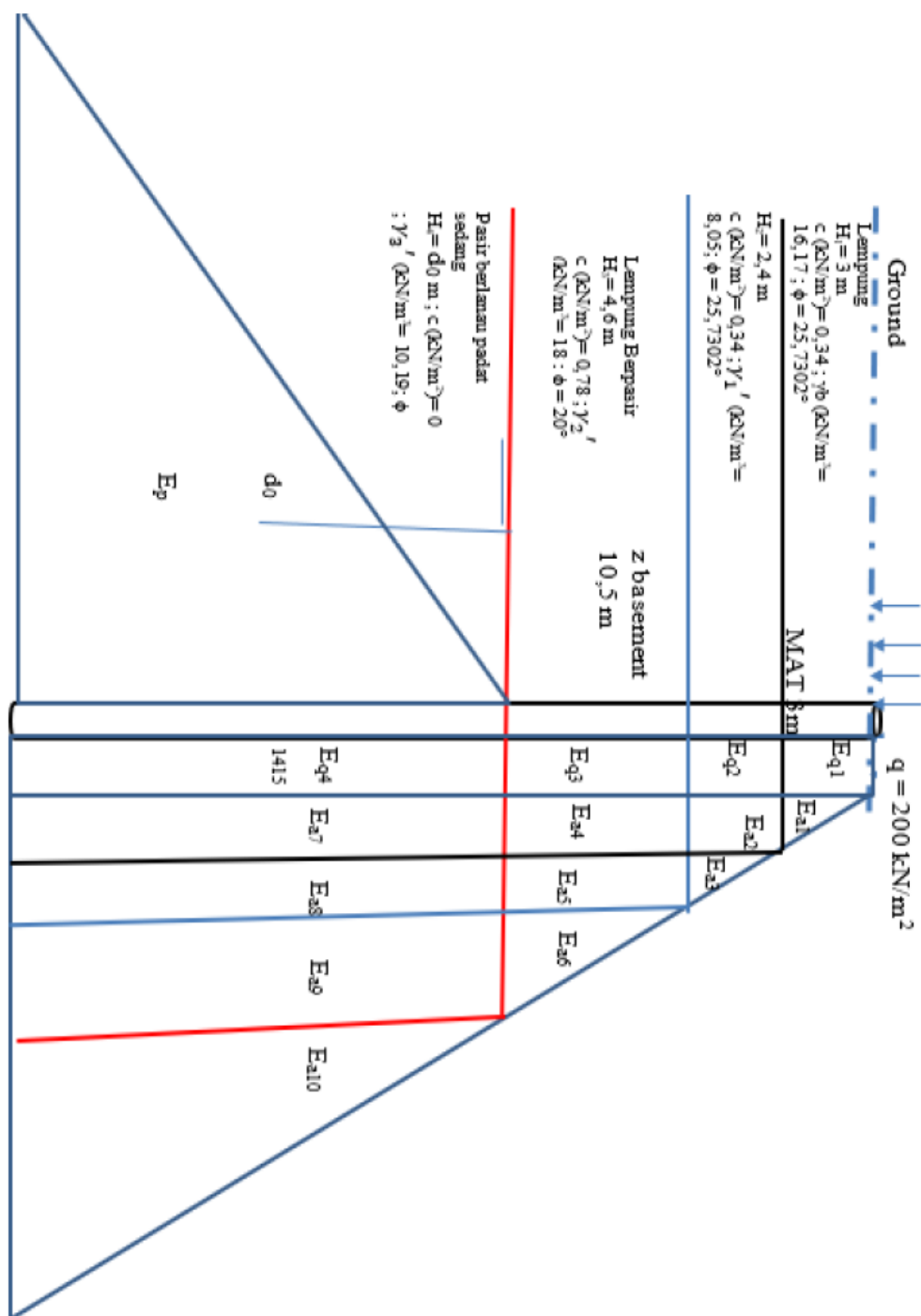
Lampiran 21: Denah lantai 22 rooftop SRPMK



