

## **TUGAS AKHIR**

# **EVALUASI KINERJA STRUKTUR BETON BERTULANG MENGGUNAKAN ANALISIS DINAMIK METODE RESPONS SPEKTRUM (*PERFORMANCE EVALUATION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURE USING DYNAMIC ANALYSIS OF SPECTRUM RESPONSE METHOD*)**

**(Lokasi Penelitian: Bangunan Perkantoran PT. Calista Perkasa Mulia Jalan Veteran, Muja  
Muju, Yogyakarta, DI Yogyakarta)**

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



**ZAINAL FAJRI SADHEWA  
14511184**

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

## TUGAS AKHIR

# EVALUASI KINERJA STRUKTUR BETON BERTULANG MENGUNAKAN ANALISIS DINAMIK METODE RESPONS SPEKTRUM

## (*PERFORMANCE EVALUATION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURE USING DYNAMIC ANALYSIS OF SPECTRUM RESPONSE METHOD*)

(Lokasi Penelitian: Bangunan Perkantoran PT. Calista Perkasa Mulia Jalan Veteran,  
MujaMuju, Yogyakarta, DI Yogyakarta)

ZAINAL FAJRI SADHEWA  
14511184

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

Diuji Pada Tanggal 10 Januari 2022  
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.  
NIK: 165111301

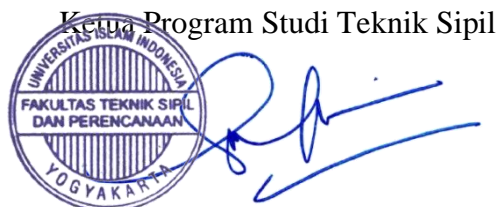
Penguji I

Hariadi Yudianto, S.T., M.Eng  
NIK: 155111305

Penguji II

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

Mengesahkan,



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

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program strata di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya 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 norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan 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, 16 Januari 2022  
Yang membuat pernyataan,



Zainal Fajri Sadhewa  
(14511184)

## LEMBAR DEDIKASI

Untuk keluarga saya bapak Warmudjini dan ibu Hafni Abd Karim selaku orangtua saya yang selalu mendoakan saya, Kakak-kakak saya Irsyad, Hafid, Tati dan Sitilia yang terus memberi dukungan moril dan materil kepada saya selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini hingga selesai.

Untuk teman-teman saya Rahmad R, Anae, Farid, Fauzan, Welly, Boda, Fahmy destian yang telah memberikan masukan dan dukungan selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.

Dan semua teman-teman Teknik Sipil angkatan 2014 yang telah banyak memberikan informasi selama perkuliahan.



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan Praktik Kerja yang berjudul Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Hukum Universitas Islam Indonesia. Praktik Kerja ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Dalam Penyusunan Praktik Kerja ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Praktik Kerja ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Astriana Hardawati, S.t., M.T. selaku dosen pembimbing Proposal Tugas Akhir dan Tugas Akhir yang telah memberikan banyak masukan selama proses pengerjaan Proposal Tugas Akhir dan Tugas Akhir.
2. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T selaku ketua Prodi Sarjana Teknik Sipil UII yang telah banyak membantu selama penulis menempuh studi S1 di Program Studi Sarjana Teknik Sipil UII.
3. Bapak Anggit Mas Arifudin S.T., M.T. dan bapak Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng selaku dosen penguji yang telah memberikan nasihat kepada saya.
4. Ibu Wiwik yang telah membantu dari awal perkuliahan hingga lulus.
5. Ibu dan bapak penulis yang telah berkorban begitu banyak, baik material maupun spiritual, hingga selesainya Praktik Kerja ini.

Akhirnya Penulis berharap agar Praktik Kerja ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
LEMBAR DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Penelitian	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>4</b>
2.1 Penelitian Terdahulu	4
2.1.1 Elliza (2013)	4
2.1.2 Purnomo (2014)	5
2.1.3 Utami (2019)	5
2.1.4 Wahyuningtyas (2020)	6
2.2 Perbedaan Penelitian	8
2.3 Keaslian Penelitian	10
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b>	<b>11</b>
3.1 Umum	11
3.2 Pembebanan Struktur	12

