

TUGAS AKHIR

ANALISIS PERILAKU STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG APARTEMEN ARJUNA MATARAM CITY (*STRUCTURE ANALYSIS OF ARJUNA APARTMENT BUILDING MATARAM CITY*)

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



**Ainur Rifa Aliifa
17 511 260**

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

TUGAS AKHIR

ANALISIS PERILAKU STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG APARTEMEN ARJUNA MATARAM CITY



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

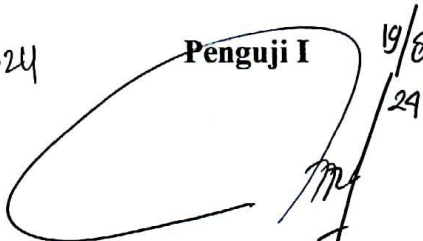
Diuji pada tanggal 7 Agustus 2024
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing 19/8/2024



Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.
NIK : 185111304

Penguji I



Jafar. S.T., MURP., M.T.
NIK : 185111305

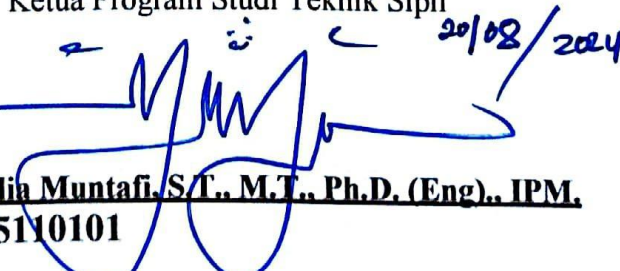
Penguji II



Astriaana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK : 16511130



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 19 Agustus 2024

Yang Membuat Pernyataan



Ainur Rifa Aliifa
(17511260)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Perilaku Struktur Bangunan Gedung Apartemen Arjuna Mataram City*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada:

1. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang selalu membimbing, memberikan nasehat, saran dan dukungan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Abi Subroto Slamet Joyomoyo, dan Umi Dewi Maya Riadiani yang telah memberikan sayap mereka agar saya bisa meraih jenjang pendidikan yang sangat mewah ini. Serta kelima adik-adik saya yang telah kebersamaan saya dengan sabar dalam proses saya menyelesaikan tugas akhir yang panjang ini.
3. Bude Dwi Karti Handayani dan Mas Ghani yang selalu mendukung saya selama di Jogja.
4. Bapak selaku Dosen Penguji I dan Ibu selaku Dosen Penguji II
5. Bang Giri Widhiatmoko yang selalu mendukung dan membantu saya dalam proses pembuatan tugas akhir saya. Serta teman – teman baik saya Teknik Sipil Angkatan 2017 yang selalu semangat untuk berjuang bersama.

Penulis berharap agar Tugas Akhir ini nantinya dapat bermanfaat bagi orang lain yang membaca di kemudian hari.

Yogyakarta, 19 Agustus 2024

Penulis,

Ainur Rifa Aliifa

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2.1 Desain dan Analisis Struktur Tahan Gempa Beton Bertulang Elemen Balok dan Kolom pada Gedung Bertingkat 10 dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Berdasarkan SNI 03 2847-2019 & 1726-2016 (Rizky, 2022)	5
2.2.2 Analisa Dinamik Bangunan Bertingkat yang Memiliki Ketidakberaturan Horizontal Berbentuk T Akibat Gempa Berdasarkan SNI 03 1729 – 2019 (Christoffel T., 2023)	5
2.2.3 Analisis Pengaruh Penambahan Dinding Geser terhadap Perilaku Struktur Gedung Sistem Ganda (Rosi N., 2023)	6

2.2.4 Analisa Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal pada Struktur Gedung Beton Bertulang (Nurul H., 2023)	7
2.2.5 Perbandingan Respon Seismik Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa dan Menengah pada Gedung Simetris Dua Arah (Tegar F., 2024)	8
2.2 Rencana Penelitian	8
2.3 Perbandingan Peneliti Terdahulu	9
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Pembebanan Struktur	12
3.1.1 Beban Mati (<i>Dead Load</i>)	12
3.1.2 Beban Hidup (<i>Live Load</i>)	13
3.1.3 Beban Gempa	13
3.2 Analisis Struktur Respon Struktur	18
3.3 Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal	25
3.4 Gaya Geser Dasar	28
3.5 Simpangan Antar Lantai	29
3.6 Pengaruh P-Delta	30
BAB IV METODE PENELITIAN	32
4.1 Data	32
4.2 Permodelan Struktur Gedung Apartemen Arjuna Mataram City	35
4.3 Metode Penelitian	41
4.4 Bagan Alur Penelitian	42
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	44
5.1 Data Bangunan	44
5.2 Beban Bangunan	47
5.2.1 Beban Mati dan Beban Hidup	47
5.2.2 Beban Gempa Respon Spektrum	50
5.3 Ketidakberaturan Bangunan	59
5.4 Simpangan Antar Lantai	75
5.5 Pengaruh P-Delta	79
BAB VI SIMPULAN DAN SARAN	82

6.1 Kesimpulan	82
6.2 Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	82

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu	9
Tabel 3.1 Beban Mati Desain Minimum	12
Tabel 3.2 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, L0 dan Beban Hidup Terpusat Minimum	13
Tabel 3.3 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa	14
Tabel 3.4 Faktor Keutamaan Gempa	15
Tabel 3.5 Klasifikasi Situs Tanah	17
Tabel 3.6 Koefisien Situs, F_a	20
Tabel 3.7 Koefisien Situs, F_v	20
Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek	22
Tabel 3.9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik	22
Tabel 3.10 Koefisien Situs FPGA	23
Tabel 3.11 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik	23
Tabel 3.12 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung	24
Tabel 3.13 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	24
Tabel 3.14 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur	25
Tabel 3.15 Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur	27
Tabel 3.16 Simpangan Antar Tingkat Izin	30
Tabel 4.1 Kuat Tekan Struktur Beton	33
Tabel 5.1 Struktur Balok dan Kolom	44
Tabel 5.2 Elevasi dan Tinggi Gedung Apartemen Arjuna Mataram City	45
Tabel 5.3 Koefisien Situs, F_a (SNI 03-1726-2019)	51
Tabel 5.4 Koefisien Situs, F_v (SNI 03 1726 – 2019)	51
Tabel 5.5 Nilai S_a Tiap Periode Pada Respon Spektrum	54
Tabel 5.6 Perhitungan Berat Bangunan	56

Tabel 5.7 Sebelum Penskalaan Gaya	58
Tabel 5.8 Setelah Penskalaan Gaya	58
Tabel 5.9 Hasil Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan Arah X	60
Tabel 5.10 Hasil Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan Arah Y	62
Tabel 5.11 Hasil Pembesaran Torsi Arah X dan Arah Y	63
Tabel 5.12 Hasil Ketidakberaturan Sudut Dalam pada Seluruh Lantai	66
Tabel 5.13 Hasil Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma	67
Tabel 5.14 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a Arah X	69
Tabel 5.15 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a Arah Y	69
Tabel 5.16 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1b Arah X	70
Tabel 5.17 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1b Arah Y	71
Tabel 5.18 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2	72
Tabel 5.19 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 Arah X	73
Tabel 5.20 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 Arah Y	74
Tabel 5.21 Rekapitulasi Ketidakberaturan Apartemen Mataram City	75
Tabel 5.22 Rasio Simpangan Antar Lantai Arah-X	77
Tabel 5.23 Rasio Simpangan Antar Lantai Arah-Y	78
Tabel 5.24 Efek P-Delta Arah X	79
Tabel 5.25 Efek P-Delta Arah Y	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Jarak Sesar Opak dengan Apartemen Arjuna Mataram City	1
Gambar 3.1 Parameter Gerak Tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0,2 detik (redaman kritis 5%)	19
Gambar 3.2 Parameter Gerak Tanah S_1 , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 1 detik (redaman kritis 5%)	19
Gambar 3.3 Respon Spektrum Desain	21
Gambar 3.4 Penentuan Simpangan Antar Tingkat	30
Gambar 4.1 Lokasi Pembangunan Apartemen Arjuna Mataram City	32
Gambar 4.2 Hasil Data N-SPT	34
Gambar 4.3 Denah Balok Basement	35
Gambar 4.4 Denah Kolom Basement	35
Gambar 4.5 Denah Pelat Lantai Basement	36
Gambar 4.6 Denah Balok Lobby	36
Gambar 4.7 Denah Kolom Lobby	37
Gambar 4.8 Denah Pelat Lobby	37
Gambar 4.9 Denah Balok Lantai 1	38
Gambar 4.10 Denah Kolom Lantai 1	38
Gambar 4.11 Denah Pelat Lantai 1	39
Gambar 4.12 Denah Balok Lantai 2-17	39
Gambar 4.13 Denah Kolom Lantai 2-17	40
Gambar 4.14 Denah Pelat Lantai 2-17	40
Gambar 4.15 Bagan Alir Penelitian	42
Gambar 5.1 Permodelan Struktur Gedung Apartemen Arjuna Mataram City dengan Aplikasi SAP2000	45
Gambar 5.2 Potongan Arah X	46

Gambar 5.3	Potongan Arah Y	46
Gambar 5.4	Peta Wilayah Nilai SS (SNI 03 1726 – 2019)	50
Gambar 5.5	Peta Wilayah Nilai S1 (SNI 03 1726 – 2019)	50
Gambar 5.6	Peta Transisi Periode Panjang TL (SNI 03 1726 – 2019)	53
Gambar 5.7	Spektrum Respon SNI 03 - 1726 - 2019	55
Gambar 5.8	Titik Acuan Penentuan Ketidakberaturan 1a, 1b arah X pada Denah Lantai 2	59
Gambar 5.9	Titik Acuan Penentuan Ketidakberaturan 1a, 1b arah Y pada Denah Lantai 2	61
Gambar 5.10	Ketidakberaturan Horizontal Tipe 2	64
Gambar 5.11	Pengukuran Dimensi Lantai Lobby dan Lantai 1	64
Gambar 5.12	Pengukuran Dimensi Lantai 2-17	65
Gambar 5.13	Dimensi Bukaan pada Semua Lantai	67
Gambar 5.14	Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3	72
Gambar 5.15	Titik Tinjau Simpangan Arah X	75
Gambar 5.16	Titik Tinjau Simpangan Arah Y	77
Gambar 5.17	Grafik P-Delta Arah X dan Arah Y	81

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Teknis Gedung Apartemen Mataram City

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

F_a	= Periode 0,2 detik
F_c'	= Kuat tekan beton (Mpa)
F_v	= Periode 1 detik
h_n	= Tinggi struktur bangunan (m)
H_{sx}	= Tinggi tingkat di bawah tingkat x
I_e	= Faktor Keutamaan Gempa
K	= Kekakuan (mm)
Kg	= Kilogram
Kg/m^2	= Kilogram Permeter Persegi
Kg/m^3	= Kilogram Permeter Kubik
kN	= Kilonewton
L	= Panjang (m)
m	= Metermm = Milimeter
M_n	= Momen Nominal
Mpa	= MegaPascal
P_x	= Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x
R	= Koefisien modifikasi respon
S_a	= Respon Spektrum Desain
S_1	= Parameter respon spektral percepatan gempa terpetakan
S_{DS} pendek	= Parameter percepatan desain respons spektral pada rentang periode pendek
S_{D1}	= Parameter percepatan desain respons spektral pada periode 1,0 detik
T	= Periode fundamental struktur, dalam detik
T_a	= Periode fundamental pendekatan (detik)
T_s	= Gaya tarik baja
V	= Gaya dasar seismik
V_u	= Gaya geser <i>ultimate</i> (N)
V_x	= Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan x-1
W	= Berat seismik efektif
λ	= Faktor modifikasi
Δ	= Simpangan antar tingkat desain

ABSTRAK

Apartemen Arjuna Mataram City yang terletak di kabupaten Sleman adalah gedung yang dibangun di kabupaten Sleman dan letaknya ± 15 km dari Sesar Opak. Berdasarkan SNI 03 03-1726 - 2019 Pasal 6.1.1, “situs yang berjarak 15 km dari proyeksi permukaan sesar aktif yang diketahui dan mampu menghasilkan kejadian gempa dengan Mw 7 atau lebih besar termasuk ke dalam kategori situs dekat sesar”. Sehingga bangunan memiliki resiko lebih besar ketika gempa terjadi serta kerusakan yang lebih parah. Oleh karena itu, respon seismik struktur bangunan yang memiliki denah berbentuk asimetris ‘T’ ini perlu dicek keamanannya terhadap gempa menggunakan respon spektrum.

Analisis dimulai dari penentuan ketidakberaturan vertikal dan horizontal lalu dilanjutkan analisis respon spektrum. Hasil permodelan digunakan untuk mencari respon seismik struktur bangunan. Hasil dari permodelan SAP 2000 v.22 dan perhitungan excel didapatkan parameter desain respon spektrum yaitu $S_s = 1,056$, $S_1 = 0,4829$, $F_a = 1,0795$, $F_v = 1,8327$ serta $T_L = 6$ detik.

Nilai gaya geser dasar Apartemen Arjuna Mataram City sebesar 16272,234 kN. Selain itu terdapat ketidakberaturan horizontal 1a yang telah memenuhi syarat SNI 03 – 1726 – 2019 yaitu nilai A_x tidak boleh kurang dari 1 serta adanya ketidakberaturan vertikal 3 yang menyebabkan gedung ini tidak dapat dianalisis dengan statik ekuivalen. Hasil simpangan antar tingkat sudah memenuhi syarat aman. Efek P-delta bangunan ini juga sudah memenuhi batas koefisien stabilitas maksimum yaitu 0,25.

Kata Kunci : Respon Seismik Struktur, Gaya Geser Dasar, *drift ratio*, Ketidakberaturan, P-delta

ABSTRACT

Arjuna Mataram City Apartment located in Sleman Regency is a building built in Sleman Regency and located ± 15 km from the Opak Fault. Based on SNI 03 03-1726 - 2019 Article 6.1.1, "sites that are 15 km from the known active fault surface projection and are capable of producing earthquake events with M_w 7 or greater are included in the category of sites near the fault". So that the building has a greater risk when an earthquake occurs and more severe damage. Therefore, the structural seismic response of the building that has a 'T' shaped plan needs to be checked for its safety against earthquakes using spectrum response and equivalent static analysis.

The analysis starts from determining vertical and horizontal irregularities and then continues with spectrum response analysis. The modeling results are used to find the seismic response of the building structure. The results of SAP 2000 v.22 modeling and Excel calculations show that the spectrum response design parameters are $S_s = 1.056$, $S_1 = 0.4829$, $F_a = 1.0795$, $F_v = 1.8327$ and $T_L = 6$ seconds.

The base shear force value of the Arjuna Mataram City Apartment is 16272.234 kN. In addition, there is a horizontal irregularity 1a which has met the requirements of SNI 03 - 1726 - 2019, namely the A_x value must not be less than 1 and there is a vertical irregularity 3 which causes this building to not be able to be analyzed with equivalent statics. The results of the inter-story deviation have met the safety requirements. The P-delta effect of this building has also met the maximum stability coefficient limit of 0.25.

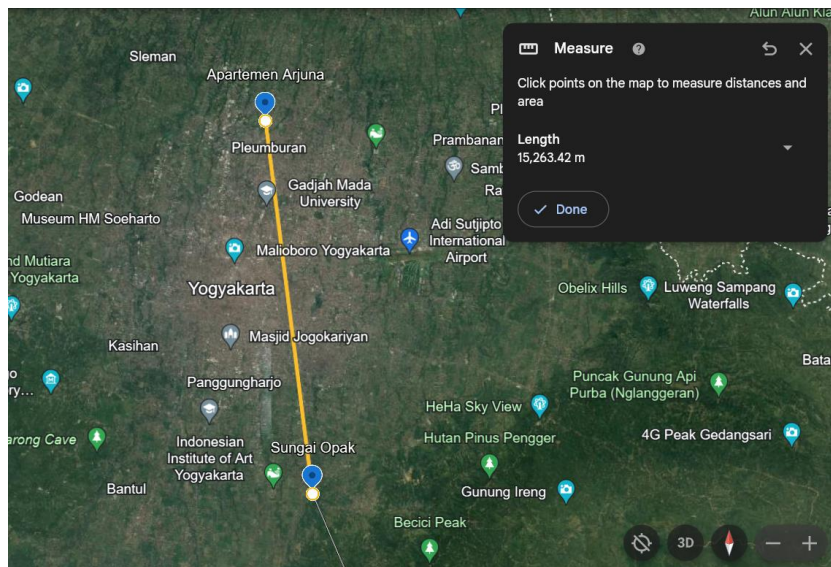
Keywords : Structural Seismic Response, Base Shear Force, Drift Ratio, Irregularity, P-delta.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia berada pada jalur pertemuan tiga lempeng utama dunia, yaitu : lempeng Indo-Australia, Eurasia dan Pasifik yang termasuk dalam daerah rawan gempa bumi. Pertemuan tiga lempeng tersebut mengakibatkan patahan-patahan aktif yang muncul di Indonesia dan membentuk suatu lintasan yang disebut dengan *The Pacific Ring of Fire* (Cincin Api Pasifik). Lintasan ini mengakibatkan sering terjadinya gempa tektonik maupun vulkanik di negara yang dilewatinya. Gempa tersebut menghasilkan banyak patahan, salah satu lokasi sesar yang terjadi di Indonesia.



Gambar 1.1 Jarak Sesar Opak dengan Apartemen Arjuna Mataram City
(Sumber: Google Earth)

Apartemen Arjuna Mataram City yang terletak di kabupaten Sleman adalah gedung yang akan dibangun di kabupaten Sleman dan letaknya ± 15 km dari Sungai Opak yang dipengaruhi oleh aktivitas tektonik Sesar Opak pada tahun 2006. Jarak antara gedung Apartemen dan Sungai Opak dapat dilihat pada Gambar 1.1 Berdasarkan SNI 03 03-1726 - 2019 Pasal 6.1.1, situs yang berjarak 15 km dari

proyeksi permukaan sesar aktif yang diketahui dan mampu menghasilkan kejadian gempa dengan M_w 7 atau lebih besar termasuk ke dalam kategori situs dekat sesar. Sehingga bangunan memiliki resiko lebih besar ketika gempa terjadi serta kerusakan yang lebih parah.

Menurut Schodek (1999), struktur yang stabil apabila menerima beban yang sama besar, struktur tersebut akan mengalami perubahan bentuk atau berdeformasi lebih kecil dibandingkan dengan struktur yang tidak stabil. Dengan bantuan beban gempa respon spektrum, cek simpangan dan efek P-delta dapat dilakukan untuk memastikan apakah struktur kuat menahan beban-beban yang terjadi dengan prinsip SCWB (*Strong Column Weak Beam*).

Selain memiliki resiko gempa yang relatif cukup besar, gedung apartemen ini memiliki bentuk yang asimetris yaitu T asimetris dengan 18 lantai beserta 1 *basement* yang dapat dilihat pada Gambar 4.4. Oleh karena itu, perlu adanya pengecekan ketidakberaturan baik secara vertikal maupun horizontal dengan mengikuti peraturan yang berlaku di SNI 03-1726-2019 karena bangunan yang memiliki ketidakberaturan, lebih rentan terjadi kerusakan struktural karena kestabilannya terganggu dan berpotensi meningkatkan tingkat deformasi yang terjadi. Pengecekan keamanannya terhadap gempa menggunakan respon spektrum juga perlu dilakukan agar mengetahui gaya geser yang bekerja, rasio simpangan, P-delta sehingga bangunan dapat dinyatakan aman atau tidaknya sesuai dengan syarat pada SNI 03-1726-2019.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Berapakah nilai parameter desain respon spektrum Apartemen Arjuna Mataram City?
2. Berapa nilai gaya geser dasar Apartemen Arjuna Mataram City?
3. Bagaimana respon seismik struktur Apartemen Arjuna Mataram City berupa ketidakberaturan, nilai simpangan, rasio simpangan antar lantai, dan P-Delta menurut SNI 03-1726-2019?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari rumusan masalah yang sudah ditentukan maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui bentuk respons spektrum pada Gedung Apartemen Arjuna Mataram City.
2. Mengetahui nilai gaya geser dasar Gedung Apartemen Arjuna Mataram City.
3. Mengetahui hasil respon seismik struktur Apartemen Arjuna Mataram City berupa ketidakberaturan, nilai simpangan, rasio simpangan antar, dan P-Delta menurut SNI 03-1726-2019.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini ditujukan kepada individu kepada peneliti, pembaca, serta masyarakat umum. Adapun daftar manfaat adalah sebagai berikut ini.

1. Manfaat yang diperoleh peneliti :
 - a. Menambah pengalaman dalam menganalisis perilaku struktur bangunan gedung.
 - b. Menambah pengalaman dalam menggunakan program SAP untuk menganalisis beban gempa.
2. Manfaat yang diperoleh pembaca :
 - a. Menambah ilmu pengetahuan mengenai cara menganalisis perilaku struktur bangunan gedung.
 - b. Sebagai referensi ketika melakukan penelitian serupa.
3. Manfaat yang diperoleh masyarakat umum :
 - a. Mendapat pengetahuan mengenai gedung apartemen yang akan dibeli.
 - b. Mengetahui bagaimana kondisi daerah Sleman ketika dibangun gedung tinggi.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian adalah segala hal untuk menjadi titik fokus peneliti, sehingga peneliti tidak keluar dari jalur yang sudah ditetapkan. Berikut ini merupakan batasan penelitian yang digunakan oleh peneliti.

1. Gedung yang menjadi studi kasus penelitian ini adalah bangunan gedung beton bertingkat. Bangunan ini merupakan Gedung Apartemen Arjuna yang memiliki 18 lantai utama, 1 lobby dan 1 lantai basement.
2. Gedung Apartemen Arjuna Mataram City terletak di Jl. Palagan Tentara Pelajar KM 7, Mudal, Sariharjo, Kec. Ngaglik, Kab. Sleman.
3. Gedung dibangun di atas tanah dengan kondisi tanah sedang dengan data N-SPT 37,63.
4. Ketinggian antar lantai utama 3,1 m, 4,5 m untuk lobby dan 3,5 m untuk basement.
5. Beban – beban yang diperhitungkan ialah beban mati (termasuk dinding), beban hidup dan beban gempa.
6. Tumpuan pada pondasi diasumsikan terjepit penuh. Penjepitan lateral pada dasarnya (SNI 03-1726-2019 pasal 8.8)
7. Analisis dilakukan pada struktur atas bangunan, struktur bawah diabaikan karena tidak dianalisis.
8. Analisis beban gempa menggunakan analisis statik ekuivalen menggunakan program komputer Ms.Excel
9. Permodelan tangga tidak dimasukkan dalam permodelan utama.
10. Peninjauan gaya lateral hanya berupa beban horizontal dari gempa, tanpa beban angin. s
11. Struktur yang dikaji adalah sistem rangka pemikul momen khusus.
12. Analisis Struktur menggunakan bantuan program komputer SAP2000 V.22 dengan permodelan 3D untuk metode analisis respon spektrum menggunakan SNI 03-1726-2019.
13. Permodelan pelat lantai dan pelat atap dengan *shell thin*, dinding geser dengan *shell-thick*, serta balok-kolom menggunakan *frame*.
14. Gaya tanah yang bekerja pada *basement* tidak dipertimbangkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai perilaku struktur bangunan gedung telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu sebelumnya. Penelitian yang diacu mengenai perilaku struktur mencakupi gaya geser, simpangan, ketidakberaturan, P-delta dengan beban gempa berupa respon spektrum berdasarkan SNI 03 1726 – 2019 berikut ini dapat digunakan untuk memperlancar penelitian ini.

2.2.1 Desain dan Analisis Struktur Tahan Gempa Beton Bertulang Elemen Balok dan Kolom pada Gedung Bertingkat 10 dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Berdasarkan SNI 03 2847-2019 & 1726-2016 (Rizky, 2022)

Penelitian ini dimulai dari merencanakan pendimensian balok dan kolom dengan tahapan preliminary desain plat, desain balok dan desain kolom. Setelah desain memenuhi konsep *SCWB (Strong Column Weak Beam)*, analisis dilanjutkan dengan pengecekan dengan kontrol *base shear*, partisipasi massa ragam terkombinasi, simpangan antar lantai (*story drift*), pengecekan P-delta dan ketidakberaturan struktur baik horizontal maupun vertikal. Hasil yang didapat adalah desain telah sesuai dengan konsep *SCWB* dan elemen struktur yang telah dirancang, dapat menahan momen lentur yang bekerja pada struktur dengan kapasitas momen nominal (M_n) yang melebihi momen maksimum (M_n) yang bekerja pada elemen tersebut.

2.2.2 Analisa Dinamik Bangunan Bertingkat yang Memiliki Ketidakberaturan Horizontal Berbentuk T Akibat Gempa Berdasarkan SNI 03 1729 – 2019 (Christoffel T., 2023)

Christoffel T. (2023) melakukan penelitian mengenai bangunan gedung tidak beraturan yaitu berbentuk T yang memiliki fungsi sebagai bangunan perkantoran dan berlokasi di Kota Manado yang dianalisis dengan metode analisis dinamik

respon spektrum ragam sesuai dengan SNI 03 03-1726-2019. Gedung dibedakan menjadi gedung yang memiliki denah beraturan yaitu persegi dan tidak beraturan berbentuk T dengan 3 model perbandingan. Permodelan dilakukan dengan bantuan *software ETABS v.11* dan dengan beberapa beban yaitu beban mati, beban hidup, beban gempa, serta beberapa kombinasi pembebanan. Penelitian membuahkan hasil bahwa variasi gedung yang tidak beraturan, memiliki ketidakberaturan horizontal yang cukup besar sehingga perlu adanya penambahan struktur agar gaya geser dasar terpengaruhi. Hasil lain menunjukkan bahwa semakin besar sudut dalam maka semakin besar pula simpangan yang terjadi dan gaya geser dasar mengalami penurunan nilai. Semua bentuk model masih memenuhi simpangan antar lantai yang diizinkan oleh SNI 03 03-1726-2019.

2.2.3 Analisis Pengaruh Penambahan Dinding Geser terhadap Perilaku Struktur Gedung Sistem Ganda (Rosi N., 2023)

Dinding geser merupakan salah satu komponen struktural yang dapat meningkatkan kekakuan gedung, sehingga Rosi dkk melakukan penelitian tentang Analisis Pengaruh Penambahan Dinding Geser terhadap Perilaku Struktur Gedung Sistem Ganda pada tahun 2023 lalu. Struktur dengan sistem ganda merupakan kombinasi dari rangka dan dinding geser. Jumlah dan lokasi dinding geser juga berperan penting dalam mengendalikan respon bangunan sehingga perlu dioptimalkan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan perilaku struktur gedung system ganda dengan dan tanpa penambahan dinding geser. Penelitian dimulai dengan mengumpulkan data teknis gedung dan membandingkan ketika struktur tanpa dinding geser dan ketika ditambah dinding geser. Pengecekan dimulai dari Partisipasi Massa dan Periode Struktur dimana berdasarkan SNI 03 03-1726-2019, perhitungan respon dinamik struktur diizinkan jumlah ragam minimum 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah. Hasil yang didapat pada model 2, partisipasi massa lebih dari 90% tercapai pada mode ke-17 sedangkan pada model 1 tercapai pada mode ke-22. Hal ini menunjukkan bahwa adanya dinding geser dapat meningkatkan kekakuan struktur karena partisipasi massa lebih dari 90%, tercapai pada mode yang lebih kecil.

Sedangkan untuk nilai periode getar alami struktur didapatkan bahwa nilainya tidak berbeda untuk mode 1 dan mode 2. Penambahan dinding geser meningkatkan kekakuan struktur dan memperkecil torsi sehingga rotasi model 2 lebih kecil hasilnya. Pengecekan berikutnya membuktikan bahwa massa struktur berbanding lurus dengan gaya geser dasar. Karena model 2 mendapat tambahan berupa dinding geser, maka gaya geser dasarnya juga lebih besar dibanding model 1. Selain itu, simpangan lateral juga dipengaruhi oleh gaya geser dasar. Semakin tinggi gaya geser dasar, maka semakin tinggi pula gaya simpangannya. Gedung ini memiliki ketidakberaturan vertikal sehingga gaya geser dasarnya tidak berurutan sesuai tinggi lantai. Pengaruh P-delta sendiri perlu dicek untuk mempertimbangkan adanya penambahan simpangan. Namun pada bangunan ini, P-delta tidak perlu dipertimbangkan karena koefisien stabilitasnya masih kurang dari 0,10.

2.2.4 Analisa Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal pada Struktur Gedung Beton Bertulang (Nurul H., 2023)

Bangunan ini dibuat dengan bentuk L dan dianalisis dengan metode statik ekuivalen dan respon spektrum desain dan bertujuan untuk mengetahui perilaku struktur gedung bertingkat dilihat dari *displacement*, *drift ratio* dan ketidakberaturan horizontal serta vertikal. Penelitian dimulai dengan mengumpulkan data teknis gedung, penggunaan standar acuan dalam perencanaan adalah SNI 03 2847-2019, pembebanan dengan SNI 03 1727-2020 dan acuan tahan gempa dengan SNI 03 03-1726-2019. Pembebanan yang digunakan adalah beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, beban angin, dan beban gempa dengan respons spektrum desain dan gaya lateral ekuivalen. Setelah dimodelkan dengan ETABS v.18, bangunan dianalisis perilakunya. Didapatkan ketebalan lantai Gedung adalah 130 mm serta hubungan antara balok dan kolom berupa leter L, leter T dan leter X. Sedangkan dalam hasil pengecekan, tidak ditemukan ketidakberaturan struktur secara vertikal. Namun pada ketidakberaturan horizontal tipe 2, ditemukan struktur memiliki ketidakberaturan sudut dalam sehingga gaya desain diafragma struktur harus ditingkatkan 25%. Saran dari penelitian ini adalah menambahkan variabel lebih banyak sehingga informasi yang didapat akan lebih banyak untuk bahan pertimbangan perancangan.

2.2.5 Perbandingan Respon Seismik Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa dan Menengah pada Gedung Simetris Dua Arah (Tegar F., 2024)

Penelitian ini membahas tentang perbandingan kinerja struktur terhadap respons seismik antara metode Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) pada bangunan pendidikan 7 lantai di Kota Balikpapan, Kalimantan Timur. Metode penelitian menggunakan teknik pengumpulan data primer dan sekunder serta permodelan 3D dengan *software* SAP2000. Analisis meliputi analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik respon spektrum, dengan memperhitungkan pembebanan sesuai dengan standar SNI 03. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa gedung dengan metode SRPMM memiliki berat bangunan lebih ringan dibandingkan dengan SRPMB, namun gaya geser dasar pada SRPMM lebih rendah dari SRPMB. Hal ini disebabkan oleh nilai koefisien modifikasi respons dan faktor pembesaran simpangan lateral yang berbeda antara kedua metode. Dalam hal pergerakan lateral, gedung dengan metode SRPMM menunjukkan simpangan yang lebih besar daripada SRPMB. Hal ini disebabkan oleh faktor pembesaran simpangan lateral yang lebih tinggi pada SRPMM. Meskipun demikian, keduanya masih memenuhi persyaratan kestabilan struktur yang ditetapkan dalam SNI 03-1726-2019. Dengan demikian, dalam memilih metode sistem rangka pemikul momen untuk bangunan gedung, perlu dipertimbangkan aspek-aspek seperti berat bangunan, gaya geser dasar, dan simpangan lateral.