Lampiran 22: Denah lantai 23 area kolam SRPMK



Lampiran 23: Desain gedung apartemen SRPMK



Lampiran 24: Diagram tekanan tanah

Nomor		Kode	DL	SID L	LL	L _r	R	W _x	W _y	E _x	E _y
1	1,1	G1	1	1							
2	2,1	G2	1	1	1						
3	3,1	G3	1	1		1					
	3,2	G4	1	1			1				
4	4,1	G5	1	1	0,7 5	0,7 5					
	4,2	G6	1	1	0,7 5		0,7 5				
5	5,1	G7	1	1				0,6			
	5,1	G8	1	1					0,6		
	5,3	G9	1	1				0,45	0,45		
6	6,1	G10	1	1	0,7 5	0,7 5		0,45			
	6,2	G11	1	1	0,7 5	0,7 5			0,45		
	6,3	G12	1	1	0,7 5	0,7 5		0,337 5	0,337 5		
	6,4	G13	1	1	0,7 5		0,7 5	0,45			
	6,5	G14	1	1	0,7 5		0,7 5		0,45		
	6,6	G15	1	1	0,7 5		0,7 5	0,337 5	0,337 5		
7	7,1	G16	0,6	0,6				0,6			
	7,2	G17	0,6	0,6					0,6		
	7,3	G18	0,6	0,6				0,45	0,45		
8	8,1	N1	1,08 9	1,08 9						0,2730	0,9100
	8,2	N2	1,08 9	1,08 9						0,2730	- 0,9100
	8,3	N3	1,08 9	1,08 9						- 0,2730	0,9100
	8,4	N4	1,08 9	1,08 9						- 0,2730	- 0,9100
	8,5	N5	1,08 9	1,08 9						0,9100	0,2730
	8,6	N6	1,08 9	1,08 9						- 0,9100	0,2730
	8,7	N7	1,08 9	1,08 9						0,9100	- 0,2730
	8,8	N8	1,08 9	1,08 9						- 0,9100	- 0,2730
9	9,1	N9	1,06 7	1,06 7	0,7 5					0,2048	0,6825
	9,2	N10	1,06 7	1,06 7	0,7 5					0,2048	- 0,6825
	9,3	N11	1,06 7	1,06 7	0,7 5					- 0,2048	0,6825

	9,4	N12	1,06 7	1,06 7	0,7 5					- 0,2048	- 0,6825
	9,5	N13	1,06 7	1,06 7	0,7 5					0,6825	0,2048
	9,6	N14	1,06 7	1,06 7	0,7 5					- 0,6825	0,2048
	9,7	N15	1,06 7	1,06 7	0,7 5					0,6825	- 0,2048
	9,8	N16	1,06 7	1,06 7	0,7 5					- 0,6825	- 0,2048
1 0	10, 1	N17	0,51 1	0,51 1						0,2730	0,9100
	10, 2	N18	0,51 1	0,51 1						0,2730	- 0,9100
	10, 3	N19	0,51 1	0,51 1						- 0,2730	0,9100
	10, 4	N20	0,51 1	0,51 1						- 0,2730	- 0,9100
	10, 5	N21	0,51 1	0,51 1						0,9100	0,2730
	10, 6	N22	0,51 1	0,51 1						- 0,9100	0,2730
	10, 7	N23	0,51 1	0,51 1						0,9100	- 0,2730
	10, 8	N24	0,51 1	0,51 1						- 0,9100	- 0,2730
8	8,1	K1	1,08 9	1,08 9						0,5250	1,7500
	8,2	K2	1,08 9	1,08 9						0,5250	- 1,7500
	8,3	K3	1,08 9	1,08 9						- 0,5250	1,7500
	8,4	K4	1,08 9	1,08 9						- 0,5250	- 1,7500
	8,5	K5	1,08 9	1,08 9						1,7500	0,5250
	8,6	K6	1,08 9	1,08 9						- 1,7500	0,5250
	8,7	K7	1,08 9	1,08 9						1,7500	- 0,5250
	8,8	K8	1,08 9	1,08 9						- 1,7500	- 0,5250
9	9,1	K9	1,06 7	1,06 7	0,7 5					0,3938	1,3125
	9,2	K10	1,06 7	1,06 7	0,7 5					0,3938	- 1,3125
	9,3	K11	1,06 7	1,06 7	0,7 5					- 0,3938	1,3125
	9,4	K12	1,06 7	1,06 7	0,7 5					- 0,3938	- 1,3125
	9,5	K13	1,06 7	1,06 7	0,7 5					1,3125	0,3938