3.2.1	Beban Gravitasi	12
3.2.2	Beban Lateral	12
3.3	Aspek Perencanaan Gempa	13
3.4	Berat Bangunan	13
3.5	Analisis Gempa Ragam Respons Spektrum	15
3.4.1	Kategori Risiko Bangunan untuk Beban Gempa	16
3.4.2	Klasifikasi Situs	19
3.4.3	Parameter Percepatan Gempa	20
3.4.4	Parameter Percepatan Spektral Desain	21
3.4.5	Spektrum Respons Desain	21
3.4.6	Kategori Desain Seismik	23
3.4.7	Sistem Struktur	24
3.4.8	Periode Fundamental Struktur	25
3.4.9	Periode Fundamental Pendekatan	26
3.4.10	<i>Base Shear</i>	27
3.4.11	Perhitungan Koefisien Respons Seismik ( $C_s$ )	27
3.4.12	Ketidakteraturan Horizontal	28
3.4.13	Ketidakteraturan Vertikal	30
3.4.14	Simpangan antar Lantai	34
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>		<b>36</b>
4.1	Jenis Penelitian	36
4.2	Pengumpulan Data	36
4.3	Pemodelan Struktur	41
4.4	Tahapan Penelitian	41
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>		<b>44</b>
5.1	Konfigurasi Struktur	44
5.2	Detail Material	44
5.2.1	Mutu Beton	44
5.2.2	Mutu Baja Tulangan	45
5.3	Data Elemen Struktur	45
5.3.1	Pelat Lantai	45
5.3.2	Balok	45

5.3.3 Kolom	46
5.4 Pembebanan	46
5.4.1 Beban Mati	46
5.4.2 Beban Hidup	47
5.5 Berat Bangunan Hasil Perhitungan dan <i>Output</i> SAP2000	48
5.5.1 Berat Bangunan tanpa Beban Mati Tambahan	53
5.5.2 Berat Bangunan dengan Beban Mati Tambahan	54
5.6 Beban Gempa	55
5.7 Ketidakberaturan Horizontal	67
5.8 Ketidakberaturan Vertikal	68
5.8.1 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a	68
5.8.2 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1b	69
5.9 Base Shear	70
5.10 Simpangan antar Lantai	73
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>76</b>
6.1 Kesimpulan	76
6.2 Saran	76
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>78</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>80</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian saat Ini	8
Tabel 3.1 Prosedur Analisis Yang Diizinkan	14
Tabel 3.2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa	17
Tabel 3.3 Faktor Keutamaan Gempa	18
Tabel 3.4 Klasifikasi Situs	19
Tabel 3.5 Koefisien Situs ( $F_a$ )	20
Tabel 3.6 Koefisien Situs ( $F_v$ )	21
Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek	23
Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik	23
Tabel 3.9 Sistem Pemikul Beban Seismik	24
Tabel 3.10 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung	25
Tabel 3.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$	26
Tabel 3.12 Simpangan antar Lantai Izin	34
Tabel 5.1 Data Tinggi Bangunan	44
Tabel 5.2 Data Dimensi Balok	45
Tabel 5.3 Dimensi Kolom Persegi	46
Tabel 5.4 Berat Balok Lantai 1	49
Tabel 5.5 Berat Balok Lantai 2	50
Tabel 5.6 Berat Balok Lantai 3	50
Tabel 5.7 Berat Kolom per Lantai	51
Tabel 5.8 Perimeter Dinding	52
Tabel 5.9 Berat Pelat tanpa Beban Mati Tambahan	52
Tabel 5.10 Berat Pelat dengan Beban Mati Tambahan	52
Tabel 5.11 Rekapitulasi Berat Bangunan tanpa Beban Mati Tambahan	54
Tabel 5.12 Rekapitulasi Berat Bangunan dengan Beban Mati Tambahan	54

Tabel 5.13 Spektrum Respons Desain	59
Tabel 5.14 Partisipasi Massa Ragam	62
Tabel 5.15 Output Periode Struktur	65
Tabel 5.16 Pengecekan P-Delta	67
Tabel 5.17 Ketidakberaturan Tipe 1a Beban Gempa Arah X	69
Tabel 5.18 Ketidakberaturan Tipe 1a Beban Gempa Arah Y	69
Tabel 5.19 Tabel Ketidakberaturan Tipe 1b Beban Gempa Arah X	69
Tabel 5.20 Ketidakberaturan Tipe 1b Beban Gempa Arah Y	70
Tabel 5.21 Gaya Geser Dasar Respons Spektrum	73
Tabel 5.22 Simpangan antar Lantai Gempa Arah X	74
Tabel 5.23 Simpangan antar Lantai Gempa Arah Y	74