2.2 Rencana Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah menganalisis gaya geser dasar, periode natural bangunan, ketidakberaturan horizontal, ketidakberaturan vertikal, simpangan, simpangan antar lantai, serta efek P-delta. Bangunan 19 lantai yang dibangun di Sleman ini akan dianalisis dengan bantuan *software* SAP2000 v.22 dan dianalisis berdasarkan SNI 03-1726-2019 karena berada pada jarak 15 km dari sesar opak sehingga perlu dicek ketahanannya terhadap gempa.

2.3 Perbandingan Peneliti Terdahulu

Berikut ini adalah penelitian terdahulu yang dijadikan referensi, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Rizky Risnandar dkk	Christoffel Tanauma, dkk	Rosi Nursani dan Dheni Elyana Noor	Nurul Hidayati	Tegar Fadillah	Ainur Rifa Aliifa
Tahun	2022	2023	2023	2023	2024	2024
Lokasi	Gedung Apartemen 10 lantai di Kota Bandung	Gedung perkantoran 8 lantai di Kota Manado Sulawesi Utara	Gedung Hotel 7 lantai di Kota Tasikmalaya	Gedung Infrastruktur Bandung <i>advance Science and Creative Engineering Space (BASICS)</i> 6 lantai di Bandung.	Gedung Pendidikan 7 lantai di Balikpapan	Gedung Apartemen 19 lantai di Sleman
Judul Penelitian	Desain dan Analisis Struktur Tahan Gempa Beton Bertulang Elemen Balok dan Kolom pada Gedung Bertingkat 10 dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Berdasarkan SNI 03 2847-2019 & 1726 - 2019	Analisis Dinamika Bangunan Bertingkat yang Memiliki Ketidakberaturan Horisontal Berbentuk T Akibat Gempa Berdasarkan SNI 03- 1726-2019	Analisis Pengaruh Penambahan Dinding Geser terhadap Perilaku Struktur Gedung Sistem Ganda	Analisa Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal pada Struktur Gedung Beton Bertulang	Perbandingan Respon Seismik Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa dan Menengah pada Gedung Simetris Dua Arah	Analisis Perilaku Struktur Bangunan Gedung Apartemen Arjuna Mataram City

Lanjutan Tabel 2.1 Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Rizky Risnandar dkk	Christoffel Tanauma, dkk	Rosi Nursani dan Dheni Elyana Noor	Nurul Hidayati	Tegar Fadillah	Ainur Rifa Aliifa
Tujuan Penelitian	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menentukan dimensi balok dan kolom serta jumlah tulangan yang diperlukan. 2. Mengetahui perilaku struktur yaitu gaya geser seismic, simpangan antar lantai P-delta dan ketidakberaturan. 	Membandingkan gaya geser dasar (<i>base shear</i>), displacement, simpangan antar lantai (<i>story drift</i>) ketika bangunan diubah menjadi 1 bentuk simetris dan 3 bentuk asimetris.	Mengetahui perbandingan perilaku struktur gedung system ganda dengan dan tanpa penambahan dinding geser.	Melakukan Analisa ketidakberaturan struktur horizontal dan vertikal gedung beton bertulang untuk mengetahui kemampuan struktur gedung bertingkat akibat pengaruh beban gempa serta ketidakberaturannya.	Membandingkan kinerja struktur terhadap respon seismic antara metode SRPMB dan SPRMM.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengetahui desain respon spektrum bangunan. 2. Mengetahui nilai gaya geser dasar bangunan. 3. Mengetahui respon seismic berupa gaya ges
Metode Penelitian	<ol style="list-style-type: none"> 1. Studi Literatur. 2. Data Perencanaan Bangunan 3. Primilinary Design 4. Perhitungan Perencanaan 5. Permodelan Struktur dengan ETABS. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Studi Literatur dari buku, jurnal, dan pedoman/peraturan lain. 2. Data gedung 3. Preliminary desain struktur. 4. Pemodelan dan pembebanan struktur dengan ETABS v.18 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Studi Literatur 2. Permodelan struktur dengan <i>corewall</i> dan tambahan dinding geser. 3. Analisis pembebanan. 4. Analisis dengan <i>software</i>. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengumpulkan data umum gedung dan data teknis gedung 2. Pembebanan Struktur. 3. Beban gempa dengan respon struktur desain dan gaya lateral ekuivalen. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengumpulkan data primer dan sekunder. 2. Permodelan 3D dengan SAP2000. 3. Analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik respon spsktrum dengan pembebanan sesuai SNI 03 1726-2019 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pengumpulan data 2. Perhitungan beban 3. Permodelan SAP2000 v.22 4. Kontrol berat 5. Perhitungan beban gempa statik ekuivalen dan respon spektrum.

Lanjutan Tabel 2.1 Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Rizky Risnandar dkk	Christoffel Tanauma, dkk	Rosi Nursani dan Dheni Elyana Noor	Nurul Hidayati	Tegar Fadillah	Ainur Rifa Aliifa
Metode Penelitian	6. Kajian SRPMK dengan konsep SCWB meliputi cek gaya geser dasar, simpangan dan ketidakberaturan.	5. Analisis dinamik Respon Spektrum. Kontrol Desain dan hasil.	5. Mencari perilaku struktur: kontrol partisipasi massa, periode struktur, gaya geser, kontrol simpangan, simpan gan antar lantai	4. Permodelan dengan ETABS v.18 5. Cek ketidakberaturan dengan SNI 03-1726-2019		6. Skala gaya 7. Analisis respons seismic 8. Hasil
Hasil Penelitian	1. Desain terpenuhi. 2. Persyaratan Strong Column Weak Beam pada SRPMK sudah memenuhi hasil kalkulasi. 3. Elemen struktur telah dirancang untuk dapat menahan momen lentur yang bekerja pada struktur dengan kapasitas Mn yang melebihi Mu yang bekerja pada elemen tersebut.	1. Terdapat asimetris ketidakberaturan horizontal sudut dalam. 2. Permodelan T membutuhkan penambahan elemen struktur. 3. Semakin besar proyeksi sudut dalam bangunan, semakin besar simpangannya dan gaya geser dasar dinamik menurun. 4. Semua model masih memenuhi syarat simpangan antar lantai.	1. Adanya tambahan dinding geser pada struktur bangunan dapat meminimalisir rotasi yang terjadi akibat gaya gempa. 2. Adanya dinding geser dapat meningkatkan kekakuan struktur gedung sehingga memiliki respon struktur yang lebih baik dalam menahan beban lateral.	1. Struktur tidak memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1a, 1b, 3, 4 dan 5. 2. Struktur memiliki ketidakberaturan tipe 2 sehingga gaya desain diafragma harus ditingkatkan 25%. 3. Struktur tidak memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 1a, 1b, 2, 3, 4, 5a dan 5b.	Gedung metode SRPMM memiliki berat bangunan lebih ringan dibandingkan dengan SRPMB, namun gaya geser dasar pada SRPMM lebih rendah dari SRPMB. Hal ini disebabkan oleh koefisien modifikasi respons dan factor pembesaran simpangan lateral yang berbeda antara kedua metode.	1. Didapatkan besar $S_s = 1,056$; $S_1 = 0,4829$; $F_a = 1,0795$; $F_v = 1,8327$ dan TL 6 detik. 2. Nilai gaya geser dasar sebesar 9895,566 kN. 3. Apartemen Arjuna: a. Terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 1b arah x serta ketidakberaturan vertikal tipe 3 arah x dan araha Y. b. Rasio simpangan telah memenuhi syarat. c. Terdapat P-delta efek pada lantai 3-8 karena adanya perbedaan ukuran kolom namun tetap memenuhi syarat koefisien stabilitas maksimum.

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Pembebanan Struktur

Perhitungan pembebanan pada struktur mengacu pada SNI 03 1727:2020 pasal 26 untuk beban angin (WL), beban hidup reduksi (Lr) dan non reduksi (LL), beban mati tambahan (SIDL), serta beban hujan (R).

Dalam perencanaan struktur bangunan terdapat gaya-gaya yang berkerja, salah satunya adalah beban. Pembebanan harus benar-benar di perhitungkan untuk mengetahui kebutuhan kekuatan struktur yang akan ditetapkan. Namun dalam kasus ini, beban angin dan beban hujan diabaikan.

3.1.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material.

Tabel 3.1 Beban Mati Desain Minimum

Bahan Bangunan	Berat Volume
Beton (<i>Concrete Stone</i>)	23,544 kN/m ³
Keramik (<i>Ceramic</i>)	23,544 kN/m ³
Instalasi MEP (<i>Mechanical duct allowance</i>)	0,206 kN/m ²
<i>Ducting AC</i>	0,1717 kN/m ²
Spesi/adukan (<i>Concrete fill finish</i>)	20,601 kN/m ³
Pasir (<i>Sand</i>)	16,677 kN/m ³
Lapis Kedap Air	18,639 kN/m ³
Plafon dan penggantung (<i>Gypsum board</i>)	0,180 kN/m ²
Genangan Air	9,810 kN/m ³

Sumber: SNI 03 1727 (2020)

3.1.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Menurut SNI 03 1272:2020 pasal 4.1 beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Beban hidup atap sendiri memiliki artian yang berbeda, yaitu beban yang diakibatkan oleh pekerja, peralatan dan material selama pengerjaan serta selama masa layan struktur akibat benda bergerak seperti tanaman pot atau perlengkapan dekoratif kecil serupa yang bukan terkait hunian. Beban hidup terkait hunian pada atap seperti area berkumpul di atap, atap dek dan atap vegetative atau atap lansekap pada area yang bisa dipakai, diperhitungkan sebagai beban hidup pada atap daripada beban hidup atap. Berikut adalah beban hidup yang dijelaskan dalam SNI 03 1727-2020 pasal 4.3.1. Tabel 4.3.1.

Tabel 3.2 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, L0 dan Beban Hidup Terpusat Minimum

Hunian atau penggunaan	Merata Psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Semua hunian rumah tinggal lainnya		
Ruang pribadi dan koridornya	40 (1,92)	
Ruang publik	100 (4,79)	
Koridor ruang public	100 (4,79)	
Atap vegetatif dan atap lansekap		
Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	

Sumber: SNI 03 1726 (2019)

3.1.3 Beban Gempa

Bangunan yang dibangun tahan gempa harus memenuhi standar peraturan SNI 03-1726-2019. Beban, kombinasi pembebanan dan kriteria terkait yang diberikan dalam standar ini harus digunakan untuk perancangan dengan metode kekuatan atau perancangan dengan metode tegangan izin yang terdapat dalam spesifikasi desain untuk material struktural konvensional. Berikut ini adalah ketentuan umum bangunan gedung terhadap gempa rencana:

1. Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Pengaruh gempa rencana terhadap kategori risiko struktur, harus dikalikan dengan suatu factor keutamaan gempa I_e .

Tabel 3.3 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan • Fasilitas sementara • Gudang penyimpanan • Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,II,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perumahan • Rumah toko dan rumah kantor • Pasar • Gedung perkantoran • Gedung apartemen/ rumah susun • Pusat pembelanjaan/ mall • Bangunan industry • Fasilitas manufaktur • Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bioskop • Gedung pertemuan • Stadion • Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit beddah dan unit gawat darurat • Fasilitas penitipan anak • Penjara • Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar atau gangguan massal.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pusat pembangkit listrik biasa • Fasilitas penanganan air 	III

Lanjutan Tabel 3.3 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sbagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak di batasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bangunan-bangunan monumental • Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan • Rumah ibadah rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedan dan unit gawat darurat • Fasilitas pemadam kebakaran, ambulan, dan kantor polisi • Tempat perlindungan gempa bumi, tsunami, angin, dan darurat lainnya • Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi • Pusat pembangkit energi dan fasilitas public lainnya • Struktur tambahan (termasuk Menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, Menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangka air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. 	IV

Sumber: SNI 03 1726 (2019)

2. Faktor Keutamaan Gempa

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung, pengatuh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa (I_e) Berikut adalah faktor keutamaan gempa yang tertulis dalam SNI 03-1726-2019.

Tabel 3.4 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa (I_e)
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI 03 1726 (2019)

3. Kombinasi Pembebanan

Struktur bangunan gedung harus didesain menggunakan kombinasi pembebanan. Sistem fondasi, baik untuk bangunan gedung dan nongedung, tidak boleh gagal terlebih dahulu daripada struktur yang ditumpunya sehingga

kombinasi pembebanan yang mempertimbangkan faktor kuat lebih harus diaplikasikan dalam desain fondasi. Seluruh kombinasi dari SNI 03-1726-2019 dibandingkan dan dipecah menjadi beberapa kemungkinan agar mendapatkan pembebanan yang paling kritis yang dapat ditahan oleh bangunan. Berikut daftar kombinasi pembebanan yang digunakan:

$$1,4D \quad (3.1)$$

$$1,2 D + 1,6 L \quad (3.2)$$

$$(1,2 + 0,2SDS) D + \rho E_x + 0,3 \rho E_y + L \quad (3.3)$$

$$(1,2 + 0,2SDS) D + \rho E_x - 0,3 \rho E_y + L \quad (3.4)$$

$$(1,2 + 0,2SDS) D - \rho E_x + 0,3 \rho E_y + L \quad (3.5)$$

$$(1,2 + 0,2SDS) D - \rho E_x - 0,3 \rho E_y + L \quad (3.6)$$

$$(1,2 + 0,2SDS) D + 0,3 \rho E_x + \rho E_y + L \quad (3.7)$$

$$(1,2 + 0,2SDS) D + 0,3 \rho E_x - \rho E_y + L \quad (3.8)$$

$$(1,2 + 0,2SDS) D - 0,3 \rho E_x + \rho E_y + L \quad (3.9)$$

$$(1,2 + 0,2SDS) D - 0,3 \rho E_x - \rho E_y + L \quad (3.10)$$

$$(0,9 - 0,2SDS) D + \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3.11)$$

$$(0,9 - 0,2SDS) D + \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3.12)$$

$$(0,9 - 0,2SDS) D - \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3.13)$$

$$(0,9 - 0,2SDS) D - \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3.14)$$

$$(0,9 - 0,2SDS) D + 0,3 \rho E_x + \rho E_y \quad (3.15)$$

$$(0,9 - 0,2SDS) D + 0,3 \rho E_x - \rho E_y \quad (3.16)$$

$$(0,9 - 0,2SDS) D - 0,3 \rho E_x + \rho E_y \quad (3.17)$$

$$(0,9 - 0,2SDS) D - 0,3 \rho E_x - \rho E_y \quad (3.18)$$

Pengaruh beban gempa arah horizontal (E_h) ditentukan dengan persamaan:

$$E_h = \rho QE \quad (3.19)$$

Keterangan:

ρ = faktor redundansi

QE = pengaruh beban gempa arah horizontal dari V atau F_p

Pengaruh beban gempa arah vertikal (E_v) ditentukan dengan persamaan:

$$E_v = 0,2 SDS D \quad (3.20)$$

Keterangan:

Ex = pengaruh beban gempa arah horizontal

Ev = pengaruh beban gempa arah vertikal

SDS = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek.

D = beban mati

L = beban hidup

4. Klasifikasi Situs

Klasifikasi suatu situs digunakan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan tabel berikut.

Tabel 3.5 Klasifikasi Situs Tanah

Kelas Situs	Vs (m/detik)	N	SL (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	<50
	Atau setiap profil lapisan dengan ketebalan lebih dari 3m dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas $PI \geq 20$, 2. Kadar air (w) $\geq 40\%$, dan 3. Kuat geser tak terdrainase $S_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapis tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> • Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah • Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3m$) 		

Sumber: SNI 03 1726 (2019)

3.2 Analisis Struktur Respon Spektrum

Respon spektrum gempa adalah grafik hubungan antara periode getar (T) dengan respon percepatan gempa (S_a). Proses desainnya menggunakan beban berupa kurva repon dengan getar struktur T (sumbu x) dan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu (sumbu y). Respon-respon maksimum dapat berupa simpangan maksimum (*spectral displacement, SD*) kecepatan maksimum (*spectral velocity, SV*), atau percepatan maksimum (*spectral acceleration, SA*) massa struktur *Single Degree of Freedom (SDOF)* (Widodo, 2011). Respon spektrum desain ditentukan dengan parameter respon ragam yang disesuaikan dengan klasifikasi situs dimana bangunan tersebut akan dibangun kemudian dibagi dengan kuantitas R/L (Departemen Pekerjaan Umum, 2012)

1. Parameter-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R)

Dalam SNI 03-1726-2019, disebutkan bahwa penentuan respon spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran 1 periode (F_v). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (SMS) dan periode 1 detik ($SM1$) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (3.21)$$

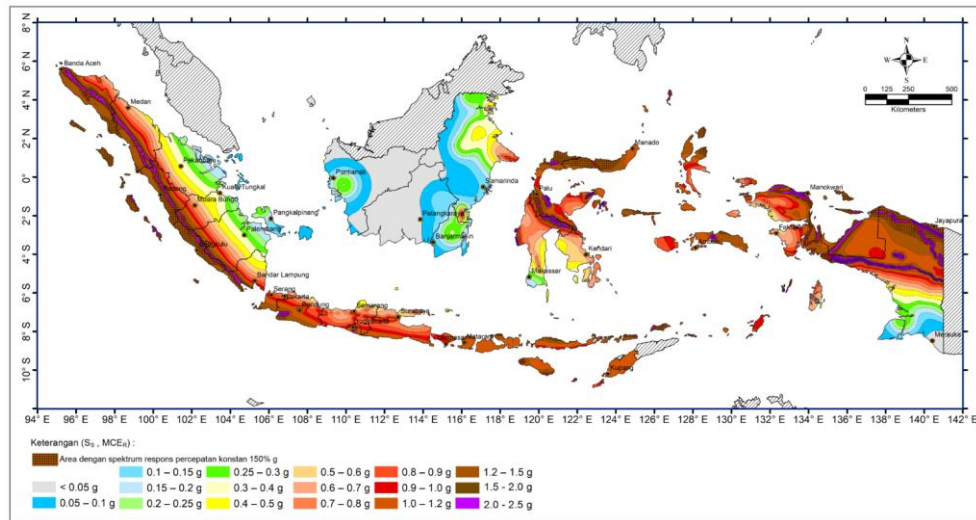
$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (3.22)$$

Keterangan:

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek yang dapat dilihat pada gambar 3.2.

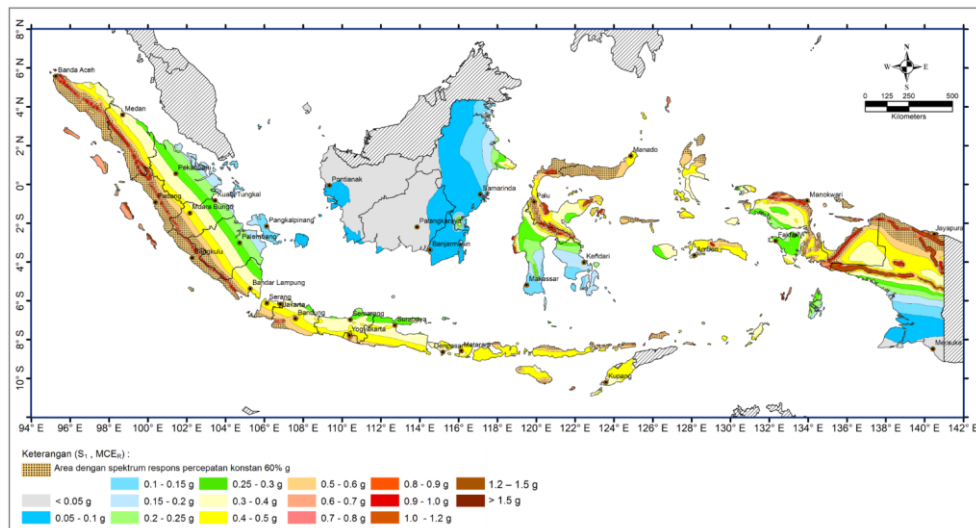
S_1 = Parameter respon spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik yang dapat dilihat pada gambar 3.3.

Berikut merupakan peta parameter Ss yang tercantum pada SNI 1726-2019.



Gambar 3.1 Parameter Gerak Tanah Ss, gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0,2 detik (redaman kritis 5%)
(Sumber: SNI 03 1726, 2019)

Berikut merupakan peta parameter S1 yang tercantum pada SNI 1726-2019:



Gambar 3.2 Parameter Gerak Tanah S1, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 1 detik (redaman kritis 5%)
(Sumber: SNI 03 1726, 2019)

2. Parameter Faktor Amplifikasi

Koefisien situs F_a mengikuti ketentuan SNI 03-1726-2019 dapat dilihat pada Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.6 Koefisien Situs, F_a

Kalsifikasi Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

(Sumber: SNI 03 1726, 2019)

Koefisien situs F_v mengikuti ketentuan SNI 03-1726-2019 dapat dilihat pada Tabel 3.9 berikut.

Tabel 3.7 Koefisien Situs, F_v

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

(Sumber: SNI 03 1726, 2019)

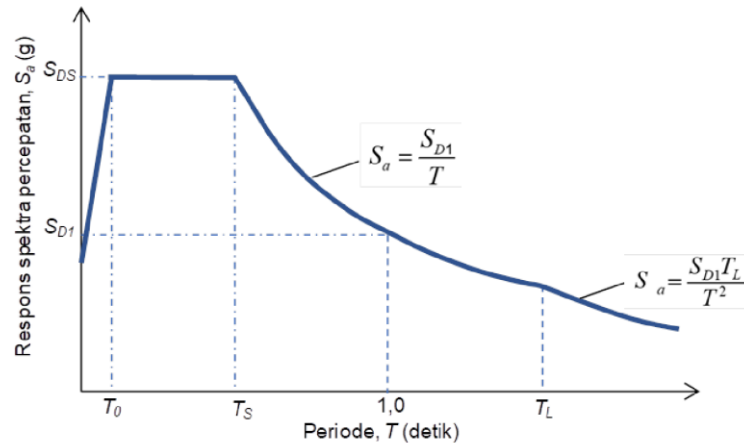
3. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, SDS dan pada periode 1 detik, $SD1$, harus ditentukan melalui rumus berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.23)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.24)$$

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan.



Gambar 3.3 Respon Spektrum Desain

(Sumber: SNI 03 1726, 2019)

- a. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus di ambil persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.25)$$

- b. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} .

- c. Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , di ambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.26)$$

- d. Untuk perioda lebih besar dari T_L , spektrum respons percepatan desain, S_a , di ambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}T_L}{T^2}$$

Keterangan :

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = perioda getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.27)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.28)$$

T_L = peta transisi periode panjang

4. Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti ketentuan SNI 03-1726-2019 seperti pada tabel di bawah ini:

Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I, 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
$0,5 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 03 1726 (2019)

Tabel 3.9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I, II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,2$	C	D
$0,2 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 03 1726 (2019)

5. Persyaratan Tambahan Laporan Investigasi Geoteknik untuk Kategori Desain Seismik D hingga F.

Laporan penyelidikan geoteknik untuk struktur dengan kategori desain seismik D, E, atau F harus mencakup percepatan tanah puncak yang harus ditentukan dengan (1) kajian spesifik situs dengan mempertimbangkan pengaruh amplifikasi yang secara spesifik, yang dijelaskan dalam 0 atau (2) percepatan tanah puncak PGA_M , dari persamaan 3.29 berikut ini:

$$PGA_M = F_{PGA} PGA \quad (3.29)$$

Keterangan:

PGA_M = MCE_G percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs

PGA = Percepatan tanah puncak terpetakan yang ditunjukkan pasal 0 (SNI 03 1726 – 2019)

F_{PGA} = Koefisien situs pada tabel

Nilai koefisien F_{PGA} dapat dilihat pada tabel SNI 03 1726 2019 berikut ini

Tabel 3.10 Koefisien Situs F_{PGA}

Kelas Situs	$PGA \leq 0,1$	$PGA = 0,2$	$PGA = 0,3$	$PGA = 0,4$	$PGA \geq 0,5$	$PGA \geq 0,6$
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	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1
SE	2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1
SF	SS ^(a)					

Sumber: SNI 03 1726 (2019)

6. Faktor Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismic yang berbeda diizinkan untuk digunakan menahan gaya seismic di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila system yang berbeda digunakan, masing-masing nilai R (koefisien modifikasi respons), C_d (faktor pembesaran defleksi), dan Ω_0 (Faktor kuat lebih sistem) harus diterapkan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam tabel berikut ini:

Tabel 3.11 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismic

Sistem pemikul gaya seismic	R^a	Ω_0^b	C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismic				
				B	C	D	E	F
C. Sistem rangka pemikul momen								
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	$5^{1/2}$	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	$4^{1/2}$	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	$2^{1/2}$	TB	TI	TI	TI	TI

Sumber: SNI 03 1726 (2019)

7. Penentuan Periode

Periode fundamental struktur T , tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari tabel dan periode fundamental pendekatan T_a . Sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur T , diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan T_a yang dihitung sesuai tabel berikut:

Tabel 3.12 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung

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

Sumber: SNI 03 1726 (2019)

Periode fundamental pendekatan dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (3.30)$$

$$T_{max} = C_U \times T_a \quad (3.31)$$

Keterangan :

T_a = Perioda fundamental pendekatan (detik)

C_t = Koefisien faktor pengali periode pendekatan

h_a = Ketinggian struktur (m)

Koefisien nilai parameter periode C_t dan x dapat dilihat pada Tabel 3.16

Tabel 3.13 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	X
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 03 1726 (2019)

Untuk menentukan periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dimana sistem pemikul gaya seismik terdiri dari rangka pemikul momen yang seluruhnya beton atau seluruhnya baja dan rata – rata tinggi tingkat sekurang-kurangnya 3 m (SNI 03 1726, 2019):

$$T_a = 0,1 N \quad (3.32)$$

Keterangan :

N= Jumlah tingkat

3.3 Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal

Struktur harus diklasifikasikan beraturan atau tidak beraturan berdasarkan konfigurasi horizontal dan vertikal struktur. SNI 03-1726-2019 telah membagi kriteria menjadi beberapa tipe sehingga bila struktur tidak dapat memenuhi syarat, dapat dikatakan struktur mempunyai ketidakberaturan secara horizontal maupun vertikal.

Pada pasal 7.3.3 disebutkan bahwa terdapat batasan dan persyaratan tambahan untuk kategori desain seismik D sampai F. Struktur dengan kategori desain seismik E atau F dan memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1b atau ketidakberaturan vertikal tipe 1b, 5a atau 5b tidak diizinkan. Sedangkan khusus untuk kategori desain seismik D, vertikal tipe 5b tidak diizinkan. Ketentuan lebih lengkap dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

1. Ketidakberaturan Horizontal

Tabel 3.14 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antartingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Lanjutan Tabel 3.14 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1b	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.3.4.2 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasikekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik	7.5.3 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Sumber: SNI 03 1726 (2019)

2. Ketidakberaturan Vertikal

Berikut ini merupakan batasan ketidakberaturan vertikal pada struktur yang diebut dalam SNI 03-1726-2019:

Tabel 3.15 Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 16	D, E, dan F
	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	7.3.3.1 Tabel 16	E dan F D, E, dan F6
2	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 16	D, E, dan F
3	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismic tingkat didekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F
4	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari Panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F

Sumber: SNI 03 1726 (2019)

Lanjutan Tabel 3.15 Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
5a	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	7.3.3.1 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

Sumber: SNI 03 1726 (2019)

3.4 Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar seismik (V) merupakan keseluruhan dari gaya lateral akibat gaya gempa yang diterima oleh bangunan. Gaya geser seismik dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$V = C_s \times W \quad (3.33)$$

Keterangan :

V = Gaya geser dasar seismik

C_s = Koefisien respon seismik

W = Berat seismik gedung efektif

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.34)$$

Menurut SNI 03 1726 (2019), Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan 3.34 tidak perlu melebihi hasil berikut ini.

$$\text{Untuk } T \leq T_L, \text{ Maka } C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (3.35)$$

$$\text{Untuk } T \geq T_L, \text{ Maka } C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (3.36)$$

$$C_s \text{ harus tidak kurang dari } C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3.37)$$

3.5 Simpangan Antar Lantai

Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin digunakan, Δ harus dihitung menggunakan gaya seismik desain yang ditetapkan tanpa reduksi untuk desain tegangan izin (SNI 03 1726, 2019).

Bagi struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal Tipe 1a atau 1b, simpangan antar tingkat desain, Δ , harus dihitung sebagai selisih terbesar dari simpangan titik-titik yang segaris secara vertikal disepanjang salah satu bagi tepi struktur, di atas dan di bawah tingkat yang di tinjau (SNI 03 1726, 2019).

Simpangan pusat massa di tingkat-x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut ini:

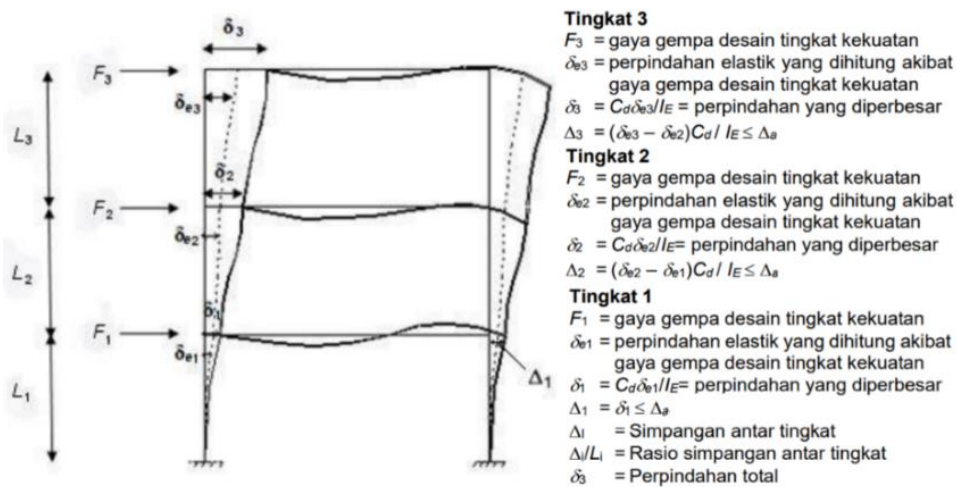
$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (3.38)$$

keterangan:

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral

δ_{xe} = simpangan di tingkat-x

I_e = faktor keutamaan gempa



Gambar 3.4 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

Batasan simpangan antar tingkat yang dimana tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 3.16 Simpangan Antar Tingkat Izin

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit – langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Sumber: SNI 03 1726 (2019)

3.6 Pengaruh P-Delta

Efek P - Delta sendiri merupakan efek yang disebabkan karena adanya aksi beban vertikal yang dipicu oleh perpindahan horizontal struktur yang dihasilkan dari berbagai kondisi pembebanan. P-delta tidak perlu dihitung apabila koefisien stabilitas (θ) sama dengan atau kurang dari 0,1

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (3.39)$$

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi $\theta_{\max}$ yang ditentukan sebagai berikut

$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta Cd} \leq 0,25 \quad (3.40)$$

Keterangan :

P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x, (kN)

Δ = simpangan antar tingkat desain

I_e = faktor keutamaan gempa

V_x = gaya geser seismik yang bekerja antar tingkat (kN)

h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat x

Cd = faktor pembesaran defleksi

β = rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan x-1. Rasio diizinkan diambil sebesar 1,0

Jika nilai dari koefisien stabilitas (θ) lebih besar dari 0,1 dan kurang dari $\theta_{\max}$. Maka diperlukan adanya faktor pengalihan terhadap perpindahan dan gaya komponen struktur dengan $1,0/(1 - \theta)$. Jika nilai koefisien stabilitas (θ) lebih dari nilai $\theta_{\max}$, maka struktur berpotensi tidak setabil dan harus didesain ulang kembali terkait dimensi kolom dan balok yang sudah didesain sebelumnya.