	9,6	K14	1,06 7	1,06 7	0,7 5					- 1,3125	0,3938
	9,7	K15	1,06 7	1,06 7	0,7 5					1,3125	- 0,3938
	9,8	K16	1,06 7	1,06 7	0,7 5					- 1,3125	- 0,3938
1 0	10, 1	K17	0,51 1	0,51 1						0,5250	1,7500
	10, 2	K18	0,51 1	0,51 1						0,5250	- 1,7500
	10, 3	K19	0,51 1	0,51 1						- 0,5250	1,7500
	10, 4	K20	0,51 1	0,51 1						- 0,5250	- 1,7500
	10, 5	K21	0,51 1	0,51 1						1,7500	0,5250
	10, 6	K22	0,51 1	0,51 1						- 1,7500	0,5250
	10, 7	K23	0,51 1	0,51 1						1,7500	- 0,5250
	10, 8	K24	0,51 1	0,51 1						- 1,7500	- 0,5250

Lampiran 25: Kombinasi pembebanan struktur bawah

Sistem pemikul gaya seismik		Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0	Faktor pembesaran defleksi, C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
					Kategori desain seismik				
					B	C	D	E	F
D.	Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan								
1.	Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2,5	4	T B	T B	T B	T B	T B
2.	Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2,5	5,5	T B	T B	T B	T B	T B
3.	Dinding geser beton bertulang khusus	7	2,5	5,5	T B	T B	T B	T B	T B
4.	Dinding geser beton bertulang biasa	6	2,5	5	T B	T B	T I	T I	T I
5.	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2,5	4	T B	T B	T B	T B	T B
6.	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2,5	5	T B	T B	T B	T B	T B
7.	Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7,5	2,5	6	T B	T B	T B	T B	T B
8.	Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2,5	6	T B	T B	T B	T B	T B
9.	Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2,5	5	T B	T B	T I	T I	T I
10.	Dinding geser batu bata bertulang khusus	5,5	3	5	T B	T B	T B	T B	T B
11.	Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3,5	T B	T B	T I	T I	T I
12.	Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2,5	5	T B	T B	T B	T B	T B
13.	Dinding geser pelat baja khusus	8	2,5	6,5	T B	T B	T B	T B	T B

Lampiran 26: Faktor R, C_d , dan Ω_0

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA IDENTITAS DIRI

Nama Lengkap : Amil Mukhlis Hasibuan
Tempat, Tanggal Lahir : Sibolga, 4 Agustus 1998
Jeni Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Alamat : Jl. Sisingamangaraja No. 382, Aek Habil,
Sibolga Selatan, Sibolga, Sumatera Utara
Nomor Hp : 082242519125
Nama Ayah : Noyan Hasibuan
Nama Ibu : Dimawati Panggabean
E-mail : amilhsb@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

NIM : 2107210024
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan 20238

PENDIDIKAN FORMAL

Sekolah Dasar : SD Negeri 081239 Sibolga (2010)
Sekolah Menengah Pertama : SMPN 3 Sibolga (2013)
Sekolah Menengah Atas : SMAN 1 Sibolga (2016)