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Respons Spektrum Elastik dan Inelastik	16
Gambar 3.2 Spektrum Respons Desain	23
Gambar 3.3 Ketidakberaturan Tipe 1a dan Tipe 1b	28
Gambar 3.4 Ketidakberaturan Sudut Dalam	29
Gambar 3.5 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma	29
Gambar 3.6 Ketidakberaturan akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang	30
Gambar 3.7 Ketidakberaturan Sistem Non-paralel	30
Gambar 3.8 Simpangan akibat Kekakuan Tipe 1a dan Tipe 1b	31
Gambar 3.9 Ketidakberaturan Tipe 2	32
Gambar 3.10 Ketidakberaturan Tipe 3	32
Gambar 3.11 Ketidakberaturan Tipe 4	33
Gambar 3.12 Ketidakberaturan Tipe 5a dan Tipe 5b	34
Gambar 4.1 Denah Lantai 1	37
Gambar 4.2 Denah Lantai 2	38
Gambar 4.3 Denah Lantai 3	38
Gambar 4.4 Denah Balok Elevasi (+3,94m)	39
Gambar 4.5 Denah Balok Elevasi (+7,94m)	39
Gambar 4.6 Denah Balok Elevasi (+11,94m)	40
Gambar 4.7 Denah Potongan Melintang	40
Gambar 4.8 Bagan Alir Tahapan Penyusunan Tugas Akhir	43
Gambar 5.1 Pemodelan Software SAP2000	44
Gambar 5.2 Pelat Atap yang Dipakai	45
Gambar 5.3 Pembagian Grid Satu Lantai	48
Gambar 5.4 Berat Bangunan SAP2000	53
Gambar 5.5 Koefisien Risiko Terpetakan, Periode 0,2 detik ( $C_{RS}$ )	57
Gambar 5.6 Koefisien Risiko Terpetakan, Periode 1 detik ( $C_{R1}$ )	57
Gambar 5.7 Grafik Spektrum Respons Desain	60
Gambar 5.8 Perbandingan Nilai Periode Fundamental Struktur	61

Gambar 5.9 Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b	68
Gambar 5.10 Berat Bangunan Software SAP2000	71
Gambar 5.11 Simpangan antar Lantai dan Simpangan antar Lantai Izin Gempa Arah X	75
Gambar 5.12 Simpangan antar Lantai dan Simpangan antar Lantai Izin Gempa Arah Y	75



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar IMB Bangunan	81
Lampiran 2 Berat Bangunan	94



## ABSTRAK

Gempa bumi adalah guncangan yang kuat pada permukaan bumi akibat pergerakan lempeng tektonik. Gempa bumi yang terjadi tidak dapat diprakirakan secara tepat terhadap waktu dan letak. Menurut Pawirodikromo (2012), gempa bumi merupakan peristiwa bergetarnya permukaan tanah yang disebabkan oleh kekuatan geologis yang lepas akibat massa batuan pecah atau tergelincir di lapisan kerak bumi. Wilayah Indonesia terletak di jalur *ring of fire* dimana Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik bertemu. Akibat dari pertemuan lempeng-lempeng tersebut bangunan akan mengalami goyangan yang kuat sehingga timbul pergeseran di tiap-tiap lantai bangunan. Pada penelitian ini studi kasus yang digunakan adalah Bangunan Perkantoran yang memiliki 3 lantai. Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini untuk mengetahui seberapa besar simpangan antar lantai, gaya geser dasar bangunan, dan berat bangunan perhitungan manual excel dengan *ouput* SAP2000

Analisis yang dilakukan menggunakan pemodelan dari *software* SAP2000. Beban gempa yang diperhitungkan mengikuti pedoman SNI 1726:2019 dengan metode dinamik respons spektrum di wilayah Kota Yogyakarta. Pemodelan dilakukan dengan memodelkan bangunan kantor dengan 3 lantai. *Output* dari SAP2000 kemudian dipakai untuk membandingkan berat bangunan dari SAP dengan berat bangunan perhitungan manual, membandingkan gaya geser dasar akibat gaya statik dengan gaya geser dasar akibat gaya dinamik respons spektrum, dan membandingkan simpangan antar lantai yang terjadi dengan simpangan antar lantai izin.