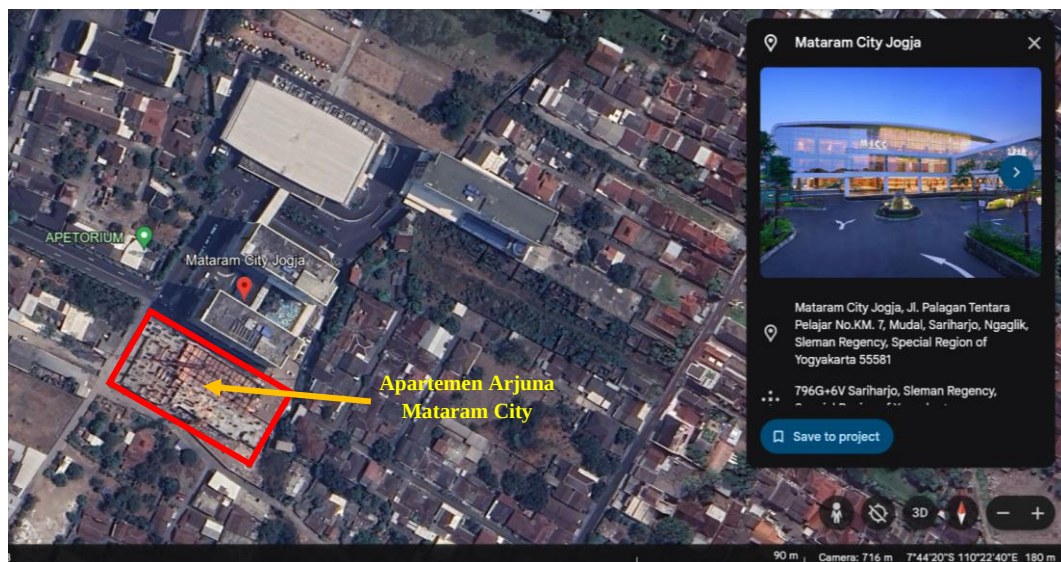
BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Data

Data yang digunakan merupakan data dari proyek pekerjaan gedung Apartemen Arjuna Mataram City. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku struktur gedung dengan beban gempa respon spektrum dan berdasarkan SNI 03-1726-2019. Struktur atas berupa struktur beton sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus (dinding beton bertulang khusus), struktur pemikul beban gravitasi berupa pelat lantai yang disangga oleh balok anak dan balok induk lalu disalurkan ke kolom.

4.1.1. Lokasi Objek Penelitian

Gedung Apartemen Arjuna Mataram City yang merupakan objek penelitian ini, terletak di Jl. Palagan Tentara Pelajar KM 7, Mudal, Sriharjo, Ngaglik, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta terlihat pada gambar 4.1 seperti di bawah ini.



Gambar 4.1 Lokasi Pembangunan Apartemen Arjuna Mataram City

(Sumber: Google Earth)

4.1.2. Material Struktur

Gedung yang memiliki fungsi sebagai apartemen tempat tinggal ini, memiliki kriteria material struktur sebagai berikut.

1. Beton

Kuat tekan beton pada struktur apartemen Arjuna terbagi menjadi sebagai berikut:

Tabel 4.1 Kuat Tekan Struktur Beton

	Pondasi	Lantai 1 – Atap	Pekerjaan Luar
Tiang Pancang	-	-	-
Pile Cap	F'c 30	-	-
Kolom	-	F'c 30	-
Balok	-	F'c 30	-
Pelat	-	F'c 30	-
Tangga	-	F'c 30	-
Kolom Praktis	-	-	F'c 15
Drainase	-	-	F'c 15
Dinding / Pelat Tangki Air	-	F'c 30	-

Sumber: Shop Drawing Apartemen Arjuna Mataram City (2024)

2. Baja Tulangan

Baja yang digunakan memiliki dua kriteria dan pembagiannya tergambar pada *shop drawing* permodelan. Berikut spesifikasi tulangan yang

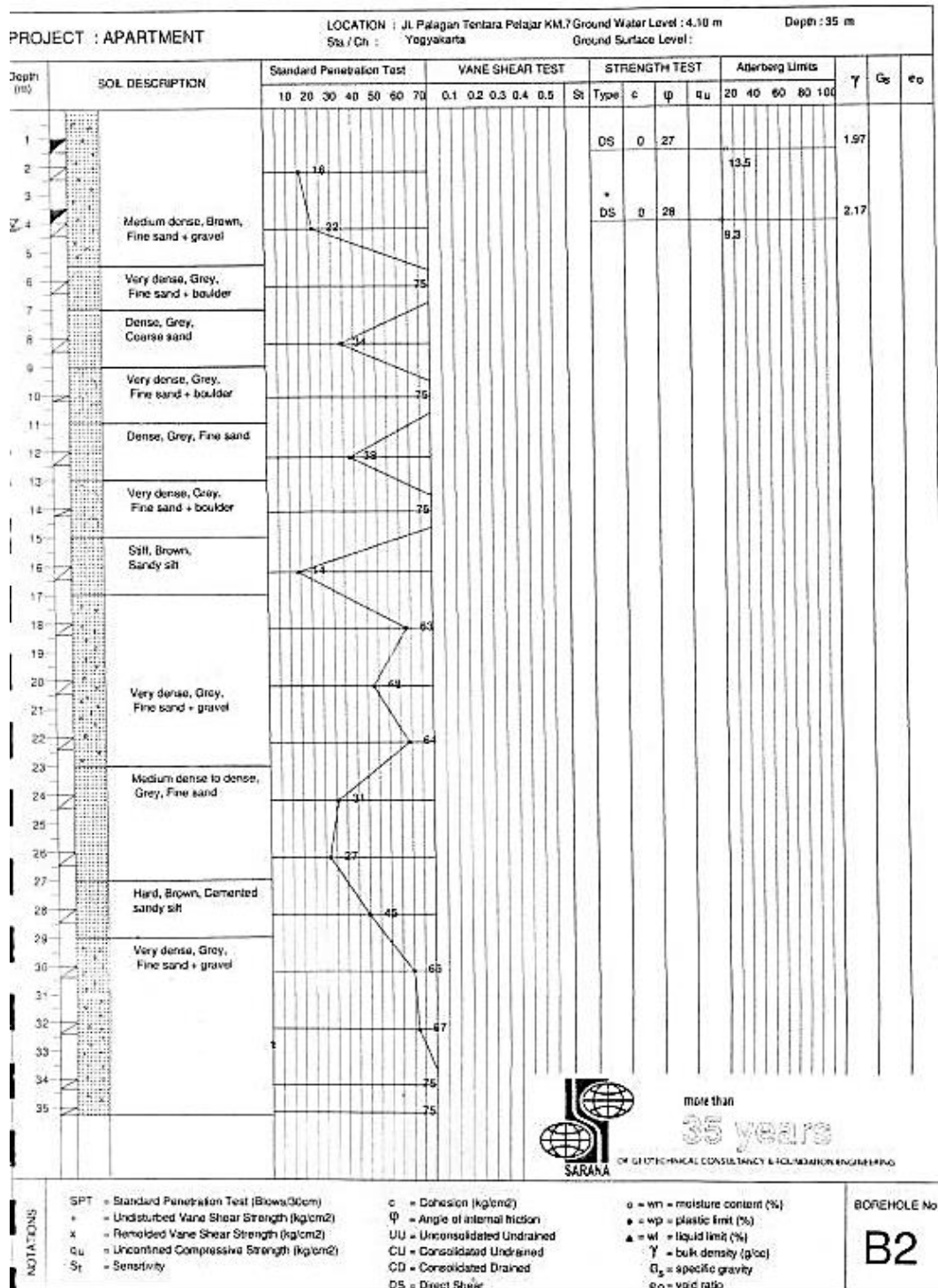
Tulangan BJTP 24 Fy : 240 MPa

Tulangan BJTD 40 Fy : 400 MPa

Tulangan Jaring (*Wermesh*) Fy : 500 MPa

4.1.3. Data Tanah

Berikut ini merupakan hasil pengujian N-SPT proyek Apartemen Arjuna Mataram City yang menunjukkan bahwa bangunan dibangun di atas tanah sedang.

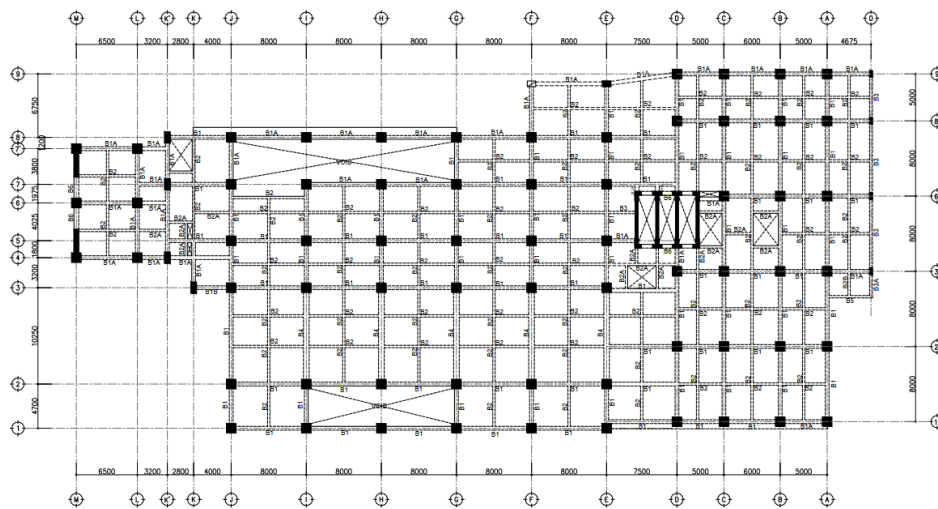


Gambar 4.2 Hasil Data N-SPT

(Sumber: Proyek Apatemen Arjuna Mataram City, 2024)

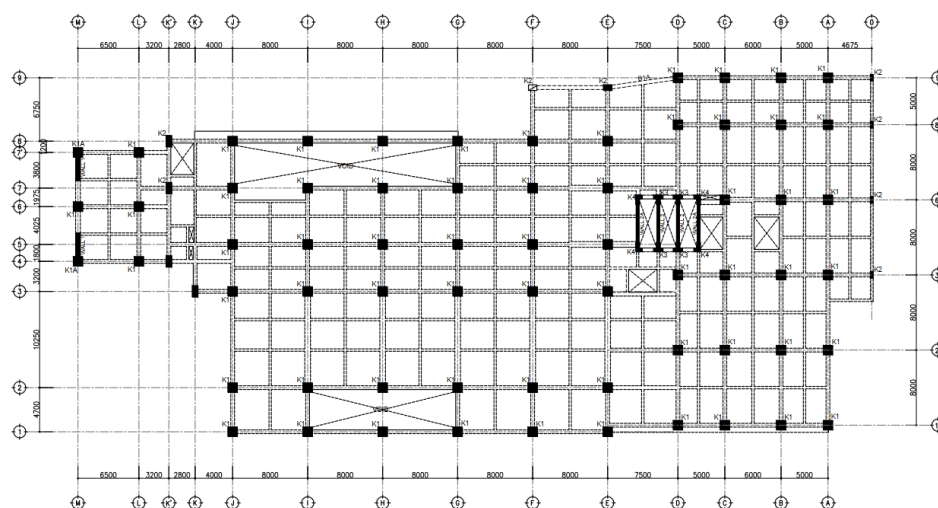
4.2 Permodelan Struktur Gedung Apartemen Arjuna Mataram City

Dalam menganalisis gempa dengan metode respon spektrum, gaya dasar ekuivalen serta analisis perilaku struktur, diperlukan bantuan *software*. Dalam hal ini peneliti menggunakan bantuan SAP2000 v.22 dengan standar sesuai aturan SNI 03-1726-2019. Berikut ini merupakan *shop drawing* struktur gedung Apartemen Arjuna Mataram City yang akan dimodelkan.



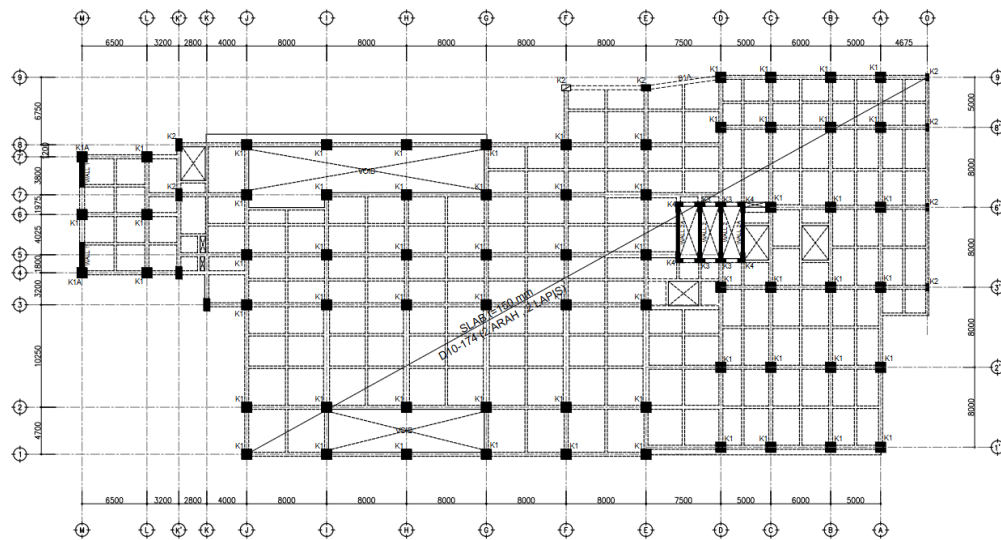
Gambar 4.3 Denah Balok Basement

(Sumber: Proyek Apartemen Arjuna Mataram City)



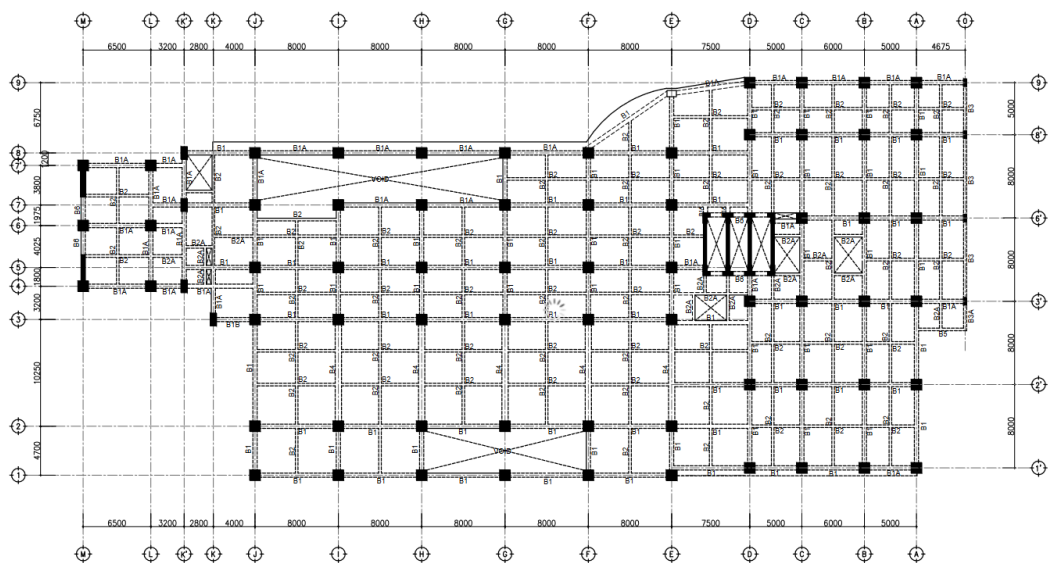
Gambar 4.4 Denah Kolom Basement

(Sumber: Proyek Apartemen Arjuna Mataram City)



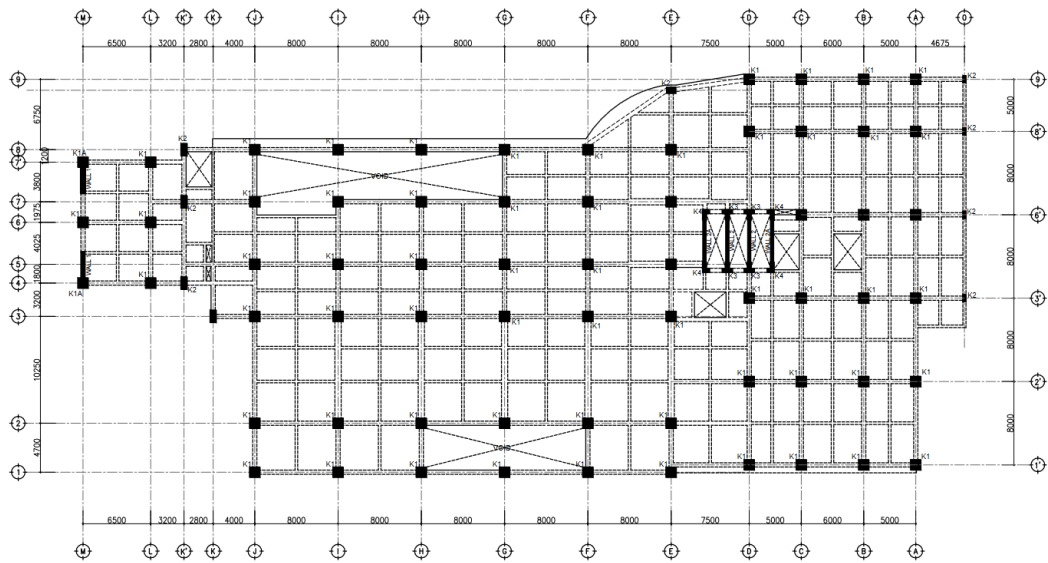
Gambar 4.5 Denah Pelat Lantai Basement

(Sumber: Proyek Apartemen Arjuna Mataram City)



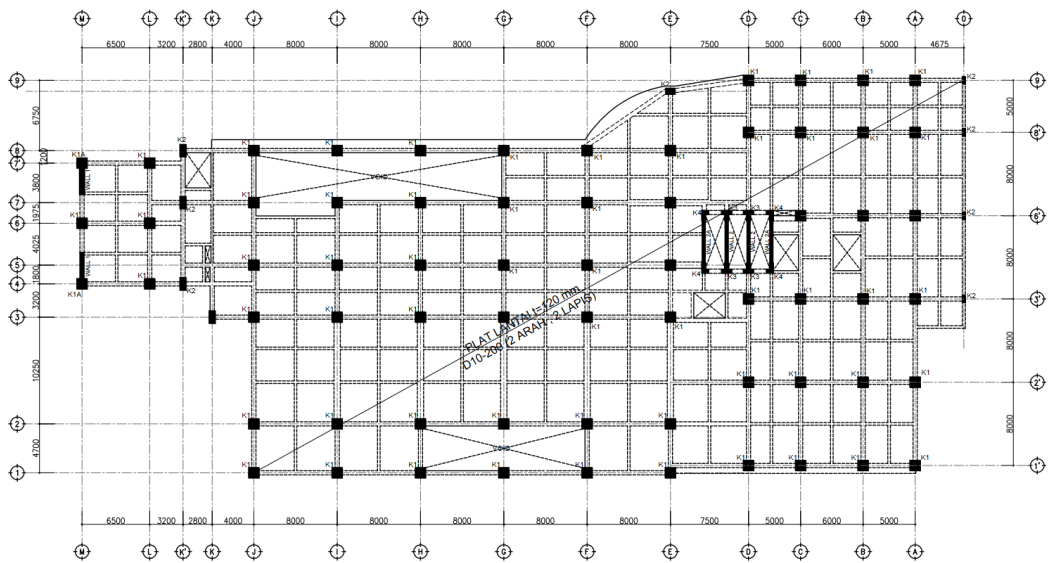
Gambar 4.6 Denah Balok Lobby

(Sumber: Proyek Apartemen Arjuna Mataram City)



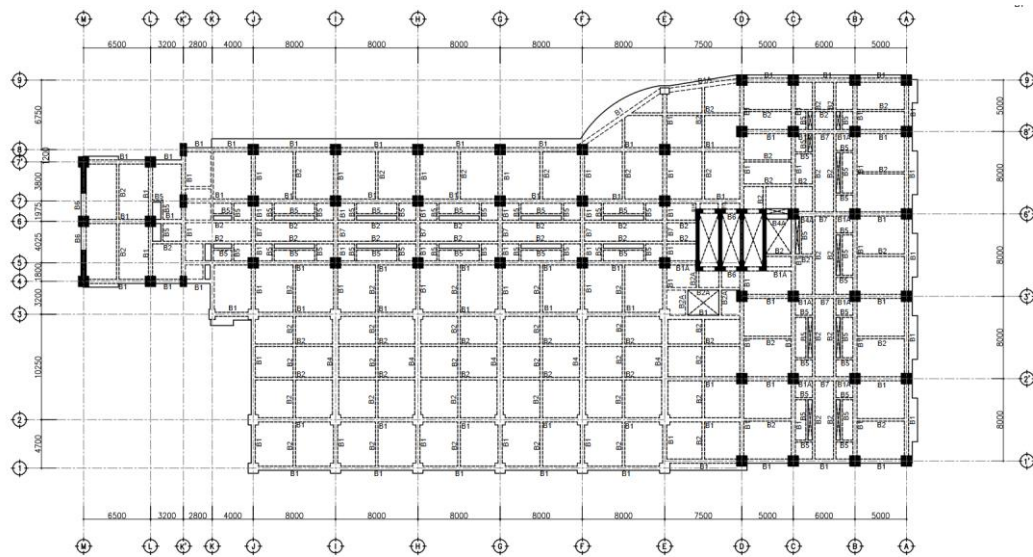
Gambar 4.7 Denah Kolom Lobby

(Sumber: Proyek Apartemen Arjuna Mataram City)



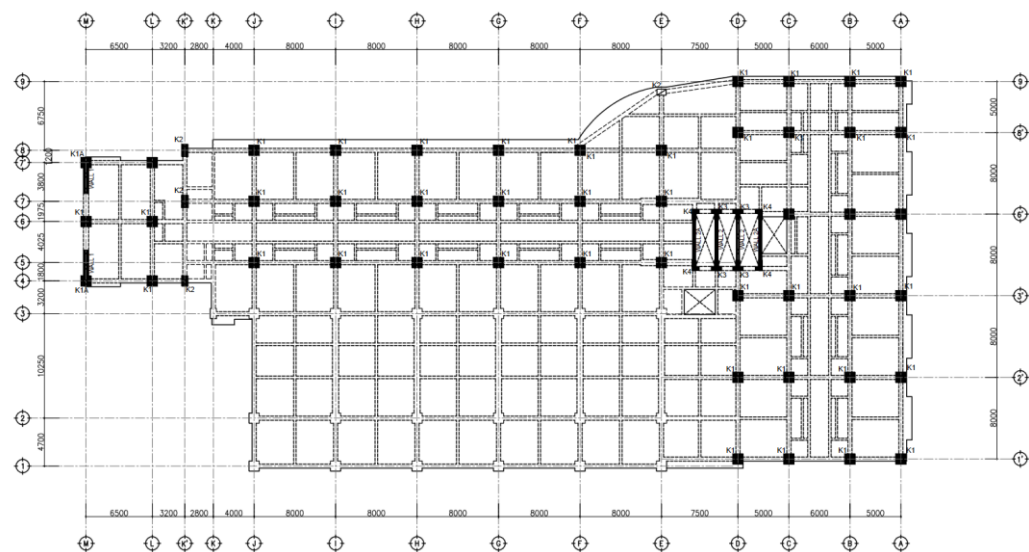
Gambar 4.8 Denah Pelat Lobby

(Sumber: Proyek Apartemen Arjuna Mataram City)



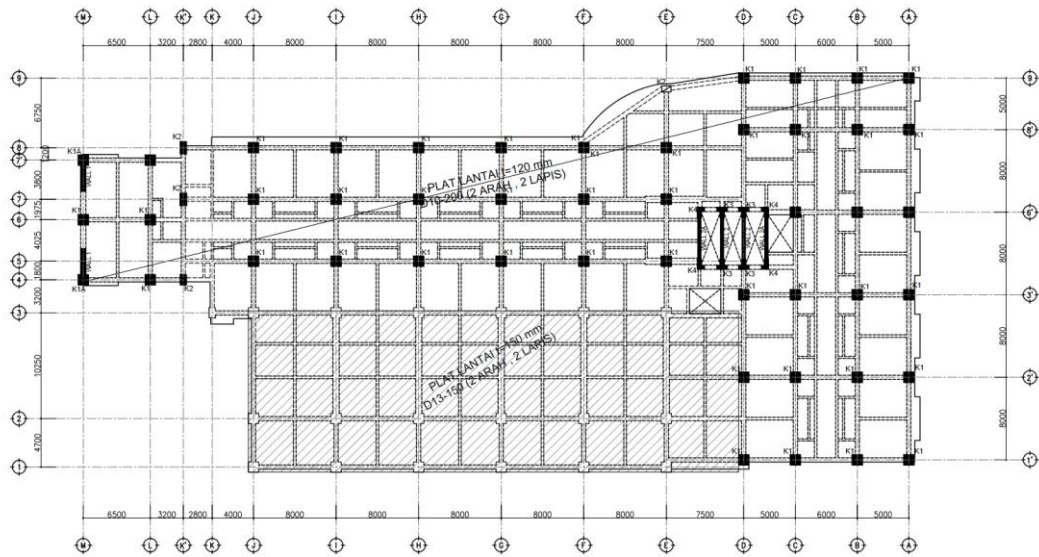
Gambar 4.9 Denah Balok Lantai 1

(Sumber: Proyek Apartemen Arjuna Mataram City)



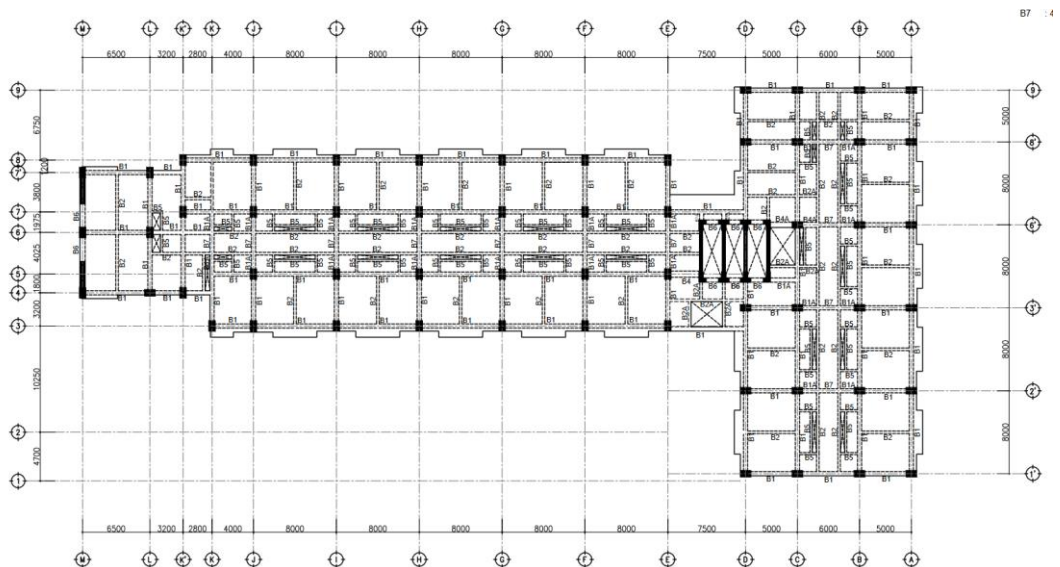
Gambar 4.10 Denah Kolom Lantai 1

(Sumber: Proyek Apartemen Arjuna Mataram City)



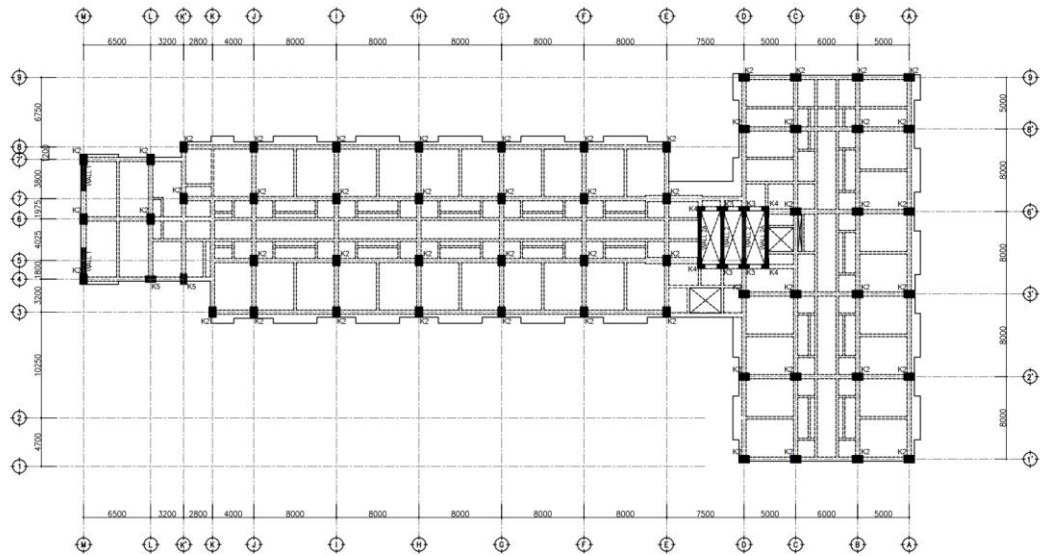
Gambar 4.11 Denah Pelat Lantai 1

(Sumber: Proyek Apartemen Arjuna Mataram City)



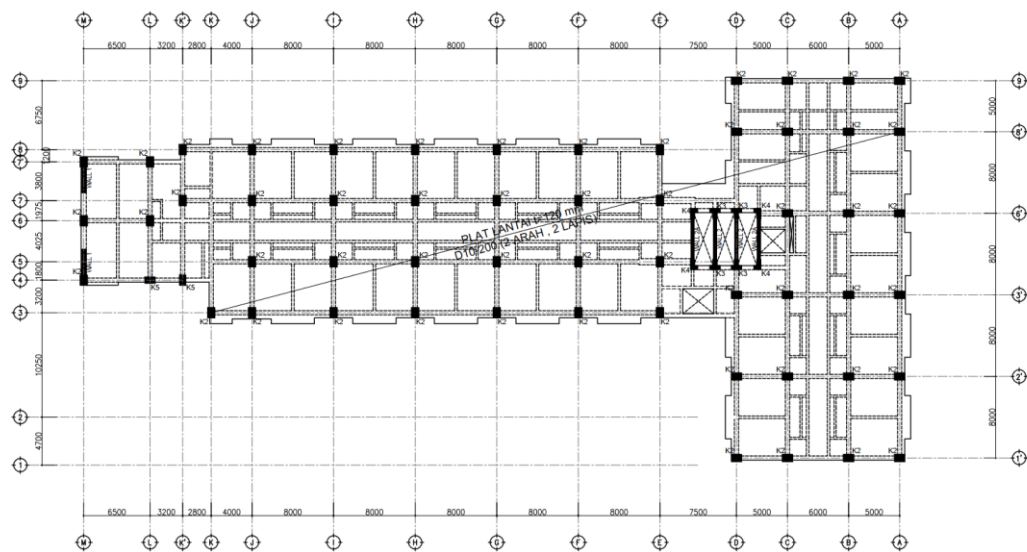
Gambar 4.12 Denah Balok Lantai 2-17

(Sumber: Proyek Apartemen Arjuna Mataram City)



Gambar 4.13 Denah Kolom Lantai 2-17

(Sumber: Proyek Apartemen Arjuna Mataram City)



Gambar 4.14 Denah Pelat Lantai 2-17

(Sumber: Proyek Apartemen Arjuna Mataram City)

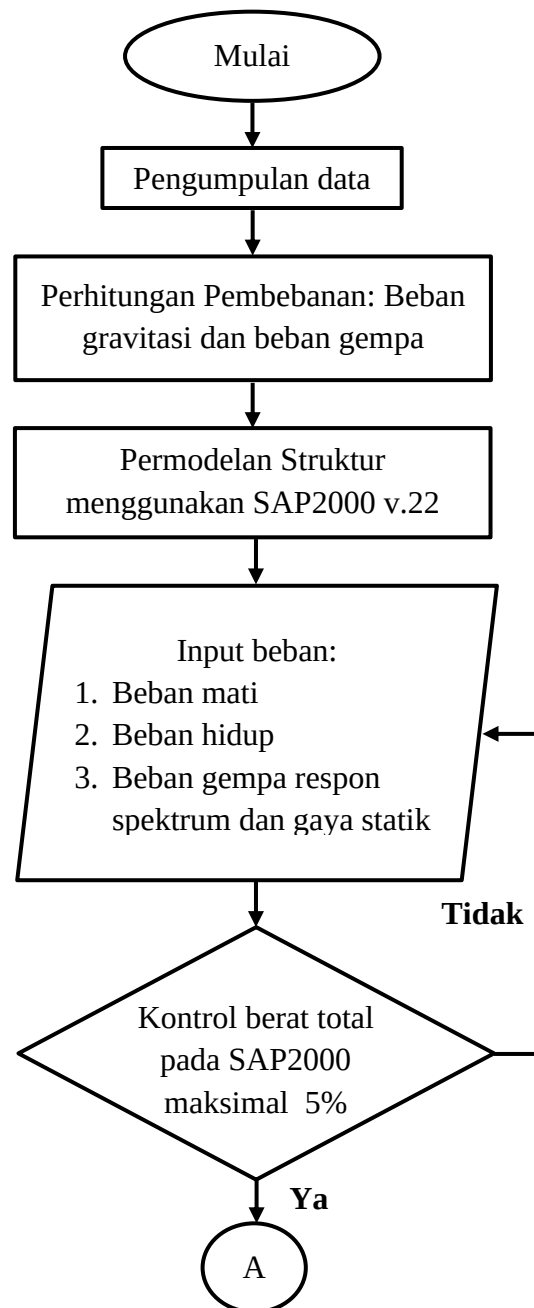
4.3 Metode Penelitian

Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam pengerjaan tugas akhir yang peneliti lakukan.

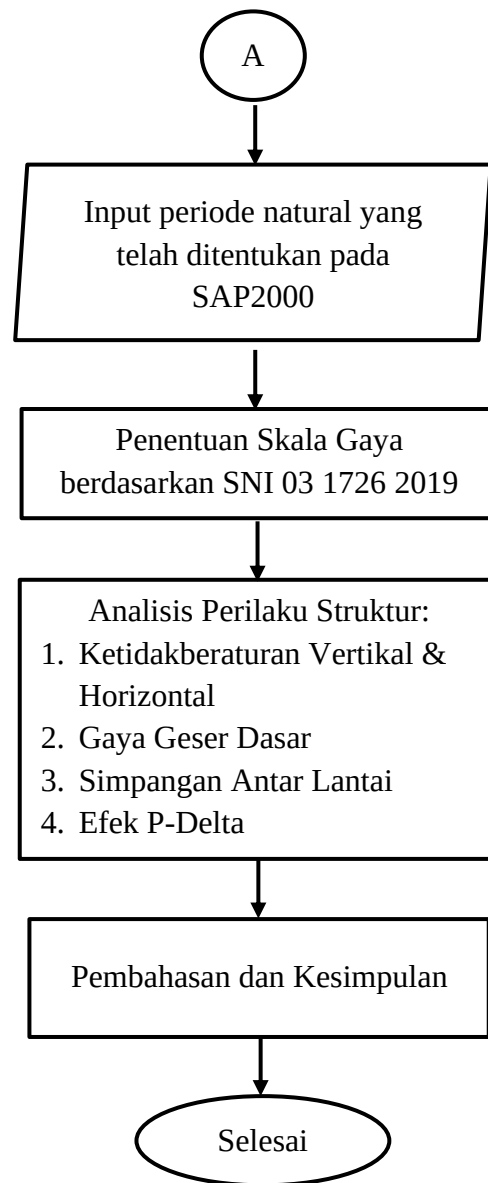
1. Mencari data teknis perencanaan gedung atau data primer.
2. Mencari data pembebanan berdasarkan SNI 1727-2020 dan PPIUG 1983.
3. Menghitung beban gravitasi berupa beban hidup dan beban mati yang diterima oleh struktur sesuai dengan SNI 1727-2020 dan PPIUG 1983.
4. Melakukan perhitungan awal gempa statik ekuivalen dan dinamik respons spektrum dengan menggunakan bantuan excel.
5. Melakukan pemodelan struktur beton tiga dimensi dengan bantuan SAP2000 v.22.
6. Memasukkan pembebanan berupa beban gravitasi, serta menganalisis perhitungan gempa yang sudah diperhitungkan dengan *Ms. Excel*. Analisis yang dilakukan adalah analisis dengan memasukan persyaratan perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung pada SNI 1726-2019 dan dilakukan menggunakan program komputer analisis struktur *SAP2000 v.22*.
7. Melakukan kontrol berat dengan membandingkan hasil perhitungan *SAP2000 v.22* dengan perhitungan manual menggunakan *Ms. Excel* hingga mencapai perbedaan maksimal 5%.
8. Menginput periode (T) yang didapat dari perhitungan *SAP2000 v.22* dan dihitung kembali dengan program *Ms. Excel*.
9. Memasukkan periode (T) baru yang telah ditetapkan ke dalam *SAP2000 v.22* lalu menentukan skala gaya.
10. Melakukan olah data dari *output* data hasil analisis yaitu berat total bangunan, ketidakberaturan vertikal dan horizontal, gaya geser dasar, simpangan antar lantai dan efek p-delta.
11. Pembahasan berdasarkan permasalahan yang sudah dirumuskan
12. Penyusunan kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang menjawab tujuan penelitian.

4.4 Bagan Alir Penelitian

Berikut ini adalah bagan alir penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti.



Gambar 4.15 Bagan Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.16 Bagan Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Bangunan

Bangunan Apartemen Arjuna Mataram City memiliki 18 lantai yang terdiri dari lantai basement, lantai 1obby, lantai satu serta lantai dua hingga tujuh belas yang tipikal. Informasi umum mengenai bangunan ini yaitu:

1. Fungsi Bangunan : Apartemen
2. Jumlah Lantai : 18 lantai, 1 basement
3. Tinggi Bangunan : 57,2 meter
4. Sistem Struktur : Sistem Ganda dengan Rangka Pemikul Momen Khusus
5. Dimensi Bangunan : 84,675 m x 37,7 m
6. Ukuran Pelat : $t = 150$ mm, D10-174 (2 arah 2 lapis)
7. Mutu Beton : K-350 setara dengan 34,335 MPa
8. Tulangan Polos : 240 MPa
9. Tulangan Ulir : 420 MPa

Ukuran struktur balok dan kolom dapat dilihat pada Tabel 5.1 sedangkan untuk detail penulangan dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 5.1 Struktur Balok dan Kolom

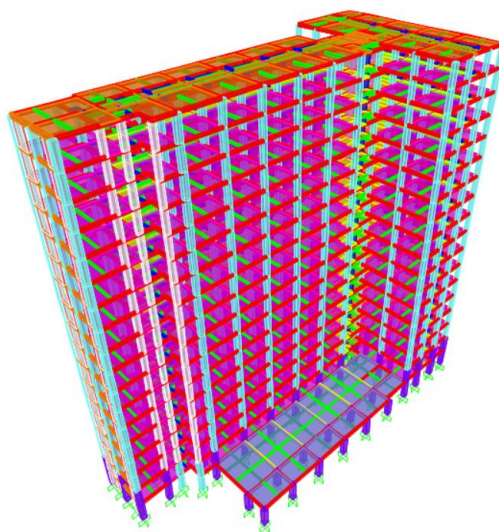
Kode	Tinggi (mm)	Lebar (mm)
Balok B1	500	400
Balok B2	400	250
Balok B3	700	300
Balok B4	600	500
Balok B5	400	200
Balok B6	800	400
Kolom K1	1000	1000
Kolom K2	1000	700
Kolom K3	T 1000 x 1000	400
Kolom K4	L 1000 x 700	400
Wall 1	Tebal	400
Wall 2	Tebal	400

Penjabaran lantai bangunan dengan elevasinya dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Elevasi dan Tinggi Gedung Apartemen Arjuna Mataram City

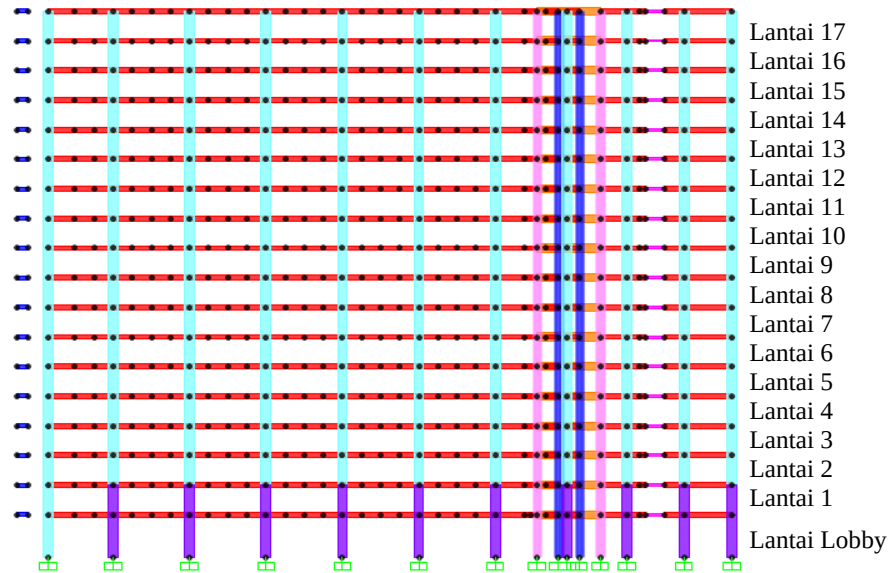
Lantai	Tinggi (m)	Elevasi (m)
Basement	3,5	-3,5
Lantai Lobby	4,5	+0,0
Lantai 1	3,1	+4,5
Lantai 2	3,1	+7,6
Lantai 3	3,1	+10,7
Lantai 4	3,1	+13,8
Lantai 5	3,1	+14,9
Lantai 6	3,1	+20
Lantai 7	3,1	+23,1
Lantai 8	3,1	+26,2
Lantai 9	3,1	+29,3
Lantai 10	3,1	+32,4
Lantai 11	3,1	+35,5
Lantai 12	3,1	+38,6
Lantai 13	3,1	+41,7
Lantai 14	3,1	+44,8
Lantai 15	3,1	+47,9
Lantai 16	3,1	+51
Lantai 17	3,1	+54,1
Atap	0	+57,2

Permodelan Gedung Apartemen Arjuna Mataram City dibuat dengan bantuan program SAP2000 v.22. Dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut ini:



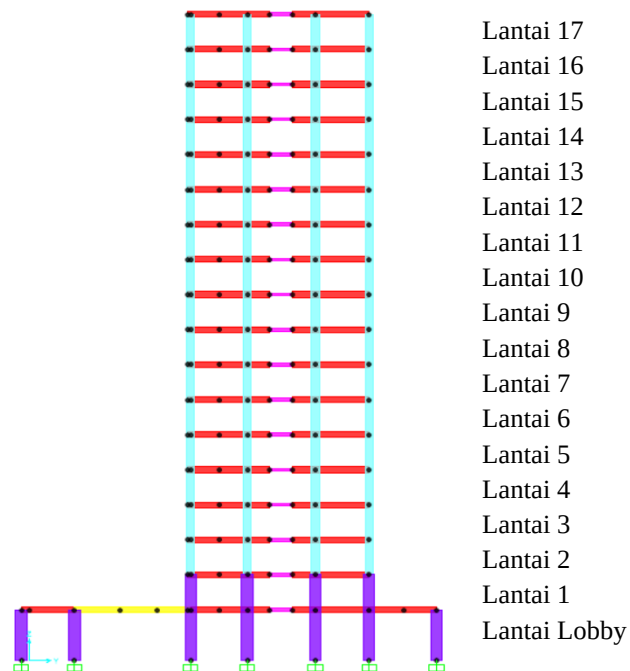
Gambar 5.1 Permodelan Struktur Gedung Apartemen Arjuna Mataram City dengan Aplikasi SAP2000

Perpotongan arah XZ gedung dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut ini.



Gambar 5.2 Potongan Arah XZ

Perpotongan arah YZ gedung dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut ini.



Gambar 5.3 Potongan Arah YZ

5.2 Beban Bangunan

5.2.1 Beban Mati dan Beban Hidup

Beban mati struktur bangunan yang diperhitungkan adalah pelat lantai koridor/selasar, pelat di atas lobby, pelat kamar dan plat atap. Setiap pelat memiliki beban yang berbeda tergantung pada kegunaan pelat tersebut. Berikut perhitungan struktur bangunan:

1. Pelat Selasar/Koridor

Beban Mati

Pelat Beton	$= 0,15 \text{ m} \times 23,544 \text{ kN/m}^3$	$= 3,532 \text{ kN/m}^2$
Spesi	$= 0,03 \text{ m} \times 16,671 \text{ kN/m}^3$	$= 0,618 \text{ kN/m}^2$
Pasir	$= 0,04 \text{ m} \times 15,691 \text{ kN/m}^3$	$= 0,667 \text{ kN/m}^2$
Keramik	$= 0,01 \text{ m} \times 23,544 \text{ kN/m}^3$	$= 0,235 \text{ kN/m}^2$
Ducting AC		$= 0,172 \text{ kN/m}^2$
Plafon & Rangka		$= 0,180 \text{ kN/m}^2$
Sanitasi & Plumbing		$= 0,206 \text{ kN/m}^2$
Total Beban Mati (Qd)		$= 5,610 \text{ kN/m}^2$

Beban Hidup

Menurut pasal 4.7.2 pada SNI 03 – 1727 – 2020, komponen yang memiliki nilai $K_{LL}A_T$ sebesar $37,16 \text{ m}^2$ atau lebih diizinkan untuk dirancang dengan beban hidup tereduksi sesuai dengan rumus. Dari perhitungan manual selasar, didapatkan bahwa $A_T = 56 \text{ m}^2 > 37,16 \text{ m}^2$ sehingga perlu dilakukan reduksi beban hidup.

Diketahui:

$L_0 = 4,79 \text{ kN/m}^2$ untuk bagian selasar

$K_{LL} = 1$ untuk slab dua arah

$$L = L_0 \left(0,25 + \frac{4,75}{\sqrt{K_{LL} \times A_T}} \right)$$

$$L = 4,79 \left(0,25 + \frac{4,75}{\sqrt{1 \times 56}} \right)$$

$$L = 4,114 \text{ kN/m}^2$$

Keterangan :

L : beban hidup desain tereduksi per m^2 yang didukung oleh komponen struktur

L_0 : beban hidup desain tanpa reduksi per m^2 dari luasan yang didukung oleh komponen struktur. Didapatkan dari tabel 3.4 – 1 pada SNI 1727 – 2020

K_{LL} : faktor elemen beban hidup

A_T : luas tributari dalam

Beban Hidup tereduksi $= 4,114 \text{ kN/m}^2$

Beban hidup yang digunakan (Q_l) $= 4,114 \times 0,25 = 1,029 \text{ kN/m}^2$

Beban Ultimate (Q_u) $= 1,2Q_d + 1,6Q_l = 8,378 \text{ kN/m}^2$

2. Pelat Kamar

Beban Mati

Pelat Beton $= 0,12 \text{ m} \times 23,544 \text{ kN/m}^3 = 2,825 \text{ kN/m}^2$

Spesi $= 0,03 \text{ m} \times 16,671 \text{ kN/m}^3 = 0,618 \text{ kN/m}^2$

Pasir $= 0,04 \text{ m} \times 15,691 \text{ kN/m}^3 = 0,667 \text{ kN/m}^2$

Keramik $= 0,01 \text{ m} \times 23,544 \text{ kN/m}^3 = 0,235 \text{ kN/m}^2$

Ducting AC $= 0,172 \text{ kN/m}^2$

Plafon & Rangka $= 0,180 \text{ kN/m}^2$

Sanitasi & Plumbing $= 0,206 \text{ kN/m}^2$

Total Beban Mati (Q_d) $= 4,904 \text{ kN/m}^2$

Beban Hidup

Diketahui:

$L_0 = 1,920 \text{ kN/m}^2$ untuk bagian kamar

$$L = L_0 \left(0,25 + \frac{4,75}{\sqrt{K_{LL} \times A_T}} \right)$$

$$L = 1,920 \left(0,25 + \frac{4,75}{\sqrt{1 \times 56}} \right)$$

$L = 1,649 \text{ kN/m}^2$

Beban Hidup tereduksi $= 1,649 \text{ kN/m}^2$

Beban hidup yang digunakan (Q_l) $= 4,114 \times 0,25 = 0,412 \text{ kN/m}^2$

Beban Ultimate (Q_u) $= 1,2Q_d + 1,6Q_l = 6,544 \text{ kN/m}^2$

3. Pelat Di Atas Lobby

Beban Mati

$$\text{Pelat Beton} = 0,15 \text{ m} \times 23,544 \text{ kN/m}^3 = 3,532 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Lapis Kedap Air} = 0,001 \text{ m} \times 18,637 \text{ kN/m}^3 = 0,019 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Pasir} = 0,04 \text{ m} \times 15,691 \text{ kN/m}^3 = 0,667 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Ducting AC} = 0,172 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Plafon \& Rangka} = 0,180 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sanitasi \& Plumbing} = 0,206 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total Beban Mati (Qd)} = 5,610 \text{ kN/m}^2$$

Beban Hidup

Diketahui:

$$L_0 = 4,79 \text{ kN/m}^2 \text{ untuk bagian selasar}$$

$$K_{LL} = 1 \text{ untuk slab dua arah}$$

$$L = L_0 \left(0,25 + \frac{4,75}{\sqrt{K_{LL} \times A_T}} \right)$$

$$L = 4,79 \left(0,25 + \frac{4,75}{\sqrt{1 \times 56}} \right)$$

$$L = 4,114 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban Hidup tereduksi} = 4,114 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban hidup yang digunakan (Ql)} = 4,114 \times 0,25 = 1,029 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban Ultimate (Qu)} = 1,2Q_d + 1,6Q_l = 8,378 \text{ kN/m}^2$$

4. Atap

Beban Mati

$$\text{Pelat Beton} = 0,1 \text{ m} \times 23,536 \text{ kN/m}^3 = 2,354 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Spesi} = 0,03 \text{ m} \times 20,601 \text{ kN/m}^3 = 0,618 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Lap. Kedap Air} = 0,001 \text{ m} \times 18,639 \text{ kN/m}^3 = 0,019 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Genangan Air} = 0,1 \text{ m} \times 9,81 \text{ kN/m}^3 = 0,981 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Plafond + Rangka} = 0,180 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sanitasi + Plumbing} = 0,206 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total} = 4,358 \text{ kN/m}^2$$

Beban Hidup

Diketahui:

$L_0 = 0,96 \text{ kN/m}^2$ untuk bagian selasar

$K_{LL} = 1$ untuk slab dua arah

$$L = L_0 \left(0,25 + \frac{4,75}{\sqrt{K_{LL} \times A_T}} \right)$$

$$L = 0,96 \left(0,25 + \frac{4,75}{\sqrt{1 \times 56}} \right)$$

$$L = 0,825 \text{ kN/m}^2$$

Beban Hidup tereduksi $= 0,825 \text{ kN/m}^2$

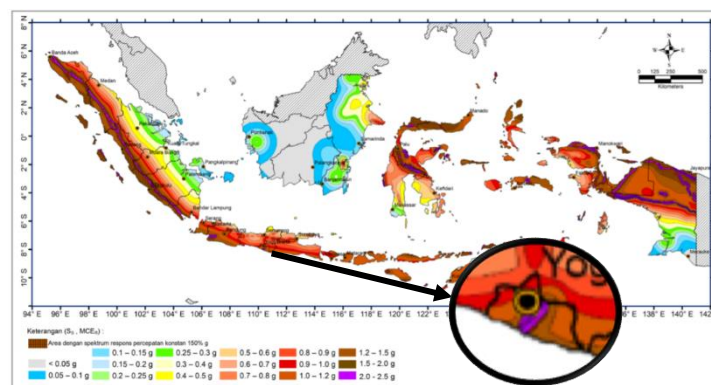
Beban hidup yang digunakan (Q_l) $= 4,114 \times 0,2 = 0,823 \text{ kN/m}^2$

Beban Ultimate (Q_u) $= 1,2Q_d + 1,6Q_l = 5,494 \text{ kN/m}^2$

5.2.2 Beban Gempa Respon Spektrum

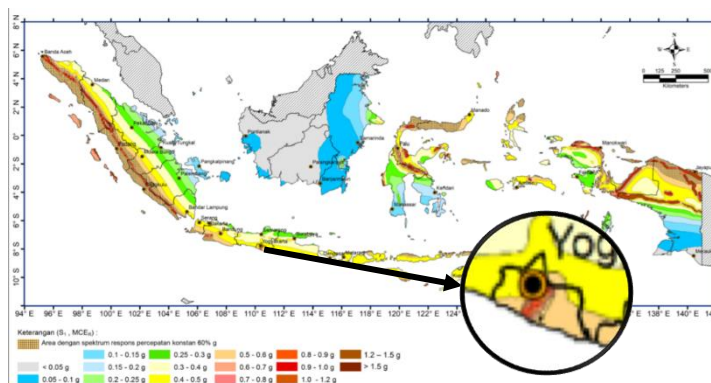
1. Parameter Respon Spektrum Percepatan (S_s dan S_1)

Peta penentuan nilai S_s dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut ini.



Gambar 5.4 Peta Wilayah Nilai S_s (SNI 03 1726 – 2019)

Peta penentuan nilai S_1 dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut ini.



Gambar 5.5 Peta Wilayah Nilai S_1 (SNI 03 1726 – 2019)

Berdasarkan letak wilayah Sleman yang dipetakan pada peta wilayah nilai S_s dan S_1 pada SNI 03-1726-2019, Maka wilayah Sleman termasuk zona S_s dengan rentang nilai 1 – 1,5 dan zona S_1 dengan rentang nilai 0,4 – 0,5. Nilai S_s yang diambil adalah 1,056, sedangkan nilai S_1 yang diambil adalah 0,4829 dengan bantuan *website* RSA Ciptakarya sehingga pengambilan data dapat lebih detail.

2. Parameter Faktor Amplifikasi (F_a dan F_v)

Berikut merupakan cara menentukan Koefisien Situs F_a , sesuai dengan tabel pada SNI 03-1726-2019:

Tabel 5.3 Koefisien Situs, F_a (SNI 03-1726-2019)

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

Sumber SNI 03 1726 (2019)

Tabel 5.4 Koefisien Situs, F_v (SNI 03 1726 – 2019)

Kalsifikasi Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

Sumber SNI 03 1726 (2019)

Berdasarkan jenis tanah klasifikasi situs D (SD) dan nilai S_s yang diambil 1,056 yaitu antara 1 dan 1,25 maka nilai koefisien situs F_a perlu dilakukan interpolasi

antara 1,0 dan 1,1. Setelah perhitungan interpolasi dilakukan, didapatkan nilai F_a sebesar 1,0795.

Nilai S_1 yang diambil 0,4829 yaitu antara 0,4 dan 0,5, maka nilai koefisien situs F_v perlu dilakukan interpolasi antara 1,9 dan 1,8. Setelah perhitungan interpolasi dilakukan, didapatkan nilai F_v sebesar 1,8327.

3. Parameter Nilai SMS dan SM1

S_{MS} atau parameter spektrum respon percepatan pada periode pendek, menggunakan persamaan berikut ini :

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

$$S_{MS} = 1,0795 \times 1,056 = 1,140 \text{ g}$$

S_{M1} atau parameter spektrum respon percepatan pada periode 1 detik, menggunakan persamaan berikut ini:

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

$$S_{M1} = 1,8327 \times 0,4829 = 0,885 \text{ g}$$

4. Parameter Nilai SDS dan SD1

S_{DS} atau parameter spektrum respon percepatan pada periode pendek, menggunakan persamaan berikut ini :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times 1,140 = 0,760$$

S_{D1} atau parameter spektrum respon percepatan pada periode pendek, menggunakan persamaan berikut ini :

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times 0,885 = 0,590$$

5. Parameter Nilai T_0 dan T_S

$$T_0 = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_0 = 0,2 \times \frac{0,590}{0,760}$$

$$T_0 = 0,155 \text{ detik}$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{0,590}{0,760}$$

$$T_s = 0,776 \text{ detik}$$

6. Parameter Nilai Sa

Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , maka nilai S_a adalah

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0})$$

$$S_a = 0,760 \times (0,4 + 0,6 \frac{0}{0,155})$$

$$S_a = 0,304 \text{ g}$$

Untuk perioda $T_0 \leq T < T_s$, maka nilai S_a adalah $S_{DS} = 0,76 \text{ g}$

Untuk perioda $T > T_s$, maka nilai S_a adalah

$$S_a = \frac{SD1}{T}$$

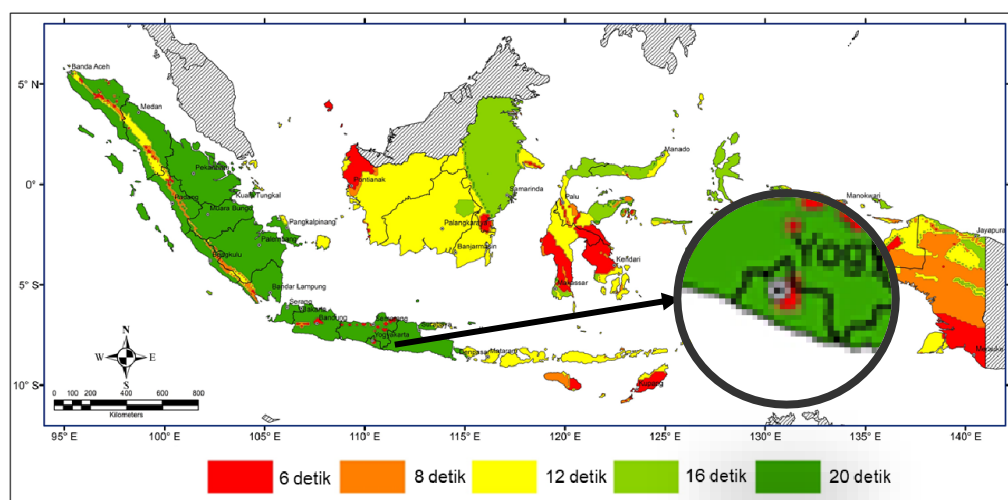
$$S_a = \frac{0,59}{2}$$

$$S_a = 0,295 \text{ g}$$

Untuk contoh perhitungan S_a , digunakan periode sesuai dengan TL.

7. Nilai TL

Parameter nilai TL didapatkan dari peta SNI 03-1726-2019 seerti pada gambar berikut ini:



Gambar 5.4 Peta Transisi Periode Panjang TL (SNI 03 1726 – 2019)

Pada peta, terlihat bahwa daerah Sleman berwarna merah yang artinya nilai TL sebesar 6 detik. Nilai ini nantinya akan digunakan dalam pembuatan grafik

respon spektrum. Dimulai dari periode 0 hingga 0,155 (T_0) yang digunakan untuk menggambarkan titik sebelum linier sebelum T_0 . Lalu periode 0,155 (T_0) hingga 0,776 (T_s) digunakan untuk menggambarkan grafik datar pada respon spektrum. Hasil setelah T_s hingga T_L digunakan untuk menggambarkan penurunan pada grafik. Hasil perhitungan nilai S_a lainnya dari setiap periode (T) dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut.

Tabel 5.5 Nilai S_a Tiap Periode Pada Respon Spektrum

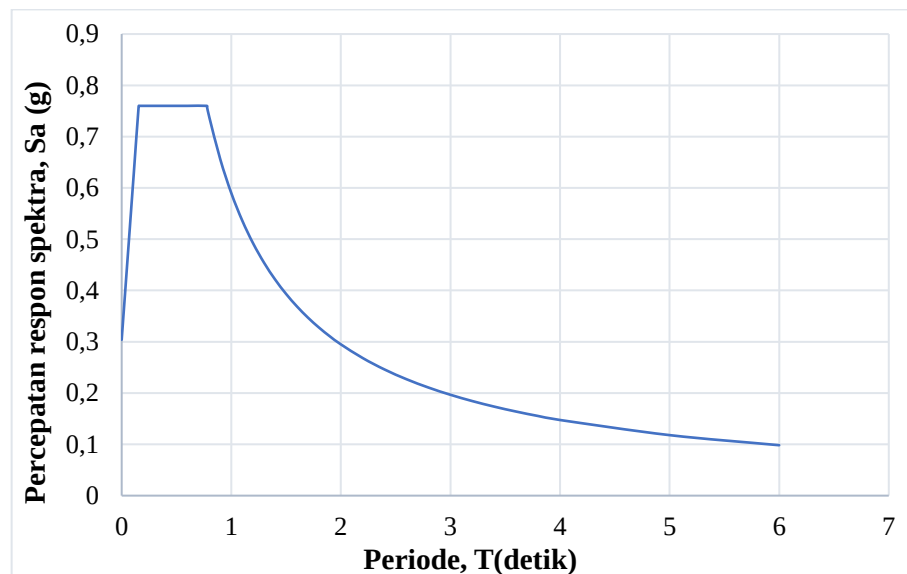
Kategori	T (s)	S_a
$T < T_0$	0	0,304
	0,01	0,333369
	0,02	0,362739
	0,03	0,392108
	0,04	0,421478
	0,05	0,450847
	0,06	0,480217
	0,07	0,509586
	0,08	0,538956
	0,09	0,568325
	0,1	0,597695
	0,11	0,627064
	0,155263	0,76
$T_0 < T < T_s$	0,16	0,76
	0,2	0,76
	0,3	0,76
	0,4	0,76
	0,5	0,76
	0,6	0,76
	0,776316	0,76
$T > T_s$	0,78	0,75641
	0,8	0,7375
	0,9	0,655556
	1	0,59
	1,1	0,536364
	1,2	0,491667
	1,3	0,453846
	1,4	0,421429
	1,5	0,393333
	1,6	0,36875
	1,7	0,347059
	1,8	0,327778

Lanjutan Tabel 5.5 Nilai S_a Tiap Periode Pada Respon Spektrum

Kategori	T (s)	S_a
$T > T_s$	1,9	0,310526
	2	0,295
	2,2	0,268182
	2,4	0,245833
	2,6	0,226923
	2,8	0,210714
	3	0,196667
	3,2	0,184375
	3,4	0,173529
	3,6	0,163889
	3,8	0,155263
	4	0,1475
	5	0,118
	6	0,098333

Sumber: Hasil Perhitungan Pada MS.Excel (2024)

Berikut hasil penggambaran grafik respons spektrum dari data di atas:



Gambar 5.5 Grafik Spektrum Respon SNI 03 - 1726 – 2019

5.2.3 Beban Gempa Statik Ekuivalen

Menurut SNI 03-1726-2019 prosedur gaya lateral ekuivalen terdapat pada pasal 7.8 yang terurai menjadi berikut ini:

1. Kontrol Berat Bangunan

Berat bangunan didapatkan dari perhitungan manual dengan Ms. Excel yang berisikan perhitungan jumlah total berat mati dari pelat, balok, kolom, *shear*

wall, beban mati tambahan serta beban hidup yang telah direduksi. Hasil akhirnya akan dibandingkan dengan *output* SAP2000 v.22 hingga didapatkan perbedaan maksimal sebesar 5%.