Berdasarkan *output* SAP2000 dan analisis respons spektrum terhadap bangunan perkantoran di Yogyakarta. Berat bangunan tanpa beban mati tambahan pada SAP2000 sebesar 3251,625 kN dan hasil perhitungan manual sebesar 3243,6580 kN, sedangkan berat bangunan memakai beban mati tambahan pada SAP2000 sebesar 6300,208 kN dan perhitungan manual sebesar 6197,0458 kN, kemudian gaya geser dasar statik sebesar 652,3 kN dan gaya geser dasar dinamik respons spektrum setelah penskalaan gaya sebesar 652,3 kN. Nilai simpangan yang terjadi pada gempa arah X dan arah Y sama-sama memenuhi atau tidak melebihi simpangan antar lantai izin. Simpangan terbesar pada gempa arah X sebesar 0,038872 m dan simpangan terbesar pada gempa arah Y sebesar 0,042373 m, sedangkan untuk simpangan antar lantai izin sebesar 0,08 m.

**Kata kunci:** respons spektrum, simpangan, *base shear*

## **ABSTRACT**

*An earthquake is a strong shaking of the earth's surface due to the movement of tectonic plates. Earthquakes that occur cannot be predicted accurately with respect to time and location. According to Pawirodikromo (2012), an earthquake is an event of shaking the ground surface caused by geological forces that are released due to rock masses breaking or slipping in the earth's crust. Indonesian territory is located in the ring of fire where the Eurasian Plate, Indo-Australian Plate and Pacific Plate meet. As a result of the meeting of these plates the building will experience a strong sway so that a shift occurs on each floor of the building. In this research, the case study used is an office building which has 3 floors. The analysis carried out in this study was to determine how large the drift between floors, the basic shear force of the building, and the weight of the building was by excel manual calculations with output software SAP2000.*

*Analysis was carried out using modeling from the software SAP2000. The calculated earthquake load follows the SNI 1726:2019 guidelines with the dynamic response spectrum method in the Yogyakarta City area. Modeling is done by modeling an office building with 3 floors. The output from SAP2000 is then used to compare the building weight from SAP with the manual calculation of the building weight, compare the base shear force due to static forces with the base shear force due to the dynamic response spectrum, and compare the drift between floors that occurs with the allowable inter-floor drift.*

*Based on output SAP2000 and spectrum response analysis for office buildings in Yogyakarta. The weight of the building without additional dead load on SAP2000 is 3251,625 kN and the results of manual calculations are 3243,6580 kN, while the weight of the building using additional dead load on SAP2000 is 6300,208 kN and manual calculation is 6197,0458 kN, then the basic static shear force is 652.3 kN and the response spectrum dynamic base shear after scaling the force is 652.3 kN. The value of the drift that occurs in the X direction and Y direction both fulfills or does not exceed the drift between the permitted floors. The largest drift in the X direction earthquake is 0.038872 m and the largest drift in the Y direction earthquake is 0.042373 m, while the drift between floors is 0.08 m.*

**Keywords:** *spectrum response, drift, base shear*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Gempa bumi adalah guncangan yang kuat pada permukaan bumi akibat pergerakan lempeng tektonik. Gempa bumi yang terjadi tidak dapat diprediksi secara tepat terhadap waktu dan letak. Menurut Pawirodikromo (2012), gempa bumi merupakan peristiwa bergetarnya permukaan tanah yang disebabkan oleh kekuatan geologis yang lepas akibat massa batuan pecah atau tergelincir di lapisan kerak bumi. Wilayah Indonesia terletak di jalur *ring of fire* dimana Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik bertemu.

Lempeng Eurasia dan Indo-Australia memiliki pertemuan di bawah pulau Jawa. Pertemuan kedua Lempeng tersebut menyebabkan Pulau Jawa mengalami banyak fenomena alam, salah satunya adalah gempa bumi. Oleh karena itu bangunan yang dibangun tentu harus memenuhi kaidah bangunan tahan gempa. Goyangan yang terjadi akibat gempa bumi dapat meruntuhkan bangunan dalam sekejap apabila bangunan tersebut tidak memenuhi kaidah bangunan tahan gempa. Peristiwa tersebut dapat menimbulkan kerusakan fasilitas, korban jiwa, kerugian ekonomi, dan dampak sosial (kemiskinan, kelaparan, dan penyakit akibat bangunan runtuh). Untuk meminimalisir dampak-dampak tersebut, sebuah perencanaan yang memenuhi kaidah bangunan tahan gempa dibutuhkan. Perencanaan terhadap gempa dapat dilakukan menggunakan metode analisis dinamik dan metode analisis statik ekuivalen.