Tabel 5.6 Perhitungan Berat Bangunan

Bagian yang dihitung	Berat total manual (kN)
Lobby	8700,4498
Lantai 1	24411,080
Lantai 2-17	257409,096
Atap Pelat Beton	10793,953
Pembebanan dinding pada Balok 1	6989,001
Berat total manual	308303,579
Berat total SAP2000	29654,292
Selisih perhitungan manual dan SAP	3,997%

2. Kontrol Periode Getar (T)

Bangunan ini didesain sebagai jenis Sistem Ganda dengan Rangka Pemikul Momen Khusus, Sehingga nilai $R = 7,5$, nilai $\Omega_0 = 2,5$, dan nilai $C_d = 5,5$. Nilai $T_a = C_t \times h_n^x$ dengan nilai C_t merupakan koefisien faktor pengali periode. Pada bangunan ini didesain sebagai tipe struktur rangka beton pemikul momen, sehingga nilai $C_t = 0,0466$ dan nilai $x = 0,9$.

$$T_a = C_t \times h_n^x$$

$$T_a = 0,0488 \times 57,2^{0,75}$$

$$T_a = 1,015 \text{ detik}$$

Nilai $T_{max} = C_u \times T_a$, dengan nilai C_u merupakan koefisien untuk batas atas yang didapatkan sesuai dengan nilai S_{D1} . Pada perhitungan didapatkan nilai $S_{D1} = 0,590$, sehingga nilai $C_u = 1,4$.

$$T_{max} = C_u \times T_a$$

$$T_{max} = 1,4 \times 1,015$$

$$T_{max} = 1,421 \text{ detik}$$

Nilai T_c merupakan nilai yang didapatkan dari hasil analisis SAP 2000. Pada proses analisis SAP 2000 v.22 didapatkan nilai $T_c = 3,093772$ detik. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis, Nilai T yang digunakan adalah $T =$ dikarenakan

nilai T analisis (T_c) lebih besar dari nilai T_a *max*, maka nilai T yang digunakan adalah nilai T_a *max*.

$T_c > C_u \times T_a$ maka digunakan nilai $T = C_u \times T_a$

$3,093772 > 1,421$, maka nilai $T = 1,421$ detik

3. Koefisien Respons Seismik

Perhitungan respons seismik dibutuhkan untuk mencari beban gempa statik ekuivalen. Berikut ini merupakan penjabarannya:

$$\begin{aligned} C_{S1} &= \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,760}{\left(\frac{7}{1}\right)} \\ &= 0,1013333 \end{aligned}$$

Nilai C_S tidak boleh melebihi nilai C_{S2}

$$\begin{aligned} C_{S2} &= \frac{SD1}{T \times \left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ C_{S2} &= \frac{0,590}{1,421 \times \left(\frac{7}{1}\right)} \\ C_{S2} &= 0,05536 \end{aligned}$$

Nilai C_S yang digunakan tidak boleh kurang dari nilai C_{S3}

$$C_{S3} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01$$

$$C_{S3} = 0,044 \times 0,76 \times 1$$

$$C_{S3} = 0,03344$$

Pada perhitungan nilai C_{S1} di atas, hasilnya C_{S1} lebih besar dari C_{S2} . Sedangkan persyaratan yang tercantum pada SNI 1726-2018 adalah $C_{S2} > C_S > C_{S3}$. Sehingga nilai C_S yang digunakan adalah $C_{S2} = 0,05536$ sebagai batas maksimal.

4. Gaya Geser Dasar Seismik

$$V_{\text{statik}} = C_S \times W$$

$$V_{\text{statik}} = 0,05536 \times 296454,29 \text{ kN}$$

$$V_{\text{statik}} = 16411,702 \text{ kN}$$

$$V_{\text{dinamik arah X}} = 6486,486 \text{ kN}$$

$$V_{\text{dinamik arah Y}} = 8016,551 \text{ kN}$$

Hasil gaya geser dasar ketika menggunakan faktor skala awal:

$$\frac{1}{R} \times 9,81 = \frac{1}{7} \times 9,81 = 1,308$$

Besar skala untuk arah X untuk dimasukkan pada SAP2000:

$$1,308 \times \frac{100\% \times V_{statik}}{V_{dinamik}} = 1,308 \times \frac{16272,234}{6486,486} = 3,281$$

Besar skala untuk arah Y untuk dimasukkan pada SAP2000:

$$1,308 \times \frac{100\% \times V_{statik}}{V_{dinamik}} = 1,308 \times \frac{16272,234}{8016,551} = 2,655$$

Tabel 5.7 di bawah ini merupakan hasil perhitungan nilai gaya geser berdasarkan analisis statik dan dinamik baik pada arah X maupun Y pada SAP2000.

Tabel 5.7 Sebelum Penskalaan Gaya

OutputCase	CaseType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	KN	KN
SQX	LinStatic	16272,234	$2,1 \times 10^{-8}$
SQY	LinStatic	$4,68 \times 10^{-8}$	16272,23
DQX	LinRespSpec	6486,486	176,624
DQY	LinRespSpec	176,624	8016,551

Skala baru yang sudah dihitung, dimasukkan pada *load case* Respon Spektrum hingga $V_{dinamik} = 100\% V_{statik}$ dan hasilnya ada pada Tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5.8 Setelah Penskalaan Gaya

OutputCase	CaseType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	KN	KN
SQX	LinStatic	16272,234	$2,14 \times 10^{-8}$
SQY	LinStatic	$4,68 \times 10^{-8}$	16272,23
DQX	LinRespSpec	16270,765	443,045
DQY	LinRespSpec	358,514	16272,127

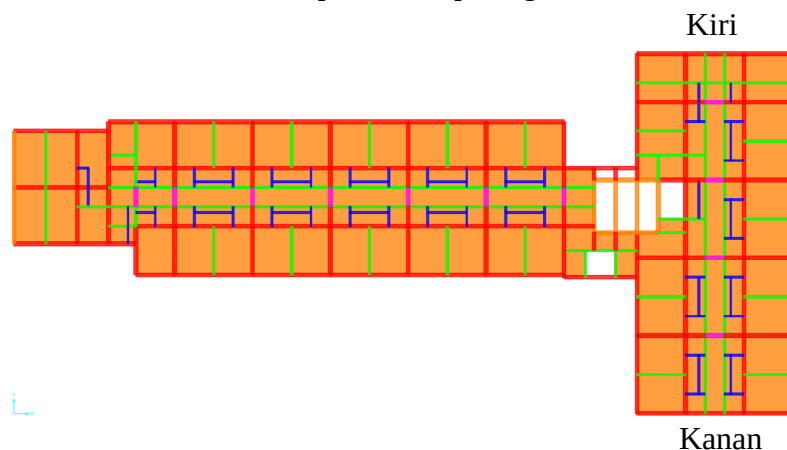
Gaya geser dasar yang telah dihitung (V_{statik}) harus didistribusikan pada seluruh tingkat struktur atas. Nilai eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai $T = 1,421$ sehingga masuk kedalam $0,5 > T > 2,5$, sehingga didapatkan nilai eksponen (k) dari interpolasi = 1,4605.

5.3 Ketidakberaturan Bangunan

5.3.1. Ketidakberaturan Horizontal

1. Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan (1a dan 1b)

Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum. Torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Sedangkan untuk ketidakberaturan torsi berlebihan, terjadi bila simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Titik acuan yang digunakan untuk analisis ketidakberaturan horizontal Tipe 1a dan 1b pada arah x denah lantai dua dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 5.6 Titik Acuan Penentuan Ketidakberaturan 1a, 1b arah X pada Denah Lantai 2

Diketahui data simpangan lantai dua arah X dengan acuan pada Gambar 5.9 yang didapat dari SAP2000 adalah sebagai berikut:

$$\delta e \text{ Eqx kiri} = 0,01665 \text{ m} \times 1000 = 10,665 \text{ mm}$$

$$\delta e \text{ Eqx kanan} = 0,010446 \text{ m} \times 1000 = 10,446 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{avg}} &= (\delta e \text{ Eqx kiri} + \delta e \text{ Eqx kanan}) / 2 \\ &= (10,665 + 10,446) / 2 \\ &= 10,5555 \end{aligned}$$

Ketidakberaturan Torsi:

$$\Delta_{\text{avg}} \times 1,2 = 10,5555 \times 1,2$$

$$\Delta_{avg} \times 1,2 = 12,6666 \text{ mm} > 10,665 \text{ mm (simpangan maksimum)}$$

Ketidakteraturan Torsi Berlebihan:

$$\Delta_{avg} \times 1,4 = 10,5555 \times 1,4$$

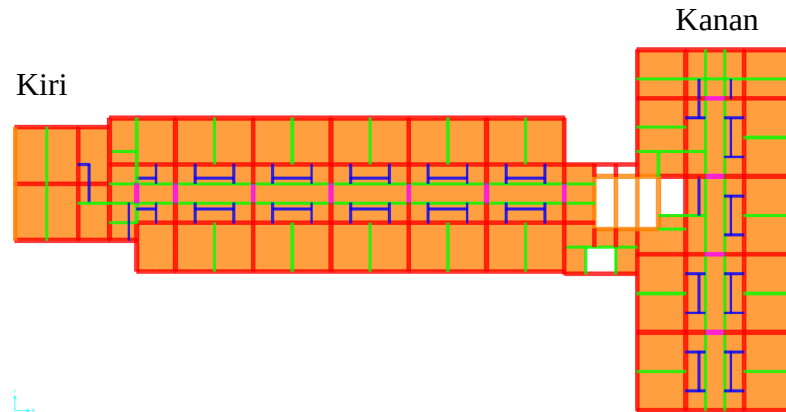
$$\Delta_{avg} \times 1,4 = 14,7777 \text{ mm} > 10,665 \text{ mm (simpangan maksimum)}$$

Ketidakteraturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antartingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakteraturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku. Dari perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa terdapat ketidakteraturan torsi namun tidak ada ketidakteraturan torsi berlebih pada denah lantai dua arah X. Berikut terlampirkan pada Tabel 5.12 hasil perhitungan lengkap ketidakteraturan Torsi dan Torsi Berlebih untuk seluruh lantai.

Tabel 5.9 Hasil Ketidakteraturan Torsi dan Torsi Berlebihan Arah X

Lantai	Kiri δe_{eqx}	Kanan δe_{eqx}	Avg (mm)	1,2 avg (mm)	1,4 avg (mm)	Max (mm)	Cek Torsi 1a	Cek Torsi 1b
17	125,644	204,259	164,952	197,9418	230,9321	204,259	ADA	TDK ADA
16	122,094	198,579	160,337	192,4038	224,4711	198,579	ADA	TDK ADA
15	118,046	192,079	155,063	186,075	217,0875	192,079	ADA	TDK ADA
14	113,38	184,557	148,969	178,7622	208,5559	184,557	ADA	TDK ADA
13	108,072	175,977	142,025	170,4294	198,8343	175,977	ADA	TDK ADA
12	102,147	166,377	134,262	161,1144	187,9668	166,377	ADA	TDK ADA
11	95,643	155,822	125,733	150,879	176,0255	155,822	ADA	TDK ADA
10	88,604	144,381	116,493	139,791	163,0895	144,381	ADA	TDK ADA
9	81,063	132,112	106,588	127,905	149,2225	132,112	ADA	TDK ADA
8	73,055	119,069	96,062	115,2744	134,4868	119,069	ADA	TDK ADA
7	64,612	105,304	84,958	101,9496	118,9412	105,304	ADA	TDK ADA
6	55,774	90,882	73,328	87,9936	102,6592	90,882	ADA	TDK ADA
5	46,608	75,912	61,26	73,512	85,764	75,912	ADA	TDK ADA
4	37,227	60,58	48,9035	58,6842	68,4649	60,58	ADA	TDK ADA
3	27,833	45,221	36,527	43,8324	51,1378	45,221	ADA	TDK ADA
2	18,776	30,416	24,596	29,5152	34,4344	30,416	ADA	TDK ADA
1	10,665	17,18	13,9225	16,707	19,4915	17,18	ADA	TDK ADA
Lobby	4,282	6,817	5,5495	6,6594	7,7693	6,817	ADA	TDK ADA

Sedangkan titik acuan untuk analisis ketidakberaturan horizontal tipe 1 pada arah y dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 5.7 Titik Acuan Penentuan Ketidakberaturan 1a, 1b arah Y pada Denah Lantai 2

Diketahui data simpangan lantai dua arah Y dengan acuan pada Gambar 5.9 yang didapat dari SAP2000 adalah sebagai berikut:

$$\delta e \text{ Eqx kiri} = 0,002377 \text{ m} \times 1000 = 2,377 \text{ mm}$$

$$\delta e \text{ Eqx kanan} = 0,002581 \text{ m} \times 1000 = 2,581 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{avg}} &= (\delta e \text{ Eqx kiri} + \delta e \text{ Eqx kanan}) / 2 \\ &= (2,377 + 2,581) / 2 \\ &= 2,479 \text{ mm} \end{aligned}$$

Ketidakberaturan Torsi:

$$\Delta_{\text{avg}} \times 1,2 = 2,479 \times 1,2$$

$$\Delta_{\text{avg}} \times 1,2 = 2,9748 \text{ mm} > 2,301 \text{ mm (simpangan maksimum)}$$

Ketidakberaturan Torsi Berlebihan:

$$\Delta_{\text{avg}} \times 1,4 = 2,479 \times 1,4$$

$$\Delta_{\text{avg}} \times 1,4 = 3,4706 \text{ mm} > 2,301 \text{ mm (simpangan maksimum)}$$

Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antartingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku. Dari perhitungan tersebut, dapat

disimpulkan bahwa terdapat ketidakberaturan torsi pada lantai 12 hingga 17 namun tidak ada ketidakberaturan torsi berlebih pada denah lantai dua arah Y. Berikut terlampirkan pada Tabel 5.13 hasil perhitungan lengkap ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebih untuk seluruh lantai.

Tabel 5.10 Hasil Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan Arah Y

Lantai	Kiri δe_{eqx}	Kanan δe_{eqx}	Avg (mm)	1,2 avg (mm)	1,4 avg (mm)	Max (mm)	Cek torsi 1a	Cek torsi 1b
17	91,629	158,297	124,963	149,9556	174,9482	158,297	ADA	NO
16	87,663	147,691	117,677	141,2124	164,7478	147,691	ADA	NO
15	83,483	136,948	110,216	132,2586	154,3017	136,948	ADA	NO
14	79,047	126,147	102,597	123,1164	143,6358	126,147	ADA	NO
13	74,341	115,304	94,8225	113,787	132,7515	115,304	ADA	NO
12	69,377	104,46	86,9185	104,3022	121,6859	104,46	ADA	NO
11	64,174	93,667	78,9205	94,7046	110,4887	93,667	NO	NO
10	58,75	82,984	70,867	85,0404	99,2138	82,984	NO	NO
9	53,115	72,48	62,7975	75,357	87,9165	72,48	NO	NO
8	47,281	62,229	54,755	65,706	76,657	62,229	NO	NO
7	41,261	52,317	46,789	56,1468	65,5046	52,317	NO	NO
6	35,085	42,839	38,962	46,7544	54,5468	42,839	NO	NO
5	28,813	33,904	31,3585	37,6302	43,9019	33,904	NO	NO
4	22,551	25,64	24,0955	28,9146	33,7337	25,64	NO	NO
3	16,47	18,192	17,331	20,7972	24,2634	18,192	NO	NO
2	10,828	11,719	11,2735	13,5282	15,7829	11,719	NO	NO
1	6,004	6,435	6,2195	7,4634	8,7073	6,435	NO	NO
Lobby	2,377	2,581	2,479	2,9748	3,4706	2,581	NO	NO

Setelah perhitungan pada lantai 13 hingga lantai atap, terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 1a sehingga perlu adanya peninjauan ulang berdasarkan SNI 1926-2019 pasal 7.8.4.3. Struktur yang didesain untuk kategori desain seismic C, D, E, atau F, di mana ketidakberaturan torsi tipe 1a atau 1b terjadi harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan M_{ta} di masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi (A_x) ditentukan dari persamaan berikut:

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2\delta_{avg}} \right)^2$$

Contoh perhitungan pada lantai 12 arah Y:

$$A_x = \left(\frac{104,46}{104,3022} \right)^2 = 1,00303$$

Keterangan;

$\delta_{\max}$ = adalah perpindahan maksimum di tingkat x (mm) yang dihitung dengan mengasumsika $A_t = 1$ (mm).

δ_{avg} = adalah rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur di tingkat x yang dihitung dengan mengasumsikan $A_t = 1$ (mm).

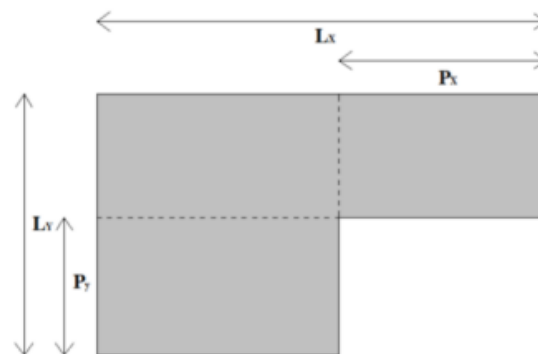
Syarat faktor pembesaran torsi A_x adalah $1 < A_x < 3$. Pembebanan yang lebih untuk masing-masing elemen harus ditinjau untuk desain. Pada kasus ini, semua lantai yang mengalami pembesaran momen torsi tak terduga, nilainya tidak ada yang kurang dari satu maupun melebihi tiga sehingga hasilnya memenuhi syarat aman.

Tabel 5.11 Hasil Pembesaran Torsi Arah X dan Arah Y

Lantai dan Arah	Avg (mm)	1,2 avg (mm)	Max (mm)	Cek torsi 1a	Ax	Syarat
17 X	124,963	149,9556	158,297	ADA	1,11435	AMAN
16 X	117,677	141,2124	147,691	ADA	1,09386	AMAN
15 X	110,216	132,2586	136,948	ADA	1,07217	AMAN
14 X	102,597	123,1164	126,147	ADA	1,04984	AMAN
13 X	94,8225	113,787	115,304	ADA	1,02684	AMAN
12 X	86,9185	104,3022	104,46	ADA	1,00303	AMAN
17 Y	164,952	197,9418	204,259	ADA	1,06485	AMAN
16 Y	160,337	192,4038	198,579	ADA	1,06522	AMAN
15 Y	155,063	186,075	192,079	ADA	1,06557	AMAN
14 Y	148,969	178,7622	184,557	ADA	1,06588	AMAN
13 Y	142,025	170,4294	175,977	ADA	1,06616	AMAN
12 Y	134,262	161,1144	166,377	ADA	1,06639	AMAN
11 Y	125,733	150,879	155,822	ADA	1,06660	AMAN
10 Y	116,493	139,791	144,381	ADA	1,06675	AMAN
9 Y	106,588	127,905	132,112	ADA	1,06687	AMAN
8 Y	96,062	115,2744	119,069	ADA	1,06692	AMAN
7 Y	84,958	101,9496	105,304	ADA	1,06689	AMAN
6 Y	73,328	87,9936	90,882	ADA	1,06673	AMAN
5 Y	61,26	73,512	75,912	ADA	1,06636	AMAN
4 Y	48,9035	58,6842	60,58	ADA	1,06565	AMAN
3 Y	36,527	43,8324	45,221	ADA	1,06436	AMAN
2 Y	24,596	29,5152	30,416	ADA	1,06197	AMAN
1 Y	13,9225	16,707	17,18	ADA	1,05742	AMAN

2. Ketidakberaturan Sudut Dalam

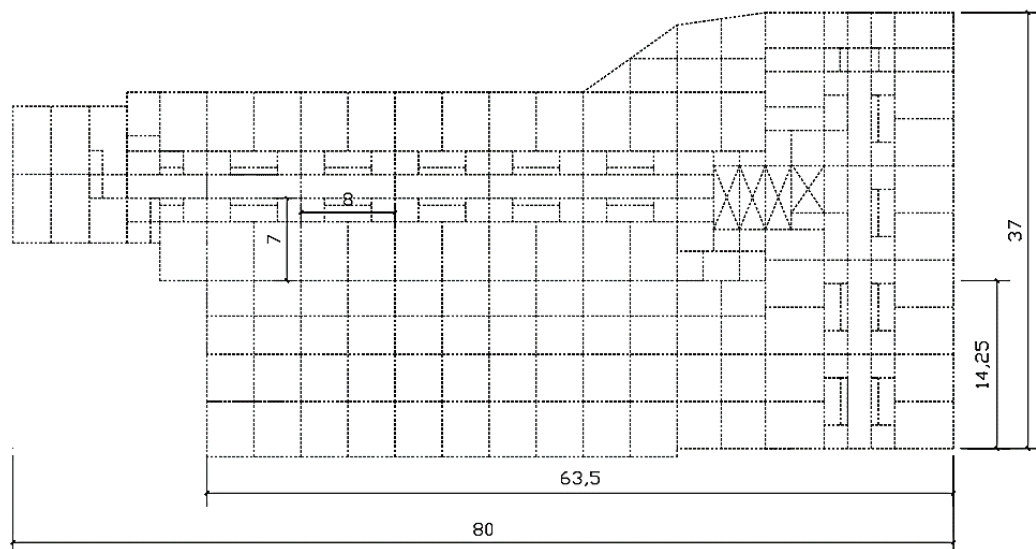
Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau. Pada SNI dijabarkan bahwa panjang L_x dan L_y adalah dimensi terpanjang bangunan. Sedangkan P_x dan P_y adalah dimensi terpendek bangunan.



Gambar 5.8 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 2

Sumber: SNI 03 – 1726 (2019)

Berikut ini dimensi proyeksi denah lantai lobby dengan $L_x = 80$ m, $L_y = 37$ m.
 $P_x = 63,5$ m, $P_y = 14,25$ m.



Gambar 5.9 Pengukuran Dimensi Lantai Lobby dan Lantai 1

Sehingga perhitungan dari ketidakberaturan horizontal adalah sebagai berikut:

$$15\% \times L_x = 15\% \times 80 \text{ m}$$

$$15\% \times L_x = 12 \text{ m}$$

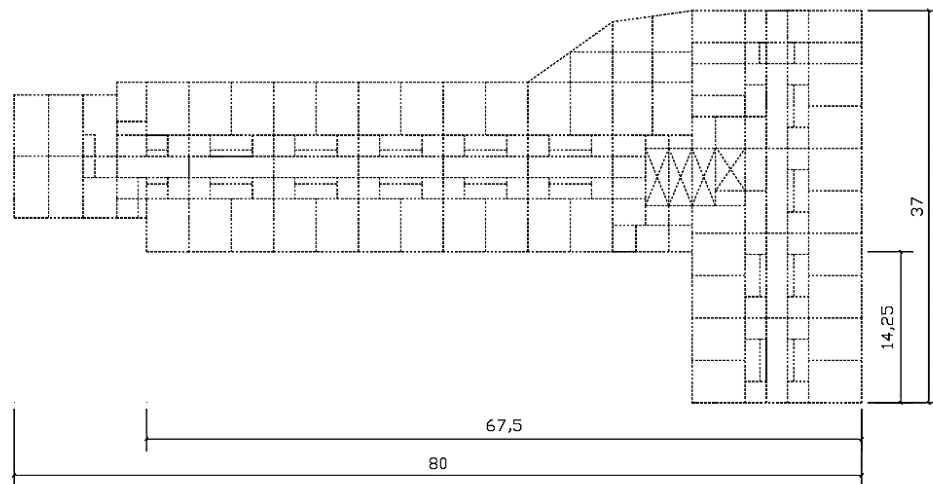
$$12 \text{ m} < 63,5 \text{ m (Px)}$$

$$15\% \times L_y = 15\% \times 37 \text{ m}$$

$$15\% \times L_y = 5,55 \text{ m}$$

$$5,55 \text{ m} < 14,25 \text{ m (Py)}$$

Sedangkan untuk lantai 2-17, dimensi proyeksi denahnya yaitu $L_x = 80 \text{ m}$, $L_y = 37 \text{ m}$. $P_x = 67,5 \text{ m}$, $P_y = 14,25 \text{ m}$.



Gambar 5.10 Pengukuran Dimensi Lantai 2-17

Sehingga perhitungan dari ketidakberaturan horizontal adalah sebagai berikut:

$$15\% \times L_x = 15\% \times 80 \text{ m}$$

$$15\% \times L_x = 12 \text{ m}$$

$$12 \text{ m} < 67,5 \text{ m (Px)}$$

$$15\% \times L_y = 15\% \times 37 \text{ m}$$

$$15\% \times L_y = 5,55 \text{ m}$$

$$5,55 \text{ m} < 14,25 \text{ m (Py)}$$

Dari kedua perhitungan di atas, didapatkan bahwa $15\%L_x$ lebih kecil dari P_x serta $15\% L_y$ lebih kecil dari P_y . Sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak ada ketidakberaturan sudut dalam pada lantai lobby gedung apartemen Arjuna Mataram City. Berikut hasil perhitungan lebih lengkap pada seluruh lantai.

Tabel 5.12 Hasil Ketidakberaturan Sudut Dalam pada Seluruh Lantai

Lantai	Lx (m)	Px (m)	Ly (m)	Py (m)	15% Lx (m)	Cek Arah X	15% Ly (m)	Cek Arah Y
ATAP	80,00	67,50	37,00	14,25	12	TDK ADA	5,55	TDK ADA
17	80,00	67,50	37,00	14,25	12	TDK ADA	5,55	TDK ADA
16	80,00	67,50	37,00	14,25	12	TDK ADA	5,55	TDK ADA
15	80,00	67,50	37,00	14,25	12	TDK ADA	5,55	TDK ADA
14	80,00	67,50	37,00	14,25	12	TDK ADA	5,55	TDK ADA
13	80,00	67,50	37,00	14,25	12	TDK ADA	5,55	TDK ADA
12	80,00	67,50	37,00	14,25	12	TDK ADA	5,55	TDK ADA
11	80,00	67,50	37,00	14,25	12	TDK ADA	5,55	TDK ADA
10	80,00	67,50	37,00	14,25	12	TDK ADA	5,55	TDK ADA
9	80,00	67,50	37,00	14,25	12	TDK ADA	5,55	TDK ADA
8	80,00	67,50	37,00	14,25	12	TDK ADA	5,55	TDK ADA
7	80,00	67,50	37,00	14,25	12	TDK ADA	5,55	TDK ADA
6	80,00	67,50	37,00	14,25	12	TDK ADA	5,55	TDK ADA
5	80,00	67,50	37,00	14,25	12	TDK ADA	5,55	TDK ADA
4	80,00	67,50	37,00	14,25	12	TDK ADA	5,55	TDK ADA
3	80,00	67,50	37,00	14,25	12	TDK ADA	5,55	TDK ADA
2	80,00	67,50	37,00	14,25	12	TDK ADA	5,55	TDK ADA
1	80,00	67,50	37,00	14,25	12	TDK ADA	5,55	TDK ADA
LOBBY	80,00	63,50	37,00	14,25	12	TDK ADA	5,55	TDK ADA

3. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

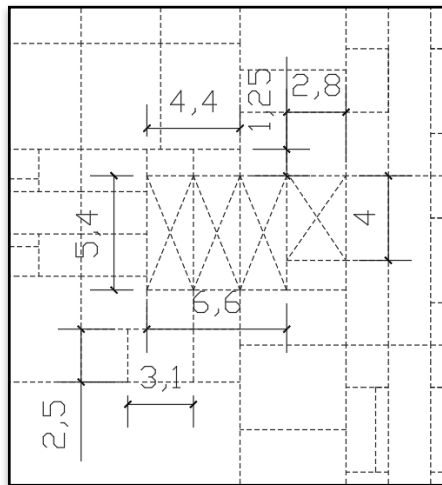
Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50% daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya. Perhitungan luas bukaan pada bangunan ini adalah sebagai berikut:

Diketahui:

$$\text{Luas total lantai 1} = 2267,16 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} 50\% \text{ Luas total lantai 1} &= 50\% \times 2267,16 \text{ m}^2 \\ &= 1133,5775 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas bukaan bangunan} &= (3,1 \times 2,5) + (6,6 \times 5,4) + (4 \times 2,8) + (1,25 \times 4,4) \\ &= 60,09 \text{ m}^2 \end{aligned}$$



Gambar 5.11 Dimensi Bukaannya pada Semua Lantai

Karena luas bukaan bangunan lebih kecil dari 50% luas total lantai yaitu 60,09 $\text{m}^2 < 1133,5774 \text{ m}^2$, maka bangunan aman dari ketidakberaturan diskontinuitas diafragma Berikut ini adalah hasil perhitungan selengkapnya pada seluruh lantai:

Tabel 5.13 Hasil Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Lantai	Luas total (m2)	50% luas total (m2)	Luas bukaan (m2)	Cek
Atap	1456,17	728,085	60,09	Aman
17	1456,17	728,085	60,09	Aman
16	1456,17	728,085	60,09	Aman
15	1456,17	728,085	60,09	Aman
14	1456,17	728,085	60,09	Aman
13	1456,17	728,085	60,09	Aman
12	1456,17	728,085	60,09	Aman
11	1456,17	728,085	60,09	Aman
10	1456,17	728,085	60,09	Aman
9	1456,17	728,085	60,09	Aman
8	1456,17	728,085	60,09	Aman
7	1456,17	728,085	60,09	Aman
6	1456,17	728,085	60,09	Aman
5	1456,17	728,085	60,09	Aman
4	1456,17	728,085	60,09	Aman
3	1456,17	728,085	60,09	Aman
2	1456,17	728,085	60,09	Aman
1	2267,16	1133,5775	60,09	Aman
Lobby				

5.3.2. Ketidakberaturan Vertikal

1. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak

Berlebihan (1a dan 1b)

Didefinisikan ada ketika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\delta_e E_{qx1} = 35,24 \text{ mm}$$

$$\delta_e E_{qx2} = 88,86 \text{ mm}$$

$$\delta_e E_{qx3} = 135,99 \text{ mm}$$

$$K_1 = \frac{1}{\delta_e E_{qx}}$$

$$K_1 = \frac{1}{35,24}$$

$$K_1 = 0,028374$$

$$K_2 = \frac{1}{\delta_e E_{qx}}$$

$$K_2 = \frac{1}{88,86}$$

$$K_2 = 0,011254$$

$$0,7 \times K_2 = 0,7 \times 0,011254$$

$$0,7 \times K_2 = 0,005148$$

$$K_3 = \frac{1}{\delta_e E_{qx}}$$

$$K_3 = \frac{1}{135,99}$$

$$K_3 = 0,007354$$

$$0,7 \times K_3 = 0,7 \times 0,007354$$

$$0,7 \times K_3 = 0,003812$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan bahwa:

$$K_1 > 0,7K_2 = 0,028374 > 0,005148$$

Begitu pula pada lantai yang berada di atasnya yaitu:

$$K_2 > 0,7K_3 = 0,011254 > 0,003812$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada gedung Apartemen Arjuna Mataram City. Hasil perhitungan pada seluruh lantai dan seluruh arah dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 5.14 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a Arah X

Lantai	Tinggi (mm)	δE_{qx}	K	0,7 K	$K1 > 0,7K2$	$0,8*((K1+K2+K3)/3)$	$K1 > 0,8 K123$
Atap	3100	830,34	0,001204				
17	3100	783,28	0,001277	0,000843	NO	0,000281009	NO
16	3100	735,67	0,001359	0,000894	NO	0,000578901	NO
15	3100	693,75	0,001441	0,000952	NO	0,000896073	NO
14	3100	652,17	0,001533	0,001009	NO	0,000951398	NO
13	3100	605,88	0,001650	0,001073	NO	0,001011284	NO
12	3100	560,08	0,001785	0,001155	NO	0,001079227	NO
11	3100	512,47	0,001951	0,001250	NO	0,001159503	NO
10	3100	466,13	0,002145	0,001366	NO	0,001257038	NO
9	3100	418,80	0,002388	0,001502	NO	0,001372504	NO
8	3100	372,62	0,002684	0,001671	NO	0,001513045	NO
7	3100	325,41	0,003073	0,001879	NO	0,001683929	NO
6	3100	278,79	0,003587	0,002151	NO	0,001900386	NO
5	3100	231,29	0,004324	0,002511	NO	0,002180187	NO
4	3100	183,63	0,005446	0,003027	NO	0,002562841	NO
3	3100	135,99	0,007354	0,003812	NO	0,003116447	NO
2	3100	88,86	0,011254	0,005148	NO	0,003995339	NO
1	4500	35,24	0,028374	0,007878	NO	0,0056124	NO
Lobby							

Tabel 5.15 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a Arah Y

Lantai	Tinggi (mm)	δE_{qy}	K	0,7 K	$K1 > 0,7K2$	$0,8*((K1+K2+K3)/3)$	$K1 > 0,8 K123$
Atap	57200	715,06	0,001398				
17	54100	669,83	0,001493	0,000979	NO	0,00032632	NO
16	51000	628,09	0,001592	0,001045	NO	0,00067466	NO
15	47900	583,61	0,001713	0,001114	NO	0,00104615	NO
14	44800	536,08	0,001865	0,001199	NO	0,00111965	NO
13	41700	492,68	0,002030	0,001306	NO	0,00120656	NO
12	38600	445,29	0,002246	0,001421	NO	0,00130866	NO
11	35500	399,18	0,002505	0,001572	NO	0,00143286	NO
10	32400	353,72	0,002827	0,001754	NO	0,00158213	NO
9	29300	311,40	0,003211	0,001979	NO	0,0017682	NO
8	26200	263,77	0,003791	0,002248	NO	0,00199348	NO
7	23100	216,09	0,004628	0,002654	NO	0,00229357	NO
6	20000	171,13	0,005844	0,003239	NO	0,00271371	NO
5	16900	129,52	0,007721	0,004091	NO	0,00332792	NO
4	13800	92,00	0,010869	0,005405	NO	0,00424484	NO
3	10700	59,38	0,016841	0,007608	NO	0,00570116	NO
2	7600	32,71	0,030568	0,011789	NO	0,00826728	NO
1	4500	13,23	0,075600	0,021398	NO	0,01359827	NO
Lobby							

Sedangkan untuk Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebih, perhitungannya didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Sehingga perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$0,8 \times \frac{K_1+K_2+K_3}{3} = 0,8 \times \frac{0,028374+0,011254+0,007354}{3} \\ = 0,0056124$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan bahwa:

$$K_1 > 0,8K_{123} \text{ yaitu } 0,046489 > 0,0056124$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak ada *soft story* berlebihan pada bangunan ini. Berikut ini adalah rekapitulasi perhitungan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebih pada setiap lantai.

Tabel 5.16 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1b Arah X

Lantai	Tinggi (mm)	δE_{qx}	K	0,6 K	$K_1 > 0,6K_2$	$0,7*((K_1+K_2+K_3)/3)$	$K_1 > 0,7 K_{123}$
ATAP	3100	830,34	0,001				
17	3100	783,28	0,001	0,001	NO	0,000578901	NO
16	3100	735,67	0,001	0,001	NO	0,000896073	NO
15	3100	693,75	0,001	0,001	NO	0,000951398	NO
14	3100	652,17	0,002	0,001	NO	0,001011284	NO
13	3100	605,88	0,002	0,001	NO	0,001079227	NO
12	3100	560,08	0,002	0,001	NO	0,001159503	NO
11	3100	512,47	0,002	0,001	NO	0,001257038	NO
10	3100	466,13	0,002	0,001	NO	0,001372504	NO
9	3100	418,80	0,002	0,001	NO	0,001513045	NO
8	3100	372,62	0,003	0,001	NO	0,001683929	NO
7	3100	325,41	0,003	0,002	NO	0,001900386	NO
6	3100	278,79	0,004	0,002	NO	0,002180187	NO
5	3100	231,29	0,004	0,002	NO	0,002562841	NO
4	3100	183,63	0,005	0,003	NO	0,003116447	NO
3	3100	135,99	0,007	0,003	NO	0,003995339	NO
2	3100	88,86	0,011	0,004	NO	0,0056124	NO
1	4500	35,24	0,028	0,007	NO	0,010962269	NO
LOBBY							

Tabel 5.17 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1b Arah Y

Lantai	Tinggi (mm)	ΔE_{qx}	K	0,6 K	$K1 > 0,6K2$	$0,7*((K1+K2+K3)/3)$	$K1 > 0,7 K123$
Atap	57200	715,06	0,001				
17	54100	669,83	0,001	0,001	NO	0,00067466	NO
16	51000	628,09	0,002	0,001	NO	0,00104615	NO
15	47900	583,61	0,002	0,001	NO	0,00111965	NO
14	44800	536,08	0,002	0,001	NO	0,00120656	NO
13	41700	492,68	0,002	0,001	NO	0,00130866	NO
12	38600	445,29	0,002	0,001	NO	0,00143286	NO
11	35500	399,18	0,003	0,001	NO	0,00158213	NO
10	32400	353,72	0,003	0,002	NO	0,0017682	NO
9	29300	311,40	0,003	0,002	NO	0,00199348	NO
8	26200	263,77	0,004	0,002	NO	0,00229357	NO
7	23100	216,09	0,005	0,002	NO	0,00271371	NO
6	20000	171,13	0,006	0,003	NO	0,00332792	NO
5	16900	129,52	0,008	0,004	NO	0,00424484	NO
4	13800	92,00	0,011	0,005	NO	0,00570116	NO
3	10700	59,38	0,017	0,007	NO	0,00826728	NO
2	7600	32,71	0,031	0,010	NO	0,01359827	NO
1	4500	13,23	0,076	0,018	NO	0,02870217	NO
Lobby							

2. Ketidakberaturan Berat (Massa)

Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau. Berikut contoh perhitungannya.

Diketahui:

$$W_1 = 24111,00 \text{ kN}$$

$$W_2 = 16099,07 \text{ kN}$$

Maka dapat dihitung massa efektif lantai di atasnya.

$$\begin{aligned}
 150\% \times W_2 &= 150\% \times 16099,07 \text{ kN} \\
 &= 24132,103 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

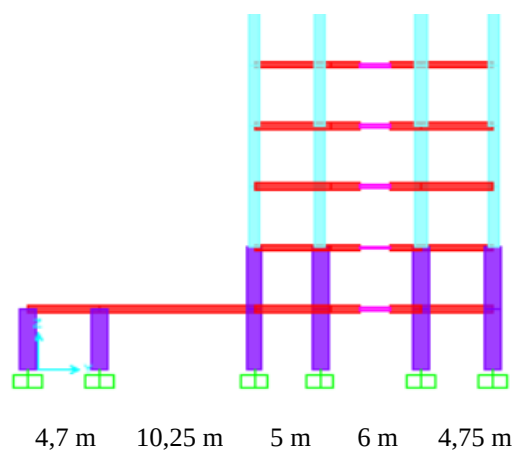
Dari perhitungan di atas, dapat disimpulkan bahwa $W_1 < 150\% \times W_2$ yaitu $24111 \text{ kN} < 24132,103 \text{ kN}$ sehingga bangunan tidak memiliki ketidakberaturan berat (massa). Perhitungan selengkapnya untuk seluruh lantai pada bangunan, dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5.18 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2

Lantai	Berat (kN)	150% w_{i+1}	Cek
ATAP	10793,95	-	
17	16088,07	16190,929	AMAN
16	16088,07	24132,103	AMAN
15	16088,07	24132,103	AMAN
14	16088,07	24132,103	AMAN
13	16088,07	24132,103	AMAN
12	16088,07	24132,103	AMAN
11	16088,07	24132,103	AMAN
10	16088,07	24132,103	AMAN
9	16088,07	24132,103	AMAN
8	16088,07	24132,103	AMAN
7	16088,07	24132,103	AMAN
6	16088,07	24132,103	AMAN
5	16088,07	24132,103	AMAN
4	16088,07	24132,103	AMAN
3	16088,07	24132,103	AMAN
2	16088,07	24132,103	AMAN
1	24111,00	24132,103	AMAN
LOBBY	8700,45	36166,500	AMAN

3. Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Ketidakberaturan ini didefinisikan ada apabila dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat di dekatnya. Berikut ini perhitungannya.

**Gambar 5.12 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3**

Diketahui

$$L_{1Y} = 4,75 \text{ m}$$

$$L_{2Y} = 10,25 \text{ m}$$

$$L_{3Y} = 5 \text{ m}$$

$$L_{4Y} = 6 \text{ m}$$

$$L_{5Y} = 4,75 \text{ m}$$

130% dari dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat di dekatnya dapat kita ambil contoh sebagai berikut.

$$\begin{aligned} L_{3Y} \times 130\% &= 5 \times 130\% \\ &= 6,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Sedangkan $L_{2Y} > L_{3Y}$ yaitu $10,25 \text{ m} > 5 \text{ m}$ sehingga bangunan ini memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 3. Berikut ini merupakan rekapitulasi perhitungan pada seluruh lantai baik untuk arah X dan arah Y.

Tabel 5.19 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 Arah X

Lantai	L1Y (m)	L2Y (m)	L3Y (m)	L4Y (m)	L5Y (m)	130% (m)	Cek
ATAP	4,75	10,25	5,00	6,00	6,00	6,500	ADA
17	4,75	10,25	5,00	6,00	4,75	6,500	ADA
16	4,75	10,25	5,00	6,00	4,75	6,500	ADA
15	4,75	10,25	5,00	6,00	4,75	6,500	ADA
14	4,75	10,25	5,00	6,00	4,75	6,500	ADA
13	4,75	10,25	5,00	6,00	4,75	6,500	ADA
12	4,75	10,25	5,00	6,00	4,75	6,500	ADA
11	4,75	10,25	5,00	6,00	4,75	6,500	ADA
10	4,75	10,25	5,00	6,00	4,75	6,500	ADA
9	4,75	10,25	5,00	6,00	4,75	6,500	ADA
8	4,75	10,25	5,00	6,00	4,75	6,500	ADA
7	4,75	10,25	5,00	6,00	4,75	6,500	ADA
6	4,75	10,25	5,00	6,00	4,75	6,500	ADA
5	4,75	10,25	5,00	6,00	4,75	6,500	ADA
4	4,75	10,25	5,00	6,00	4,75	6,500	ADA
3	4,75	10,25	5,00	6,00	4,75	6,500	ADA
2	4,75	10,25	5,00	6,00	4,75	6,500	ADA
1	4,75	10,25	5,00	6,00	4,75	6,175	ADA
LOBBY	4,75	10,25	5,00	6,00	4,75	6,175	ADA

Berdasarkan Tabel 16 pada SNI 1726-2019, struktur yang memiliki ketidakberaturan struktur vertikal dengan ketinggian lebih dari 48 m maka tidak diizinkan menggunakan analisis gaya lateral ekuivalen untuk perhitungan beban seismiknya.

Tabel 5.20 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 Arah Y

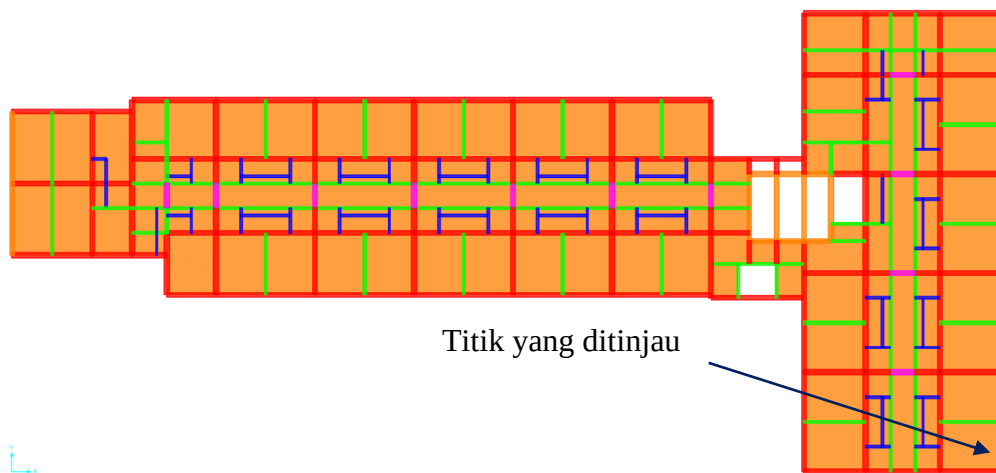
Lantai	L1X (m)	L2X (m)	L3X (m)	L4X (m)	L5X (m)	L6X (m)	L7X (m)	L8X (m)	L9X (m)	L10X (m)	L11X (m)	L12X (m)	L13X (m)	130% (m)	Cek
ATAP	6,5	6	4	8	8	8	8	8	8	7,5	5	6	5	6,000	ADA
17	6,5	6	4	8	8	8	8	8	8	7,5	5	6	5	6,000	ADA
16	6,5	6	4	8	8	8	8	8	8	7,5	5	6	5	6,000	ADA
15	6,5	6	4	8	8	8	8	8	8	7,5	5	6	5	6,000	ADA
14	6,5	6	4	8	8	8	8	8	8	7,5	5	6	5	6,000	ADA
13	6,5	6	4	8	8	8	8	8	8	7,5	5	6	5	6,000	ADA
12	6,5	6	4	8	8	8	8	8	8	7,5	5	6	5	6,000	ADA
11	6,5	6	4	8	8	8	8	8	8	7,5	5	6	5	6,000	ADA
10	6,5	6	4	8	8	8	8	8	8	7,5	5	6	5	6,000	ADA
9	6,5	6	4	8	8	8	8	8	8	7,5	5	6	5	6,000	ADA
8	6,5	6	4	8	8	8	8	8	8	7,5	5	6	5	6,000	ADA
7	6,5	6	4	8	8	8	8	8	8	7,5	5	6	5	6,000	ADA
6	6,5	6	4	8	8	8	8	8	8	7,5	5	6	5	6,000	ADA
5	6,5	6	4	8	8	8	8	8	8	7,5	5	6	5	6,000	ADA
4	6,5	6	4	8	8	8	8	8	8	7,5	5	6	5	6,000	ADA
3	6,5	6	4	8	8	8	8	8	8	7,5	5	6	5	6,000	ADA
2	6,5	6	4	8	8	8	8	8	8	7,5	5	6	5	6,000	ADA
1	6,5	6	4	8	8	8	8	8	8	7,5	5	6	5	6,000	ADA
LOBBY	6,5	6	4	8	8	8	8	8	8	7,5	5	6	5	6,000	ADA

Tabel 5.21 Rekapitulasi Ketidakberaturan Apartemen Mataram City

Ketidakberaturan	Arah X	Arah Y	Keterangan
Horizontal 1a	Ada	Ada	Sudah ditinjau dengan Ax dan hasilnya aman
Horizontal 1b	Aman	Aman	-
Horizontal 2	Aman	Aman	-
Horizontal 3	Aman	Aman	-
Vertikal 1a	Aman	Aman	-
Vertikal 1b	Aman	Aman	-
Vertikal 2	Aman	Aman	-
Vertikal 3	Ada	Ada	Sudah tinjau dengan Tabel 16, tidak diperbolehkan menggunakan static ekuivalen sebagai perhitungan beban seismic

5.4 Simpangan Antar Lantai

Pada SNI 03 - 1726 – 2019 perhitungan pada lantai atap serta *joint* yang ditinjau dalam menentukan nilai simpangan inelastik serta simpangan antar tingkat ijin seperti berikut ini.

**Gambar 5.13 Titik Tinjau Simpangan Arah X**

$$\begin{aligned}
 \delta_e E_{qx \text{ atap}} &= 0,1510 \text{ m} = 150,97 \text{ mm} \\
 \delta_{\text{atap}} &= \frac{C_d \delta_{qxe}}{I_e} \\
 \delta_{\text{atap}} &= \frac{5,5 \times 150,97}{1}
 \end{aligned}$$

$$\delta_{\text{atap}} = 830,341 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{e Eqx } 17} = 0,1424 \text{ m} = 142,42 \text{ mm}$$

$$\delta_{17} = \frac{C_d \delta_{qxe}}{I_e}$$

$$\delta_{17} = \frac{5,5 \times 142,42}{1}$$

$$\delta_{17} = 783,283 \text{ mm}$$

$$\Delta x = \delta_1 - \delta_2$$

$$\Delta x = 830,341 - 783,283$$

$$\Delta x = 47,058 \text{ mm}$$

Kategori risiko II maka batasan nilai dari simpangan antar tingkat izin adalah $0,02h_{sx}$ dibagi dengan redundansi 1,3.

$$\Delta a/p = \frac{0,025 \times h}{p}$$

$$\Delta a/p = \frac{0,020 \times 3100}{1,3}$$

$$\Delta a/p = 47,692 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil contoh perhitungan, nilai $\Delta x = 47,058 \text{ mm} < \Delta a/p = 47,692 \text{ mm}$, maka nilai simpangan antar lantai pada joint tersebut tidak melebihi batas ijin kategori. Hasil simpangan antar lantai pada SAP 2000 V.22 berdasarkan persyaratan SNI 1726 – 2019 yang dapat dilihat pada Tabel 5.22.

Rasio simpangan antar lantai dihitung berdasarkan hasil simpangan antar lantai dibagi dengan tinggi lantai (h_x). Contoh perhitungan dapat dihitung seperti berikut ini.

$$\Delta x = 47,058 \text{ mm}$$

$$H \text{ Lantai } 17 = 3100 \text{ mm}$$

$$\text{Drift Ratio} = \frac{\Delta x}{Hx}$$

$$\text{Drift Ratio} = \frac{47,058}{3100}$$

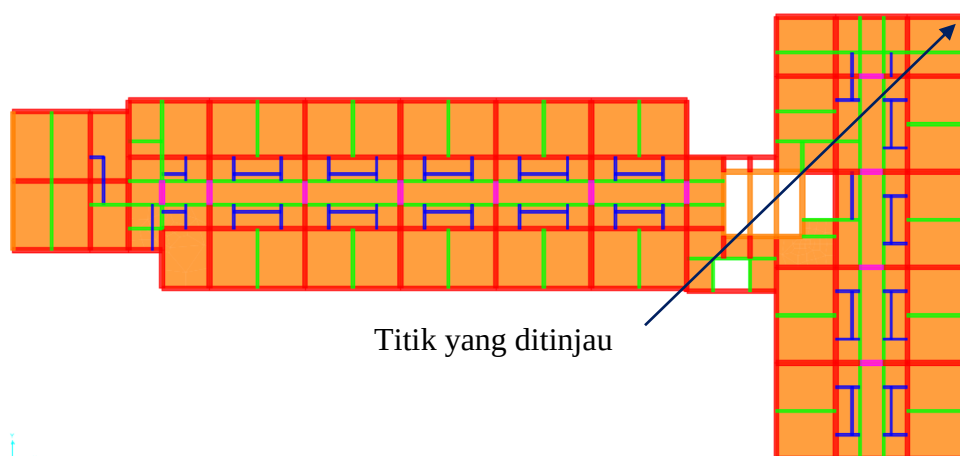
$$\text{Drift Ratio} = 0,0152$$

Rekapitulasi hasil perhitungan rasio simpangan antar lantai dapat dilihat pada tabel 5.22 dan 5.33 berikut ini.

Tabel 5.22 Rasio Simpangan Antar Lantai Arah-X

Lantai	δe_{Eqx}	δe_{Eqx}	δE_{qx}	Δx	$\Delta a/p$	Kontrol $\Delta x < \Delta a$	Drift ratio
	m	Mm	mm	mm	mm		
ATAP	0,1510	150,971	830,341	47,058	47,692	AMAN	0,0152
17	0,1424	142,415	783,283	47,614	47,692	AMAN	0,0154
16	0,1338	133,758	735,669	41,915	47,692	AMAN	0,0135
15	0,1261	126,137	693,754	41,580	47,692	AMAN	0,0134
14	0,1186	118,577	652,174	46,294	47,692	AMAN	0,0149
13	0,1102	110,16	605,880	45,804	47,692	AMAN	0,0148
12	0,1018	101,832	560,076	47,608	47,692	AMAN	0,0154
11	0,0932	93,176	512,468	46,343	47,692	AMAN	0,0149
10	0,0848	84,75	466,125	47,327	47,692	AMAN	0,0153
9	0,0761	76,145	418,798	46,178	47,692	AMAN	0,0149
8	0,0677	67,749	372,620	47,207	47,692	AMAN	0,0152
7	0,0592	59,166	325,413	46,624	47,692	AMAN	0,0150
6	0,0507	50,689	278,790	47,504	47,692	AMAN	0,0153
5	0,0421	42,052	231,286	47,652	47,692	AMAN	0,0154
4	0,0334	33,388	183,634	47,647	47,692	AMAN	0,0154
3	0,0247	24,725	135,988	47,130	47,692	AMAN	0,0152
2	0,0162	16,156	88,858	53,614	69,231	AMAN	0,0173
1	0,0064	6,408	35,244	35,244	0,000	AMAN	0,0078
LOBBY	0	0	0	0	0	AMAN	

Hasil perhitungan rekapitulasi rasio simpangan antar lantai arah X pada semua lantai menandakan bahwa simpangan Gedung Apartemen Mataram City aman sesuai dengan izin sehingga tidak perlu adanya tindakan lanjutan yang dapat merubah desain dari bangunan.

**Gambar 5.14 Titik Tinjau Simpangan Arah Y**

Tabel 5.23 Rasio Simpangan Antar Lantai Arah-Y

Lantai	δe_{Eqy}	δe_{Eqy}	δ_{Eqy}	Δy	$\Delta a/p$	Kontrol	Drift ratio
	m	Mm	mm	mm	mm	$\Delta y < \Delta a$	
ATAP	0,1300	130,01	715,055	45,221	47,692	AMAN	0,0146
17	0,1218	121,788	669,834	41,739	47,692	AMAN	0,0135
16	0,1142	114,199	628,095	44,484	47,692	AMAN	0,0143
15	0,1061	106,111	583,611	47,531	47,692	AMAN	0,0153
14	0,0975	97,469	536,080	43,395	47,692	AMAN	0,0140
13	0,0896	89,579	492,685	47,399	47,692	AMAN	0,0153
12	0,0810	80,961	445,286	46,101	47,692	AMAN	0,0149
11	0,0726	72,579	399,185	45,469	47,692	AMAN	0,0147
10	0,0643	64,312	353,716	42,312	47,692	AMAN	0,0136
9	0,0566	56,619	311,405	47,636	47,692	AMAN	0,0154
8	0,0480	47,958	263,769	47,680	47,692	AMAN	0,0154
7	0,0393	39,289	216,090	44,962	47,692	AMAN	0,0145
6	0,0311	31,114	171,127	41,608	47,692	AMAN	0,0134
5	0,0235	23,549	129,520	37,516	47,692	AMAN	0,0121
4	0,0167	16,728	92,004	32,626	47,692	AMAN	0,0105
3	0,0108	10,796	59,378	26,664	47,692	AMAN	0,0086
2	0,0059	5,948	32,714	19,487	69,231	AMAN	0,0063
1	0,0024	2,405	13,228	13,228	0,000	AMAN	0,0029
LOBBY	0	0	0	0	0	AMAN	

Hasil perhitungan rekapitulasi rasio simpangan antar lantai arah Y pada semua lantai juga menandakan bahwa simpangan Gedung Apartemen Mataram City aman sesuai dengan izin sehingga tidak perlu adanya tindakan lanjutan yang dapat merubah desain dari bangunan.

5.5 Pengaruh P-Delta

Menurut SNI 03 1726-2019, nilai koefisien stabilitas (θ) tidak boleh lebih dari koefisien stabilitas maksimum ($\theta_{\max}$). Tabel 5.24 berikut adalah hasil perhitungan koefisien stabilitas (θ) pada lantai satu arah x.

Tabel 5.24 Efek P-Delta Arah X

Lantai	Px	Vx	Δ	h	b	Ie	Cd	θ	Syarat	Status	Status
m	kN	kN	m	m							
Atap	0	0	0,04706	3,1	1,3						
17	13987	2417,883	0,04761	3,1	1,3	1	5,5	0,016154512	0,100	OK	No P-Delta Effect
16	28594,4	4544,039	0,04192	3,1	1,3	1	5,5	0,015469986	0,100	OK	No P-Delta Effect
15	43836,2	6093,85	0,04158	3,1	1,3	1	5,5	0,017542898	0,100	OK	No P-Delta Effect
14	59078,9	7229,706	0,04629	3,1	1,3	1	5,5	0,022187465	0,100	OK	No P-Delta Effect
13	74326,2	8131,224	0,0458	3,1	1,3	1	5,5	0,024556431	0,100	OK	No P-Delta Effect
12	89579,3	8847,531	0,04761	3,1	1,3	1	5,5	0,028271011	0,100	OK	No P-Delta Effect
11	104840	9409,277	0,04634	3,1	1,3	1	5,5	0,030285173	0,100	OK	No P-Delta Effect
10	120109	9895,094	0,04733	3,1	1,3	1	5,5	0,03369348	0,100	OK	No P-Delta Effect
9	135389	10367,176	0,04618	3,1	1,3	1	5,5	0,035369939	0,100	OK	No P-Delta Effect
8	150681	10834,625	0,04721	3,1	1,3	1	5,5	0,03850552	0,100	OK	No P-Delta Effect
7	165988	11314,915	0,04662	3,1	1,3	1	5,5	0,040114805	0,100	OK	No P-Delta Effect
6	181310	11852,135	0,0475	3,1	1,3	1	5,5	0,042621241	0,100	OK	No P-Delta Effect
5	196651	13366,984	0,04765	3,1	1,3	1	5,5	0,041116731	0,100	OK	No P-Delta Effect
4	207480	13964,915	0,04765	3,1	1,3	1	5,5	0,041518853	0,100	OK	No P-Delta Effect
3	227406	14622,294	0,04713	3,1	1,3	1	5,5	0,042988815	0,100	OK	No P-Delta Effect
2	242929	17223,809	0,05361	3,1	1,3	1	5,5	0,044351008	0,100	OK	No P-Delta Effect
1	260217	16280,536	0,03524	3,1	1,3	1	5,5	0,033039032	0,100	OK	No P-Delta Effect
Lobby	287518	9669,27	0	4,5	1,3	1	5,5	-	0,100	OK	No P-Delta Effect

Tabel 5.25 berikut adalah hasil perhitungan koefisien stabilitas (θ) pada lantai satu arah y.

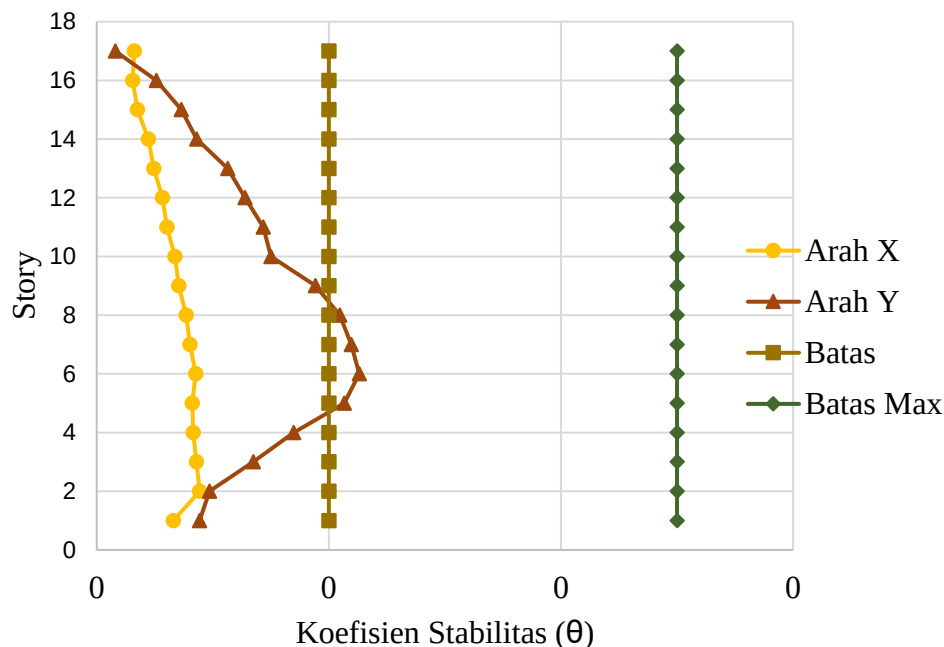
Tabel 5.25 Efek P-Delta Arah Y

Lantai	Px	Vx	Δ	h	b	Ie	Cd	θ	θ_{max}	Syarat	Status	Status
m	kN	kN	m	m								
Atap	0	0	0,04522	3,1	1,3							
17	13987	4295,617	0,04174	3,1	1,3	1	5,5	0,007971145	0,06993	0,100	OK	No P-Delta Effect
16	28594,4	2904,698	0,04448	3,1	1,3	1	5,5	0,025683852	0,06993	0,100	OK	No P-Delta Effect
15	43836,2	3355,105	0,04753	3,1	1,3	1	5,5	0,036423313	0,06993	0,100	OK	No P-Delta Effect
14	59078,9	3496,366	0,04339	3,1	1,3	1	5,5	0,043006204	0,06993	0,100	OK	No P-Delta Effect
13	74326,2	3662,202	0,0474	3,1	1,3	1	5,5	0,056421503	0,06993	0,100	OK	No P-Delta Effect
12	89579,3	3794,761	0,0461	3,1	1,3	1	5,5	0,063827731	0,06993	0,100	OK	No P-Delta Effect
11	104840	3898,669	0,04547	3,1	1,3	1	5,5	0,071712758	0,06993	0,100	OK	No P-Delta Effect
10	120109	3973,149	0,04231	3,1	1,3	1	5,5	0,075019782	0,06993	0,100	OK	No P-Delta Effect
9	135389	4015,248	0,04764	3,1	1,3	1	5,5	0,094205882	0,06993	0,100	OK	No P-Delta Effect
8	150681	4022,733	0,04768	3,1	1,3	1	5,5	0,104747955	0,06993	0,100	NOT OK	No P-Delta Effect
7	165988	3989,904	0,04496	3,1	1,3	1	5,5	0,109708206	0,06993	0,100	NOT OK	No P-Delta Effect
6	181310	3912,505	0,04161	3,1	1,3	1	5,5	0,113087287	0,06993	0,100	NOT OK	No P-Delta Effect
5	196651	4056,727	0,03752	3,1	1,3	1	5,5	0,106661044	0,06993	0,100	NOT OK	No P-Delta Effect
4	207480	4680,113	0,03263	3,1	1,3	1	5,5	0,084832083	0,06993	0,100	OK	No P-Delta Effect
3	227406	5272,931	0,02666	3,1	1,3	1	5,5	0,067445249	0,06993	0,100	OK	No P-Delta Effect
2	242929	5722,399	0,01949	3,1	1,3	1	5,5	0,048518816	0,06993	0,100	OK	No P-Delta Effect
1	260217	4555,722	0,01323	3,1	1,3	1	5,5	0,044313023	0,06993	0,100	OK	No P-Delta Effect
Lobby	287518	2756,618	0	4,5	1,3	1	5,5	-		0,100	OK	No P-Delta Effect

Pengaruh P-delta dapat diabaikan apabila koefisien stabilitas (θ) harus sama dengan atau kurang dari 0,10. Koefisien stabilitas sendiri tidak boleh melebihi $\theta_{\max}$ yang ditentukan sebagai berikut:

$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25$$

Berdasarkan SNI 1728-2019, jika koefisien stabilitas (θ) lebih besar dari 0,1 tetapi kurang dari atau sama dengan $\theta_{\max}$ faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diizinkan untuk mengalihkan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan $1,0/(1 - \theta)$.