Metode analisis statik ekuivalen merupakan analisis gaya statik yang terjadi pada struktur, yang mana pengaruh dari gempa terhadap struktur diasumsikan sebagai beban-beban statik horizontal sebagai pengganti beban gempa yang terjadi sesungguhnya yang diakibatkan oleh pergerakan tanah.

Metode analisis dinamik adalah salah satu bagian dari analisis struktur yang gaya geser gempanya tersebar pada masing-masing tingkat, didapat dengan memperhitungkan pengaruh dinamis terhadap struktur yang diakibatkan oleh gerakan tanah. Analisis dinamik sendiri terbagi atas dua metode, yaitu analisis



dinamik respons spektrum dan analisis dinamik riwayat waktu. Analisis dinamik digunakan pada bangunan bertingkat karena kadar ketelitian yang lebih baik pada pembagian gaya geser tingkat di sepanjang tinggi bangunan dibandingkan metode analisis statik ekuivalen. Berdasarkan uraian di atas, maka penulis mengambil bahasan “Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Menggunakan Analisis Dinamik Metode Respons Spektrum” pada Tugas Akhir.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang digunakan pada Tugas Akhir adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana perbandingan berat bangunan dari pemodelan dan hitungan manual?
2. Bagaimana nilai *base shear* pada bangunan akibat beban statik?
3. Bagaimana nilai simpangan antar lantai dibandingkan batas izinnya?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui hasil perbandingan berat bangunan dari pemodelan dan hitungan manual.
2. Mengetahui nilai *base shear* pada bangunan akibat beban statik.
3. Mengetahui nilai simpangan antar lantai dibandingkan batas izinnya.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah pengetahuan penulis tentang analisis dinamik metode respons spektrum pada struktur bangunan.
2. Menambah pengetahuan penulis tentang kinerja pada struktur beton bertulang menggunakan hasil perbandingan berat bangunan dari pemodelan dan hitungan manual, *base shear*, dan simpangan antar lantai.
3. Menambah pengetahuan penulis dalam penggunaan perangkat lunak SAP2000.

## **1.5 Batasan Penelitian**

Penulis membatasi masalah-masalah Tugas Akhir ini sebagai berikut.

1. Perancangan bangunan menggunakan struktur bangunan Perkantoran PT. Calista Perkasa Mulia Jalan Veteran, Muja Muju, Yogyakarta, DI Yogyakarta.
2. Standar dan peraturan yang dipakai adalah:
  - a. SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.
  - b. SNI 1726:2019 Standar Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non Gedung.
  - c. SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
  - d. Peraturan Beton Indonesia (PBI) 1971.
3. Memodelkan struktur bangunan berdasarkan data struktur bangunan yang telah diperoleh.
4. Analisis respons spektrum digunakan untuk menganalisa struktur bangunan.
5. Peninjauan struktur dilakukan dengan 3 dimensi menggunakan aplikasi SAP2000.
6. Semua tumpuan dianggap tumpuan jepit.
7. Ruang tangga tidak dimodelkan.
8. Beban angin peninjauannya diabaikan.
9. Bangunan terletak di atas tanah sedang.
10. Hasil akhir dari analisis respons spektrum pada struktur berupa perbandingan berat bangunan dari pemodelan dan hitungan manual, nilai base shear pada bangunan akibat beban statik, dan nilai simpangan antar lantai dibandingkan batas izinnnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Studi tentang penggunaan analisis metode respons spektrum pada suatu bangunan gedung bukan merupakan pekerjaan yang pertama kali dilakukan. Studi-studi terdahulu tentang hal tersebut telah dilakukan. Penelitian ini akan melanjutkan apa yang telah dilakukan dari beberapa studi sebelumnya. Hasil dari kajian ulang atas studi terdahulu dapat menjadi referensi tentang analisis metode respons spektrum pada daerah tersebut.