Gambar 5.15 Grafik P-Delta Arah X dan Arah Y

Dari hasil grafik di atas menunjukkan bahwa pada arah X tidak terjadi pengaruh P-delta karena hasil koefisien stabilitas kurang dari 0,1. Sedangkan pada arah Y, terdapat pengaruh p-delta pada lantai tiga hingga delapan sehingga syaratnya menggunakan koefisien stabilitas maksimum ($\theta_{\max}$) yaitu 0,25. P-delta ini dapat terjadi karena pada lantai tersebut beban desain vertikal di atas tingkatnya yang bertambah besar. Terjadi perubahan berat yang diterima oleh lantai yang ukurannya telah mengecil dengan ukuran kolom yang mengecil sehingga kemampuan untuk menopangnya lebih kecil serta perbedaan penampang pada arah Y yang lebih panjang. Pada kasus ini, penulis tidak mencantumkan tindakan lanjutan yang harus dilanjutkan dikarenakan koefisien stabilitas tidak melebihi $\theta_{\max}$ sehingga sudah sesuai dengan batas yang diizinkan.

BAB VI

SIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan mengenai perilaku struktur Apartemen Arjuna Mataram City diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Didapatkan besar $S_s = 1,056$, $S_1 = 0,4829$, $F_a = 1,0795$, $F_v = 1,8327$ serta $T_L = 6$ detik.
2. Nilai gaya geser dasar yang didapatkan adalah sebesar 16272,234 kN yang mana sudah diskalakan gayanya sehingga $v_{dinamik} = 100\% v_{statik}$
3. Respon Seismik Apartemen Arjuna Mataram City adalah sebagai berikut:
 - a. Terdapat dua ketidakberaturan struktur yaitu horizontal 1a arah X dan Y yang sudah ditinjau kembali dan hasilnya aman serta ketidakberaturan vertikal tipe 3 pada arah X dan arah Y. Hal ini menyebabkan struktur tidak boleh ditinjau dengan statik ekuivalen melainkan analisis seismik lainnya yang lebih detail.
 - b. Nilai simpangan dan rasio simpangan antar lantai telah memenuhi syarat baik pada arah X maupun arah Y.
 - c. Terdapat efek P-delta yang terjadi pada struktur lantai tiga hingga delapan arah-Y. Hal ini terjadi karena perbedaan ukuran kolom dan berat dari struktur gedung. Lantai dua memiliki luas yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan dua lantai di bawahnya. Sedangkan beban yang diterima jauh lebih besar dari kapasitasnya. Sehingga gaya aksial yang didapatkan juga terdapat perubahan signifikan yang menyebabkan adanya pengaruh P-delta.

6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas, saran yang dapat disampaikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

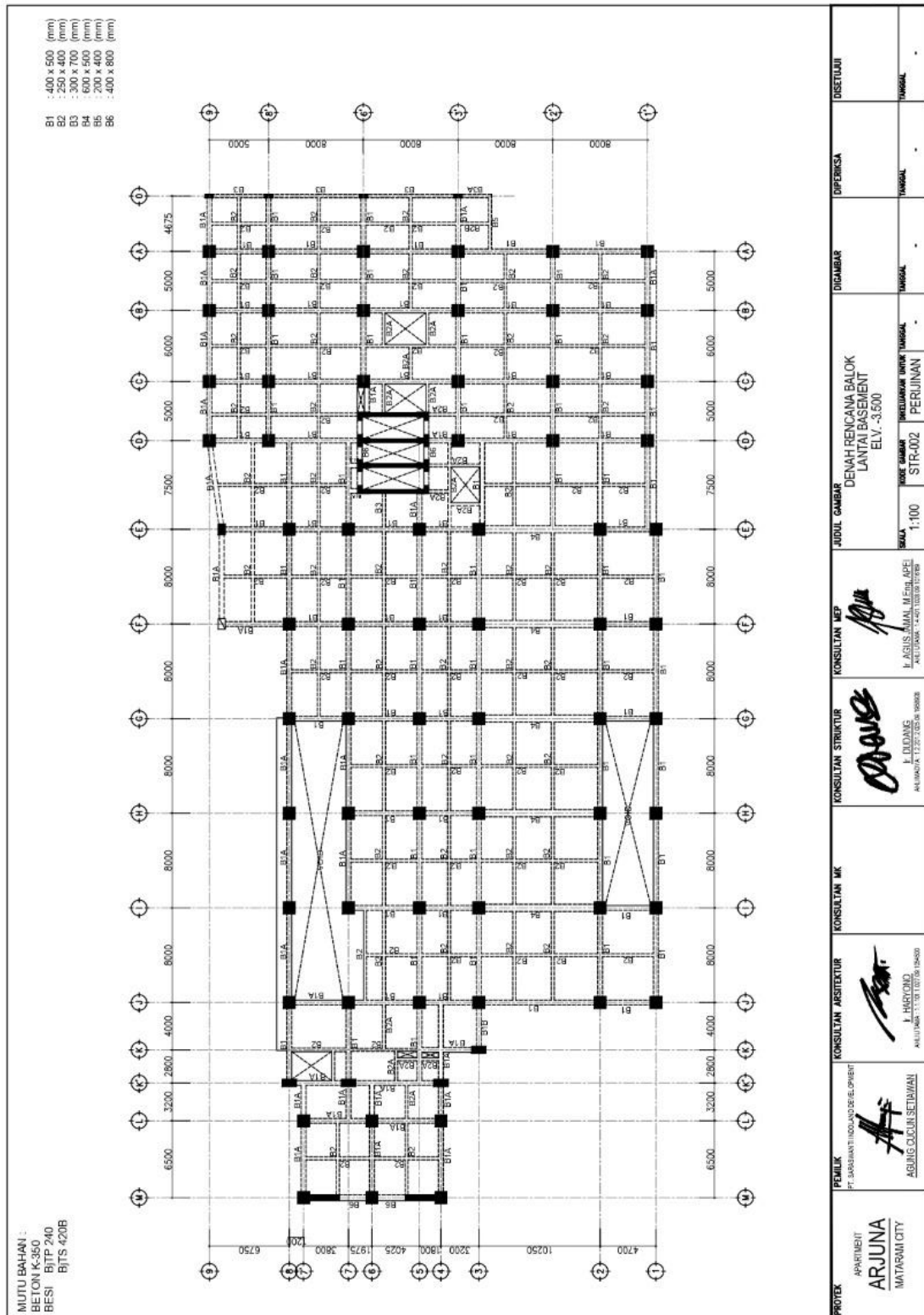
1. Analisis yang digunakan dapat diganti menggunakan metode yang lebih kompleks seperti analisis non-linier *pushover* maupun *time history*.
2. Dapat dilakukan analisis lebih lanjut yang menyertai struktur bawah bangunan sehingga kekuatan tanah juga diperhitungkan.

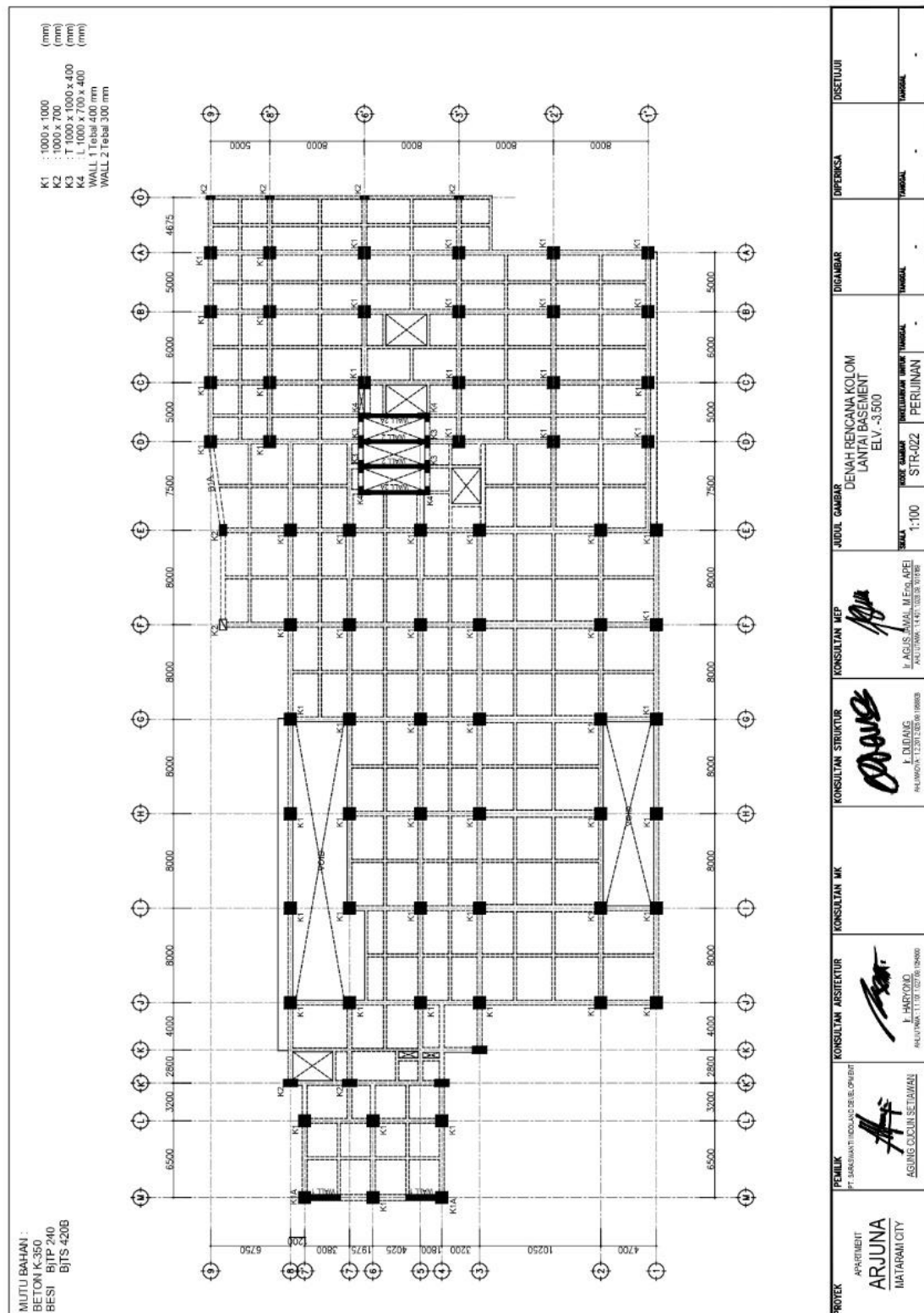
DAFTAR PUSTAKA

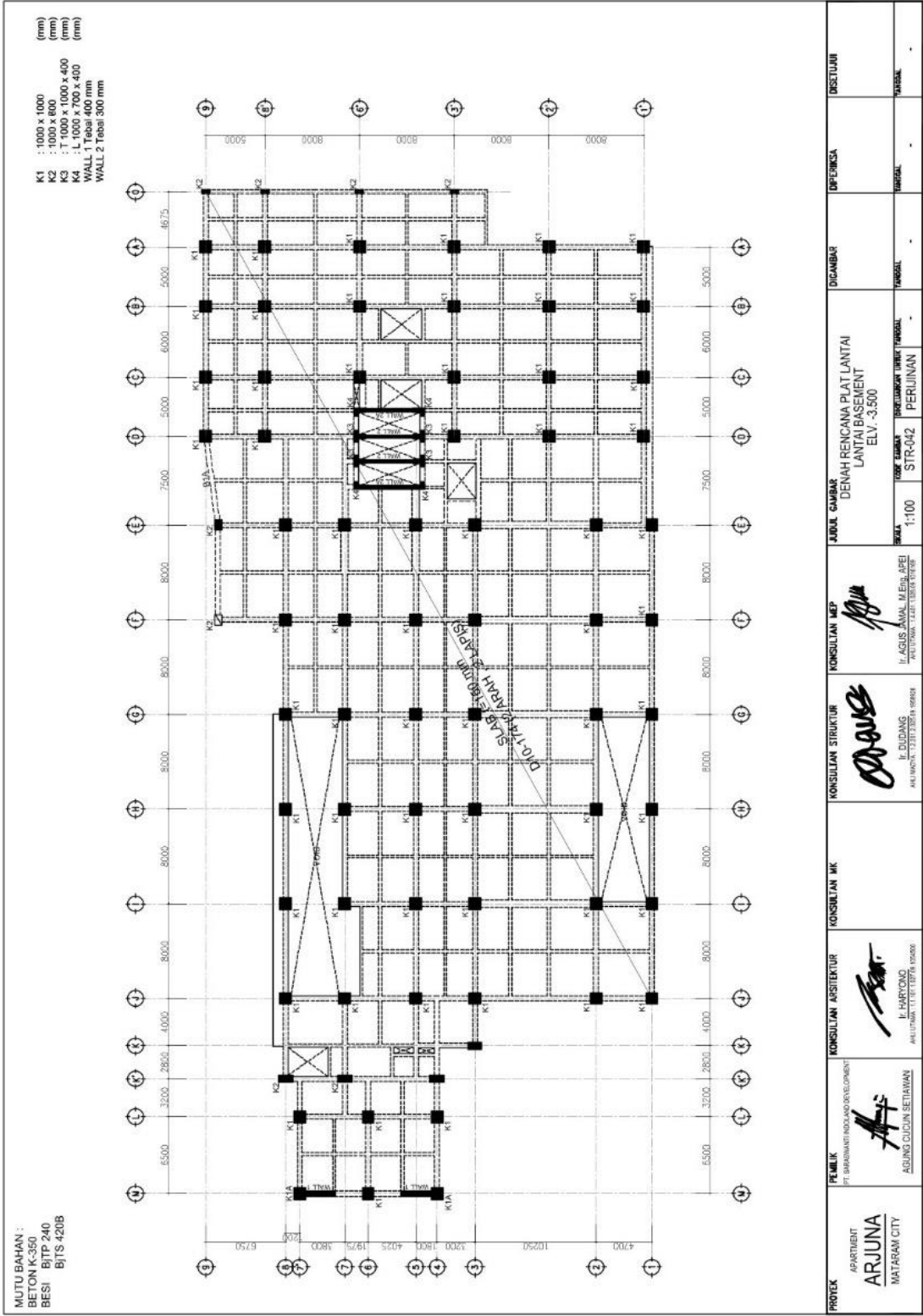
- Annisa, A.S. 2023. Analisis Respons Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal pada Gedung Perkuliahan di Yogyakarta dengan Menggunakan SNI 1726 – 2019. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Asisi, Fransiscus dkk 2015. Perbandingan Kinerja Bangunan yang Didesain dengan Force Based Design dan Direct Displacement-Based Design Menggunakan SNI 03 Gempa 2012. *Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi* Volume 19 No.1. Surabaya.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. SNI 03-1726-2019. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. SNI 03 2847:2019. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. Beban Desain Minimum dan Kriteria terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. SNI 03 1727:2020. Jakarta.
- Giri, W. 2020. Analisis Perbandingan Respon Spektrum, Gaya Geser Dasar, dan Simpangan Antar Lantai pada Gedung Baja Berdasarkan SNI 1726 - 2012 dan SNI 1726 - 2019. (Studi Kasus: Gedung Kampus AMIKOM Purwokerto). *Tugas Akhir*. (Tidak diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Risnandar, Rizky. 2022. Desain dan Analisis Struktur Tahan Gempa Beton Bertulang Elemen Balok dan Kolom pada Gedung Bertingkat 10 dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Berdasarkan SNI 03 2847:2019 dan 1726 - 2019. *Jurnal Sistem Infrastruktur Teknik Sipil (SIMTEKS)*. P-ISSN: 2655-8149. Vol. 2 No. 2. Bandung.
- Tanauma, Christoffel. 2023. Analisa Dinamik Bangunan Bertingkat yang Memiliki Ketidakberaturan Horisontal Berbentuk T Akibat Gempa berdasarkan SNI 03-1726-2019. *Jurnal TEKNO*. Vol. 21 No. 85. Manado

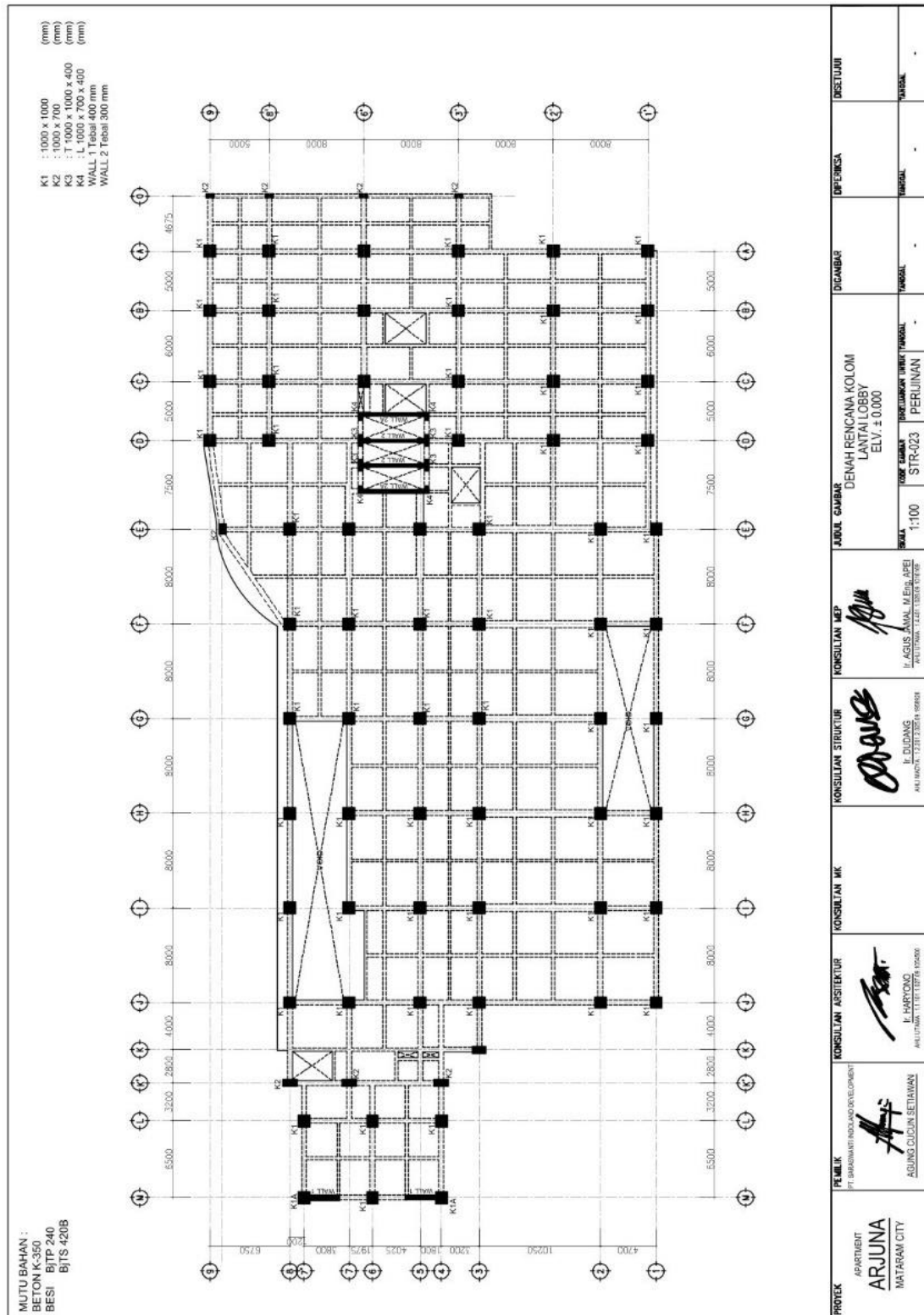
- Nursani, Rosi. 2023. Analisis Pengaruh Penambahan Dinding Geser terhadap Perilaku Struktur Gedung Sistem Ganda. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan IPB*. EISSN:2549-1407. Vol. 08 No. 2 Agustus Bulan 2023. Tasikmalaya.
- Hidayati, Nurul. 2023. Analisa Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal pada Struktur Gedung Beton Bertulang. *PADURAKSA Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*. Vol. 12 Nomor 2. Nusa Tenggara Barat.
- Zhafira, Talitha. 2023. Dynamic Analysis of Spectrum Response and Static Equivalent of The Semarang University College Building. *JCEBT (Journal of Civil Engineering, Building and Transportation)*. Semarang.