##### 2.1.1 Elliza (2013)

Penelitian yang dilakukan oleh Elliza (2013) terkait Evaluasi Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Respons Spektrum Menggunakan *Software* ETABS V 9.5 pada Gedung Solo *center point* dengan jumlah lantai sejumlah 19 lantai dan ketinggian Gedung 80,15 m. sistem struktur Gedung ini memakai dual *system wall-frame* beton bertulang dan fungsi Gedung sebagai *apartement, condotel* dan *mall*.

Metode analisis yang digunakan yaitu dengan analisis respons spektrum pada modelan struktur untuk mendapatkan kurva respons spektrum sesuai wilayah gempa yang dianalisis dengan bantuan program ETABS V 9.5. Data yang digunakan dalam analisis respons spektrum ini adalah fungsi bangunan, letak bangunan terhadap wilayah gempa, jenis tanah dan tipe struktur.

Tujuan studi ini adalah untuk mengetahui kemampuan struktur yang ditinjau dari *displacement, drift*, dan *base shear*. Dengan analisis dinamik metode respons spektrum menggunakan *software* ETABS V9.5, nilai *displacement* diperoleh sebesar 0,1254 m pada arah X dan 0,1533 m pada arah Y.

Sedangkan batas maksimum total *drift* diperoleh sebesar 0,0055 m pada arah X dan 0,0099 m pada arah Y. Kesimpulan akhir studi ini adalah keamanan bangunan atas kinerja batas layan dan kinerja batas *ultimate* dipenuhi.

### 2.1.2 Purnomo (2014)

Penelitian yang dilakukan oleh Purnomo (2014) terkait Analisis Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan *Software* ETABS. Bangunan yang diteliti memiliki kegunaan sebagai bangunan hotel dan berada di wilayah Semarang. Jumlah lantai sebanyak 11 lantai dengan ketinggian keseluruhan lantai sebesar 32,1 m.

Metodologi yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode analisis dinamik respon spektrum dengan menggunakan *software* ETABS. Langkah-langkah dalam metode analisis ini yaitu pengumpulan data dan studi literatur. Memodelkan struktur bangunan secara 3D (tiga dimensi). Menghitung dan menginput beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Menghitung respon spektrum bangunan dengan menggambarkan kurva respon spektrum gempa rencana untuk selanjutnya di input ke dalam pemodelan. Melakukan analisis untuk mendapatkan nilai *displacement*, *drift* dan *base shear*. Pada tahap terakhir peneliti melakukan kontrol kinerja struktur bangunan untuk mengambil kesimpulan dari hasil analisis yang berhubungan dengan tujuan penelitian.

Tujuan studi ini adalah untuk mempelajari keamanan struktur bangunan hotel dilihat dari *displacement*, *drift*, dan *base shear*. Luaran studi ini menunjukkan *displacement* arah X sebesar 0,0573 m dan arah Y sebesar 0,0557 m. Analisis pada *displacement* tersebut telah memenuhi syarat terhadap syarat kinerja batas layan arah X, sedangkan untuk arah Y belum memenuhi syarat batas layan. Untuk nilai maksimum total *drift* arah X sebesar 0,0018 m dan arah Y sebesar 0,0017 m. Kesimpulan akhir menunjukkan gedung yang ditinjau masuk ke dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO).

### 2.1.3 Utami (2019)

Penelitian yang dilakukan oleh Utami (2019) terkait Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Metode Respons Spektrum Ditinjau pada *Drift* dan *Displacement* Menggunakan *Software* ETABS. Gedung yang akan dianalisis adalah gedung dengan bentuk Letter L, jumlah lantai sebanyak 7 lantai

Metode penelitian dilakukan dimulai dari perhitungan pembebanan gravitasi dan gempa. Setelah perhitungan pembebanan didapatkan maka selanjutnya

dilakukan perhitungan dengan software Etabs. Hasil analisis berupa Displacement, Drift dan Base Shear. Setelah itu menentukan nilai maksimum dari Displacement dan Drift. Setelah Didapat hasilnya dibuat grafik hubungan antar displacement dengan ketinggian gedung serta grafik hubungan story drift dengan tinggi perlantai.