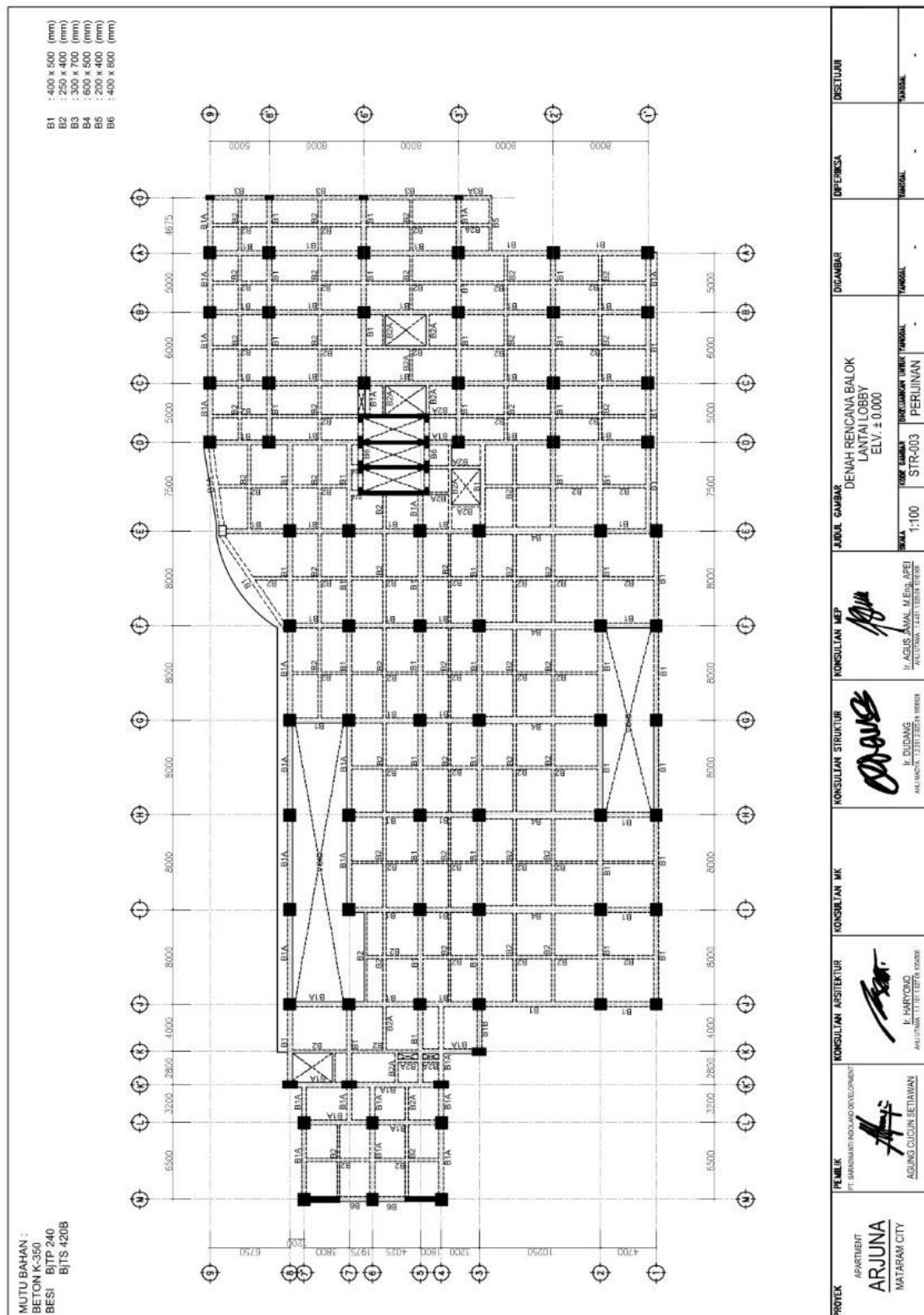
LAMPIRAN

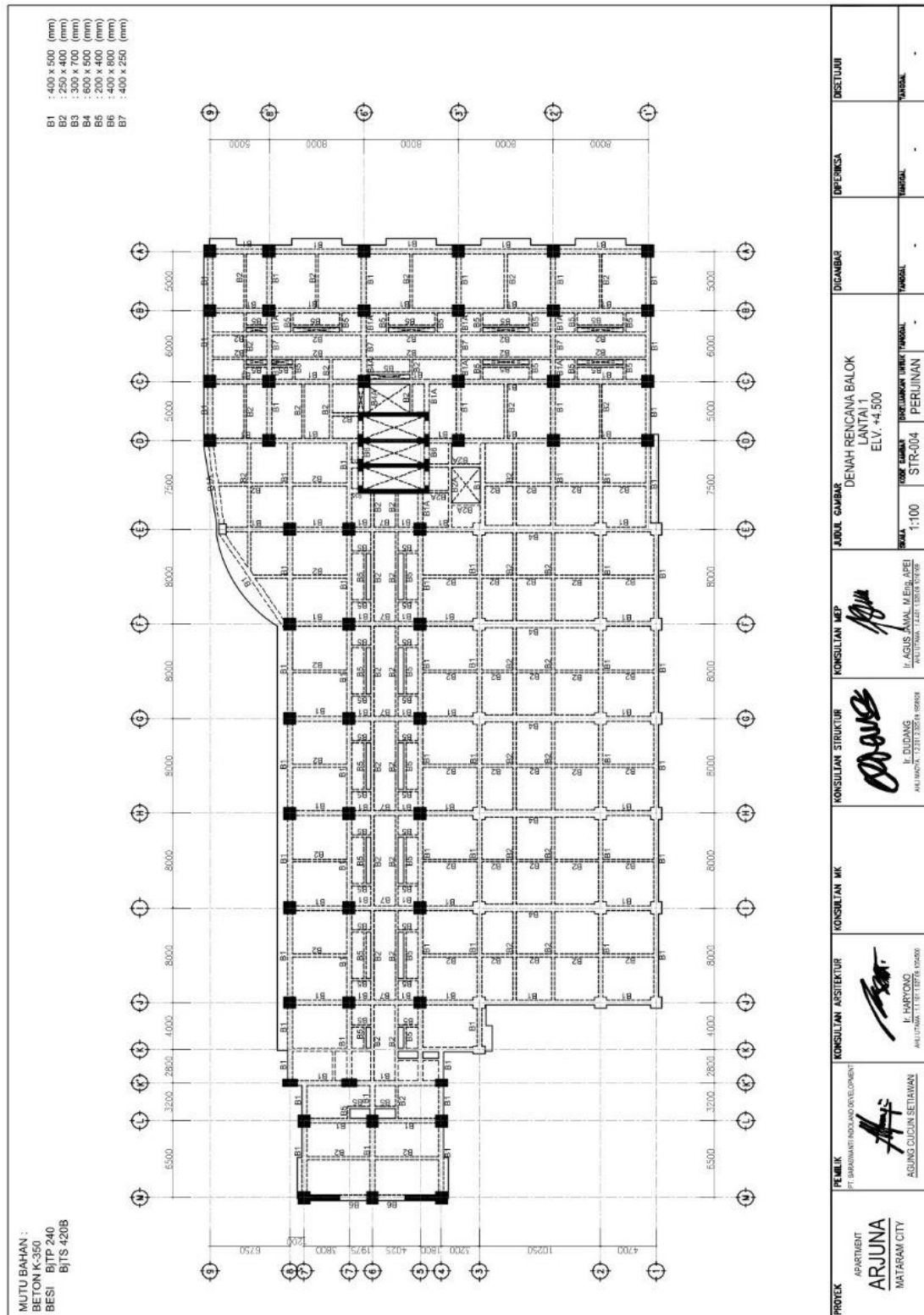


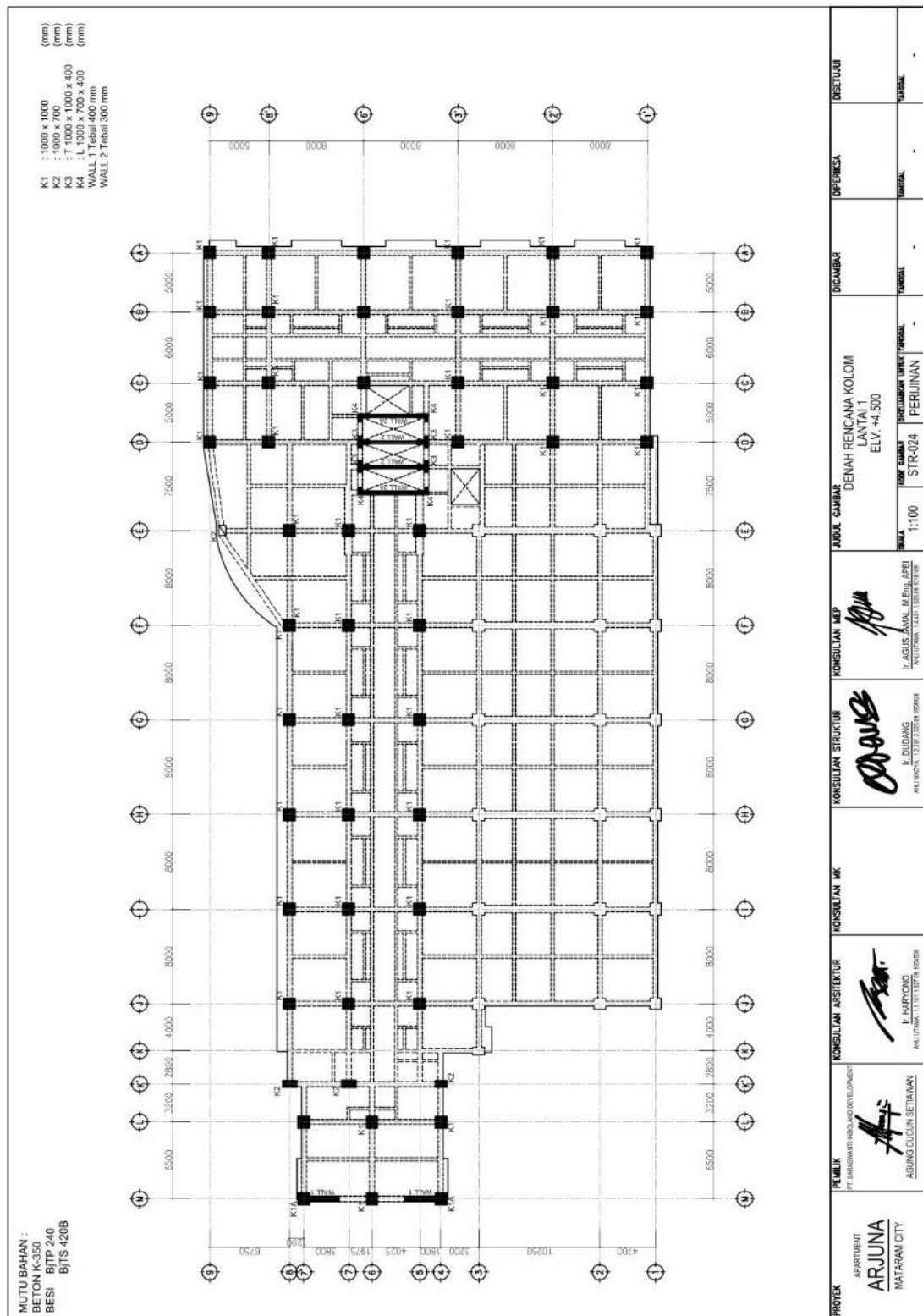


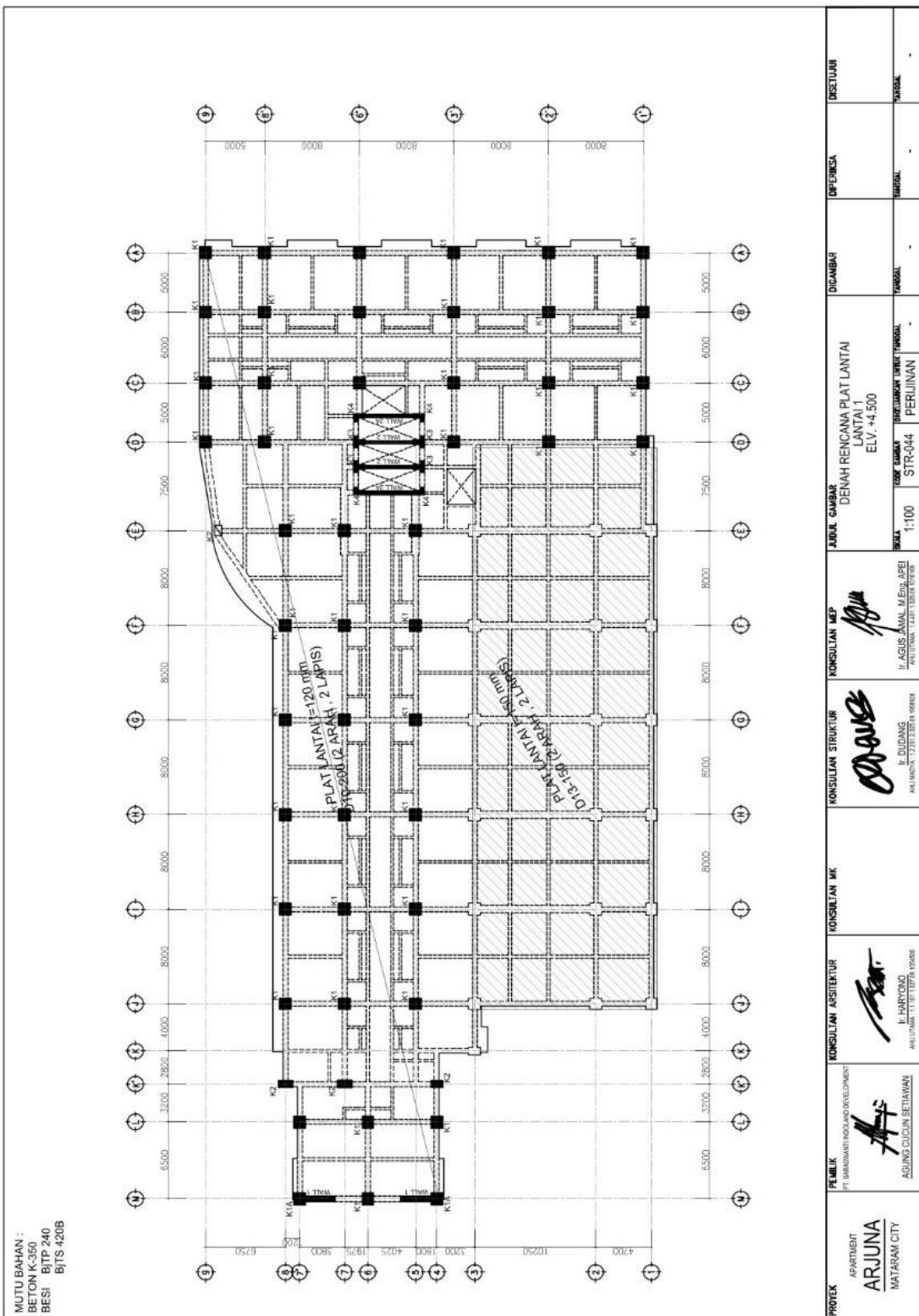


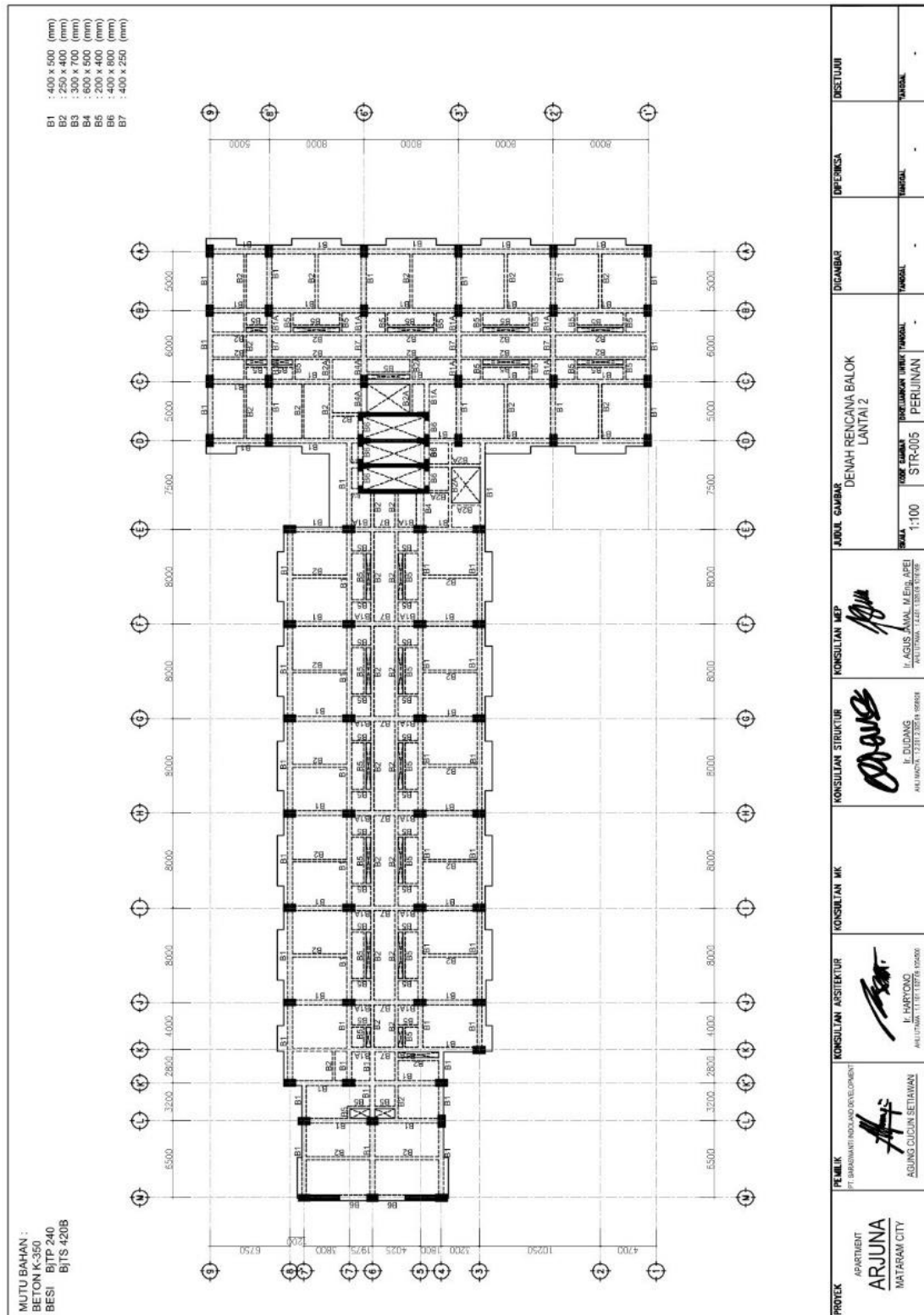


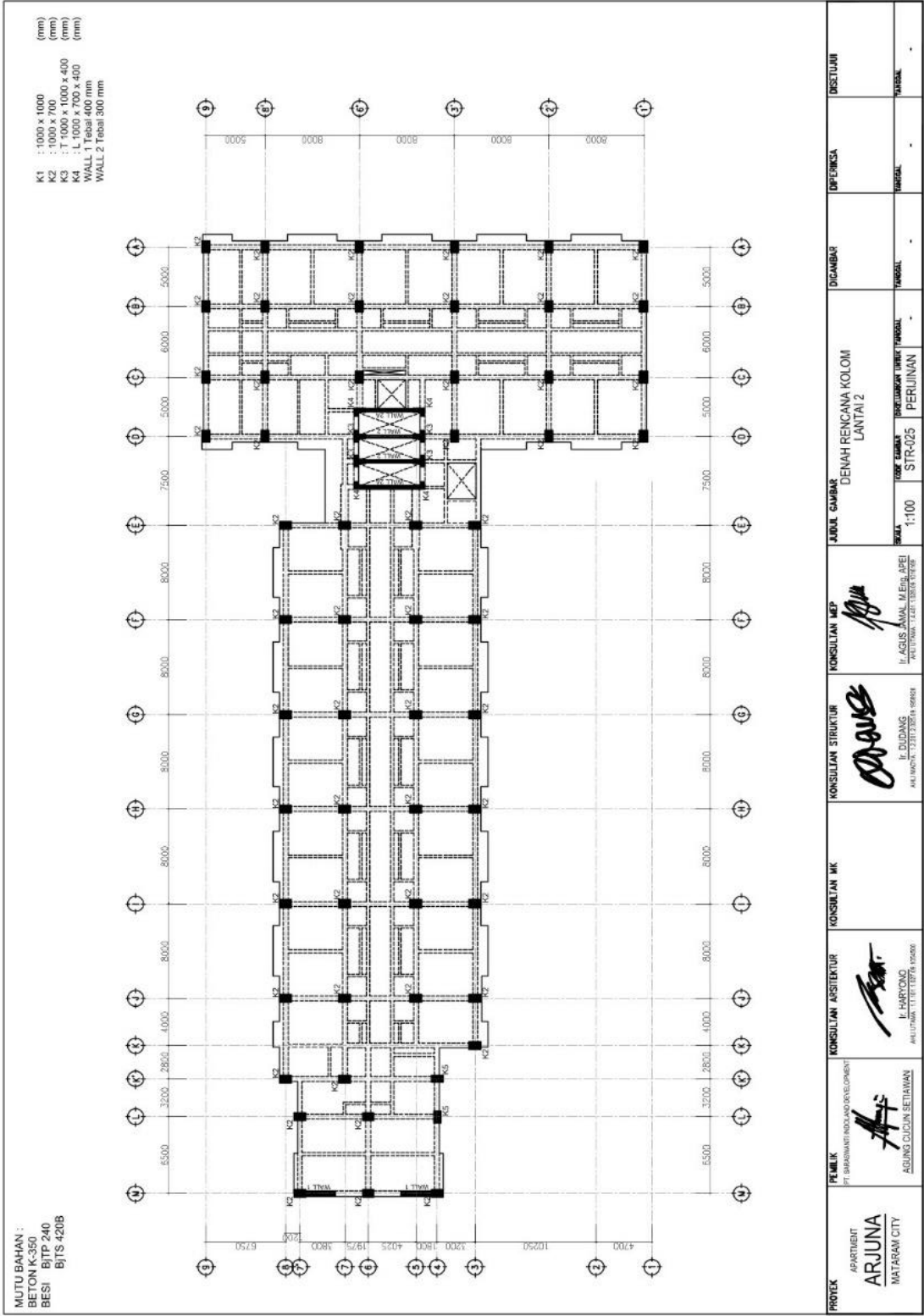


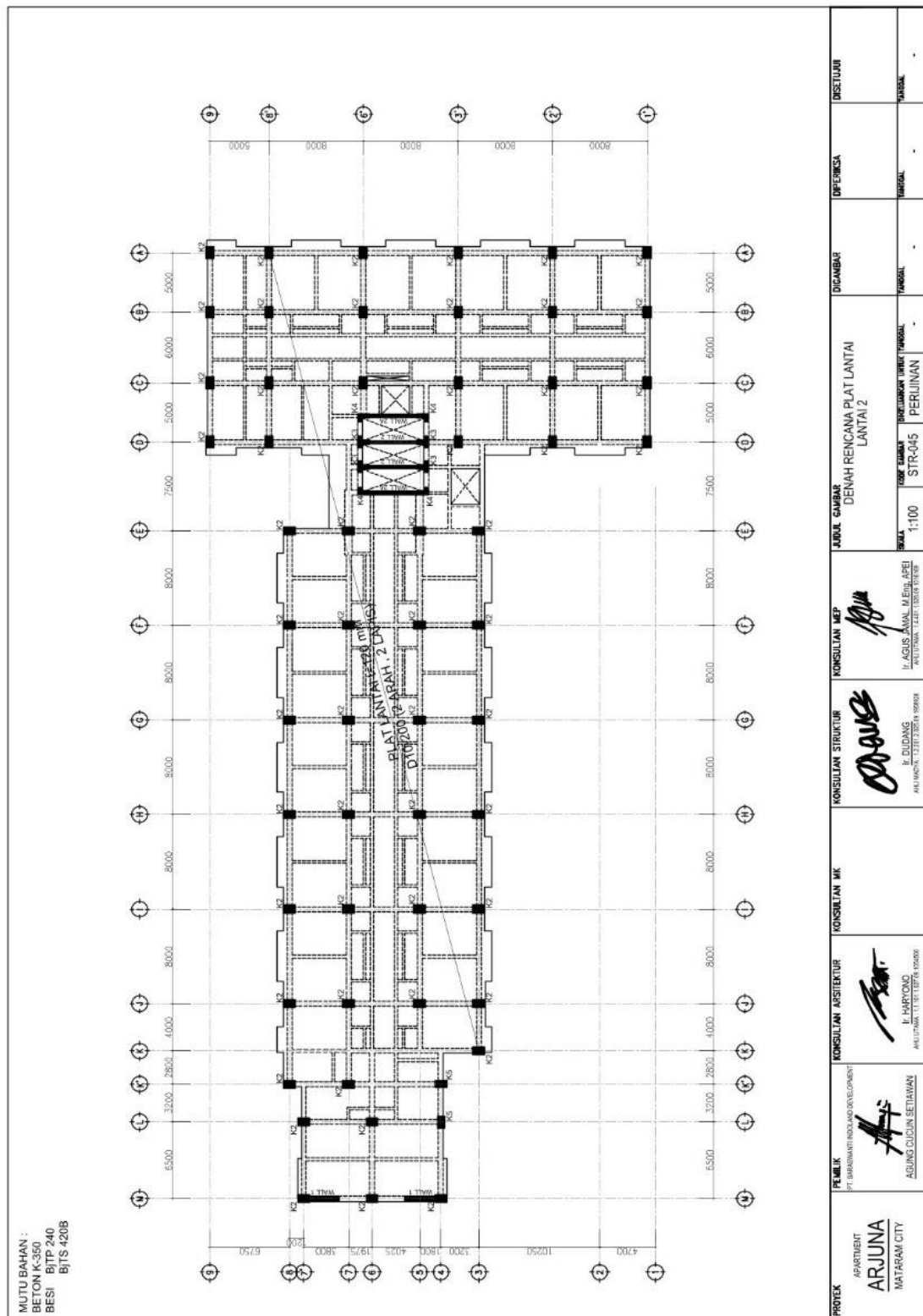












TIPE BALOK	BALOK B1 (400 x 500) (mm)	
	TUMPUAN (KIRI)	TUMPUAN (KANAN)
LT BASEMENT 1 ELV. -3.50	LAPANGAN	LAPANGAN
		
	7D22	7D22
	2D10	2D10
	5D22	5D22
	1, 1 D13-100	1, 1 D13-100
TULANGAN ATAS	7D22	7D22
TULANGAN TENGAH	2D10	2D10
TULANGAN BAWAH	5D22	5D22
PENGANGKAT	1, 1 D13-100	1, 1 D13-100

TIPE BALOK	TUMPUAN (KIRI)	LAPANGAN	TUMPUAN (KANAN)
	BALOK B1A (400 x 500) (mm)		
LANTAI LOBBY ELV. -3.50			
TULANGAN ATAS	6D22	4D22	6D22
TULANGAN TENGAH	2D10	2D10	2D10
TULANGAN BAWAH	4D22	6D22	4D22
SEKANGKANG	1 1/3 D13-100	1 1/3 D13-100	1 1/3 D13-100

MUTU BAHAN :
 BETON K-350
 BESI BJTP 240
 BJTS 420B

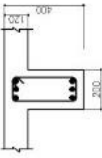
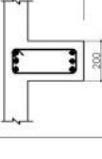
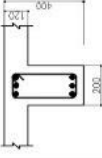
TIPE BALOK	BALOK B3 (300 x 700) (mm)		
	TUMPUAN (KIRI)	LAPANGAN	TUMPUAN (KANAN)
LT BASEMENT 1 ELV. -3.50			
TULANGAN ATAS	6D22	4D22	6D22
TULANGAN TENGAH	2D10	2D10	2D10
TULANGAN BAWAH	4D22	6D22	4D22
SENGKANG	1 1/2 D13-100	1 1/2 D13-200	1 1/2 D13-100

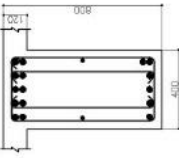
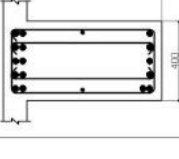
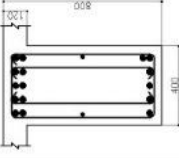
TIPE BALOK	BALOK B3A (300 x 700) (mm)		
	TUMPUAN (KIRI)	LAPANGAN	TUMPUAN (KANAN)
LT BASEMENT 1 ELV. -3.50			
TULANGAN ATAS	3D22	3D22	6D22
TULANGAN TENGAH	2D10	2D10	2D10
TULANGAN BAWAH	3D22	3D22	4D22
SENGKANG	1 1/2 D13-150	1 1/2 D13-150	1 1/2 D13-100

TIPE BALOK	BALOK B4 (600 x 500) (mm)		
	TUMPUAN (KIRI)	LAPANGAN	TUMPUAN (KANAN)
LT BASEMENT 1 ELV. -3.50			
TULANGAN ATAS	12D22	8D22	12D22
TULANGAN TENGAH	2D10	2D10	2D10
TULANGAN BAWAH	8D22	12D22	8D22
SENGKANG	2D13-100	2D13-200	2D13-100

PROJEK	APARTMENT ARJUNA MATARAM CITY	PEMILIK PT. SARASWATI INDO LAND DEVELOPMENT	KONSULTAN ARSITEKTUR I. HARYONO ALU 117/2001, 11.11.11.01.01.01.0000	KONSULTAN STRUKTUR D. DARIUS ALU 11/2001, 11.11.11.01.01.01.0000	KONSULTAN MEP H. AGUS ANWAR M. ENG. IREDI ALU 11/2001, 11.11.11.01.01.01.0000	ABDUL CAHYA	DETAIL BALOK LANTAI BASEMENT 1 SHEET 2	DICAMBAK	DIREKSI	DITOLAK
SKALA	1:20	1:20	1:20	1:20	1:20	1:20	STR-078	PERUJUAN	REVISI	REVISI

MUTU BAHAN :
BETON K-350
BESI BJTP 240
BJTS 420B

TIPE BALOK	BALOK B5 (200 x 400) (mm)		
	TUMPUAN (KIRI)	LAPANGAN	TUMPUAN (KANAN)
LT. BASEMENT 1 ELV. -3.50			
TULANGAN ATAS	3D16	3D16	3D16
TULANGAN TENGAH	-	-	-
TULANGAN BAWAH	3D16	3D16	3D16
SENGKANG	D10-100	D10-200	D10-100

TIPE BALOK	BALOK B6 (400 x 800) (mm)		
	TUMPUAN (KIRI)	LAPANGAN	TUMPUAN (KANAN)
LT. BASEMENT 1 ELV. -3.50			
TULANGAN ATAS	10D22	10D22	10D22
TULANGAN TENGAH	2D10	2D10	2D10
TULANGAN BAWAH	6D22	6D22	6D22
SENGKANG	2D13-100	2D13-100	2D13-100

PROYEK	APARTMENT ARJUNA MATARAM CITY	PEMILIK PT. SARASWATI INDO LAND DEVELOPMENT	KONSULTAN ARSITEKTUR  I. HARYONO ARJUNA, T. 1111 1111 1111	KONSULTAN STRUKTUR  I. HARYONO ARJUNA, T. 1111 1111 1111	KONSULTAN MEP  I. AGUS ANAN ARJUNA, T. 1111 1111 1111	ABDUL GUMBAR	DETAIL BALOK LANTAI BASEMENT 1 SHEET 3		DICAMBAK	DIREKSI	DITOLAK
SKALA	1:20	1:20	1:20	1:20	1:20	1:20	STR-079	PERIUKAN	REVISI	REVISI	REVISI

[illegible]

MUTU BAHAN :
BETON K-350
BESI BJTP 240
BJTS 420B

TIPE BALOK	BALOK B6 (400 x 800) (mm)		
	TUMPUAN (KIRI)	LAPANGAN	TUMPUAN (KANAN)
LANTAI 1 ELV. +5.000			
TULANGAN ATAS	10D22	10D22	10D22
TULANGAN TENGAH	2D10	2D10	2D10
TULANGAN BAWAH	6D22	6D22	5D22
SENGKANG	2D13-100	2D13-100	2D13-100

TIPE BALOK	BALOK B4 (600 x 500) (mm)		
	TUMPUAN (KIRI)	LAPANGAN	TUMPUAN (KANAN)
LANTAI 1 ELV. +5.000			
TULANGAN ATAS	12D22	8D22	12D22
TULANGAN TENGAH	2D10	2D10	2D10
TULANGAN BAWAH	8D22	12D22	8D22
SENGKANG	2D13-100	2D13-200	2D13-100

TIPE BALOK	BALOK B7 (400 x 250) (mm)		
	TUMPUAN (KIRI)	LAPANGAN	TUMPUAN (KANAN)
LANTAI 1 ELV. +5.000			
TULANGAN ATAS	5D22	5D22	5D22
TULANGAN TENGAH	-	-	-
TULANGAN BAWAH	5D22	5D22	5D22
SENGKANG	1 1/2 D13-150	1 1/2 D13-150	1 1/2 D13-150

TIPE BALOK	BALOK B5 (200 x 400) (mm)		
	TUMPUAN (KIRI)	LAPANGAN	TUMPUAN (KANAN)
LANTAI 1 ELV. +5.000			
TULANGAN ATAS	3D16	3D16	3D16
TULANGAN TENGAH	-	-	-
TULANGAN BAWAH	3D16	3D16	3D16
SENGKANG	D10-100	D10-200	D10-100

PROJEK	APARTMENT ARJUNA MATARAM CITY	PEMILIK PT. SARANAKATI INDO LAND DEVELOPMENT	KONSULTAN ARSITEKTUR  I. HARYONO ARJUNA, 1311137811000000	KONSULTAN STRUKTUR  I. AGUS ANNU ARJUNA, 1311137811000000	KONSULTAN MEP  I. AGUS ANNU ARJUNA, 1311137811000000	JABAL CAMAR	DETAIL BALOK LANTAI 1 SHEET 2	DICAMBAK	DIREKSI	DESIJANI	
SKALA	1:20	STR-004	PERIUKAN	1:20	STR-004	PERIUKAN	1:20	STR-004	PERIUKAN	1:20	STR-004

[illegible]

MUTU BAHAN :
BETON K-350
BESI BJT 240
BJTS 420B

TIPE BALOK	TUMPUAN (KIRI)	BALOK B4 (600 x 500) (mm)	TUMPUAN (KANAN)
LANTAI 2 ELEV. ±0,100			
	12D22	8D22	12D22
	2D10	2D10	2D10
	8D22	12D22	8D22
	2D13-100	2D13-200	2D13-100
TULANGAN ATAS	12D22	8D22	12D22
TULANGAN TENGAH	2D10	2D10	2D10
TULANGAN BAWAH	8D22	12D22	8D22
LANGKANG	2D13-100	2D13-200	2D13-100

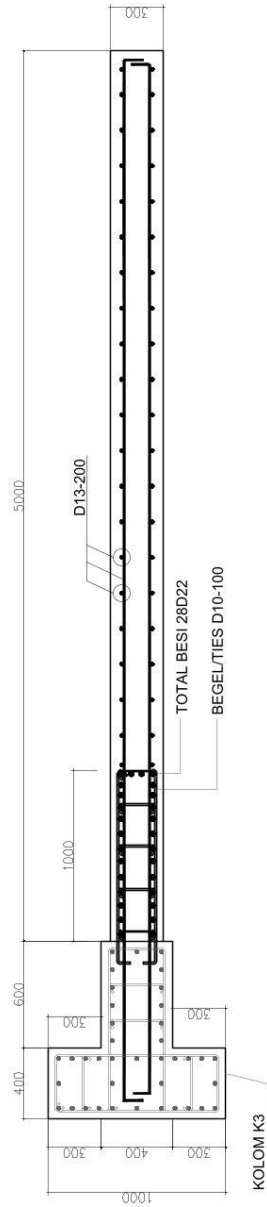
TIPE BALOK	BALOK B5 (200 x 400) (mm)		
	TUMPUAN (KIRI)	LAPANGAN	TUMPUAN (KANAN)
LANTAI 2 ELV. +8,100			
TULANGAN ATAS	3D16	3D16	3D16
TULANGAN TENGAH	-	-	-
TULANGAN BAWAH	3D16	3D16	3D16
ANGKANG	D10-100	D10-200	D10-100

TIPE BALOK	BALOK B6 (400 x 800) (mm)	
	TUMPUAN (KIRI)	TUMPUAN (KANAN)
LANTAI 2 ELV. +8.100		
TULANGAN ATAS	10D22	10D22
TULANGAN TENGAH	2D10	2D10
TULANGAN BAWAH	6D22	5D22
SEKANG	2D13-100	2D13-100

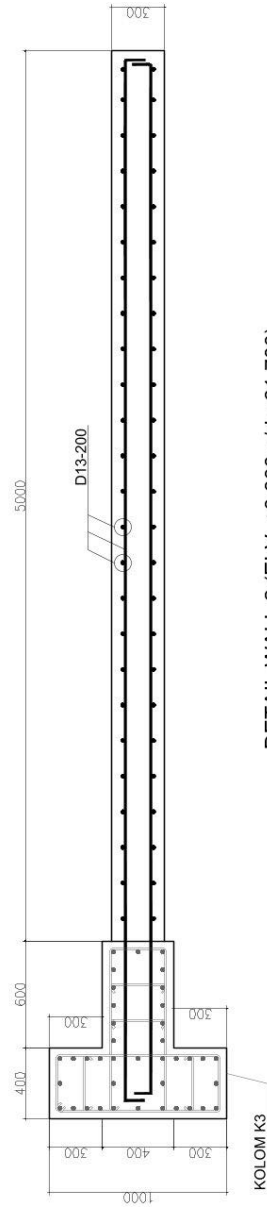
TIPE BALOK	BALOK B7 (400 x 250) (mm)	
	TUMPUAN (KIRI)	TUMPUAN (KANAN)
LANTAI 2 ELV. +6.100		
TULANGAN ATAS	5D22	5D22
TULANGAN TENGAH	=	=
TULANGAN BAWAH	5D22	5D22
SEKANG	4.3 D19, 450	4.3 D19, 450

[illegible]

MUTU BAHAN :
BETON K-350
BESI BJTP 240
BJTS 420B



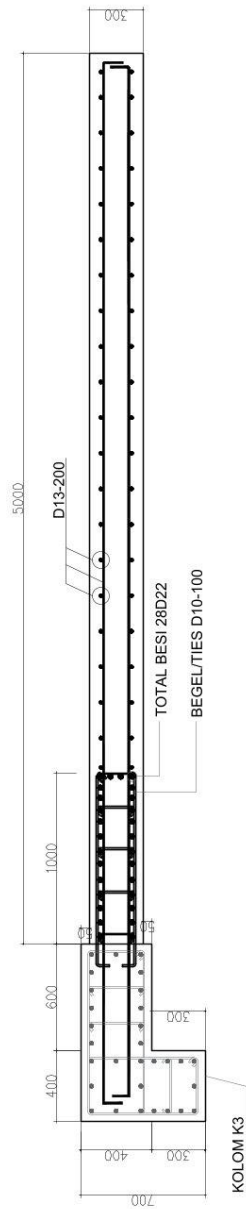
DETAIL WALL 2 (ELV. -6.500 s/d ±0.000)



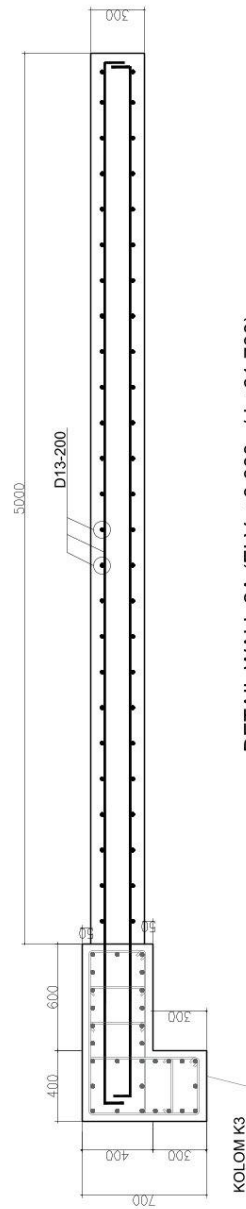
DETAIL WALL 2 (ELV. ±0.000 s/d +61.700)

PROJEK	PEMILIK	KONSULTAN ARSITEKTUR	KONSULTAN MK	KONSULTAN STRUKTUR	KONSULTAN MEP	JUDUL GAMBAR	DICAMBAIR	DIPERIKSA	DISETJUI
APARTMENT ARJUNA MATARAM CITY	PT. SARASWATI INDO AND DEVELOPMENT AGUNG CUCUN SETIAWAN	 I. HARYONO AKSI UTAMA: 11.01.132734.106500		 I. BUDANG AKSI UTAMA: 12.01.132525.91899208	 I. AGUS AMAL M. FERRI JEPRI AKSI UTAMA: 14.01.132625.919506	DETAIL WALL 2 t=300 mm KODE GAMBAR: DOKUMENTASI DWK TANGGAL: PERUJUAN: STR-073 SKALA: 1:20	TANGGAL: -	TANGGAL: -	TANGGAL: -

MUTU BAHAN :
BETON K-350
BESI BJTP 240
BJTS 420B



DETAIL WALL 2A (ELV. -6.500 s/d ±0.000)



DETAIL WALL 2A (ELV. ±0.000 s/d +61.700)

PROJEK	PEMILIK	KONSULTAN ARSITEKTUR	KONSULTAN MK	KONSULTAN STRUKTUR	KONSULTAN MEP	JUDUL GAMBAR	DICAMBAIR	DIPERIKSA	DISETJUI
APARTMENT ARJUNA MATARAM CITY	PT. SARASWATI INDO JANG DEVELOPMENT AGUNG CUCUN SETIAWAN	I. HARYONO AKU UTAMA: 11.01.152736.106500		I. DUDANG AKU UTAMA: 12.01.2325.0.189928	I. AGUS ANAN M. F. E. P. I. E. P. I. AKU UTAMA: 14.01.1325.0.157506	DETAIL WALL 2A t=300 mm KODE GAMBAR: DOKUMENTASI DWG PERUNJAN STR-074 SKALA: 1:20	PANGSAL	PANGSAL	PANGSAL