Tujuan penelitian ini untuk menganalisis struktur gedung menggunakan analisis dinamik metode respons spectrum dimana peninjauannya terhadap *displacement* dan *drift*. Acuan yang dipakai dalam menentukan kinerja struktur gedung adalah SNI 1726:2012 dan ATC-40. Hasil studi ini berupa kinerja batas layan terhadap arah X sebesar 0,00403 m dan arah Y sebesar 0,004 m yang telah mencukupi syarat kinerja batas layan kurang dari 0,01125 m. Kemudian hasil kinerja batas layan maksimum pada arah X sebesar 0,00403 m dan arah Y sebesar 0,004 m dimana pada arah X menunjukkan telah memenuhi syarat batas kerja maksimum (kurang dari 0,006 m). Sesuai dengan acuan ATC-40, gedung tersebut dikelompokkan sebagai *Immediate Occupancy* (IO).

#### 2.1.4 Wahyuningtyas (2020)

Studi oleh Wahyuningtyas (2020) tentang Analisis Ketahanan Gedung Apartemen Surabaya dengan Menggunakan Metode Respons Spektrum. Gedung yang diteliti memiliki kegunaan sebagai *apartement* dan *mall* terletak di Jalan Laguna Raya KJW Putih, Mulyorejo, Kota Surabaya, Jawa Timur dimana lokasi berdekatan dengan beberapa situs sesar aktif. Letak sesar aktif yaitu sesar aktif Lasem di sebelah utara dengan jarak  $\pm 70$  Km, sesar aktif Watu Kosek di sebelah selatan timur laut yang membujur dari Mojokerto hingga Madura dengan jarak  $\pm 30$  Km dan sesar aktif Pasuruan di sebelah selatan yang membujur dari Pasuruan sampai Mojokerto dengan jarak  $\pm 50$  Km. memiliki 45 lantai dengan total ketinggian lantai Gedung 138 m.

Analisis ketahanan gempa diperlukan pada gedung apartemen untuk mengetahui ketahanan terhadap gempa. Analisis dinamik menggunakan metode respon spektrum digunakan untuk menganalisa gedung. permodelan struktur dengan menggunakan program bantu struktur. Permodelan menggunakan gambar detail yang didapatkan pada proyek apartemen. Pemodelan 3D dilakukan dengan menggunakan aplikasi perangkat lunak analisis struktur, yang kemudian akan

dianalisis guna mendapatkan *drift*, *displacement* dan *base shear* yang bekerja dalam struktur bangunan.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui langkah-langkah evaluasi struktur dengan analisis dinamik metode respons spektrum sesuai aturan SNI 1726:2019. Bagian-bagian yang ditinjau adalah *displacement*, *drift*, dan *base shear* yang terjadi pada bangunan. Kesimpulan yang diperoleh menunjukkan *displacement* maksimum arah X sebesar 0,07723 m dan arah Y sebesar 0,10648 m sehingga dapat dinyatakan sudah memenuhi limit syarat maksimum  $\left[ \left( \frac{0,015 h_{xy}}{\rho} \right) \right] = 1,57$  m, *drift* maksimum arah X sebesar 0,22 mm dan arah Y sebesar 0,29 mm, kemudian *base shear* yang terbesar pada arah X sebesar 4871,12 kN dan arah Y sebesar 5160,36 kN.

## 2.2 Perbedaan Penelitian

Berdasarkan uraian di atas, perbedaan-perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian saat Ini**

No	Aspek	Sadhewa (2021)	Elliza (2013)	Purnomo (2014)	Utami (2019)	Wahyuningtyas (2020)
1.	Judul	Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Menggunakan Analisis Metode Respons Spektrum	Evaluasi Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Respons Spektrum Menggunakan <i>Software</i> ETABS V 9.5	Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Dinamik Respons Spektrum Menggunakan <i>Software</i> ETABS	Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Metode Respon Spektrum Ditinjau Pada <i>Drift</i> dan <i>Displacement</i> Menggunakan <i>Software</i> ETABS	Analisis Ketahanan Gedung Apartemen Surabaya dengan Menggunakan Metode Respon Spektrum
2.	Metode Analisis	Respons Spektrum	Respons Spektrum	Respons Spektrum	Respons Spektrum	Respons Spektrum
3.	<i>Software</i> yang Dipakai	SAP2000	ETABS	ETABS	ETABS	SAP2000
4.	Objek Penelitian	Bangunan Perkantoran PT. Calista Perkasa Mulia yang terletak di Jalan Veteran,	Gedung Solo <i>center point</i> dengan jumlah lantai sejumlah 19 lantai dan	Bangunan Hotel 11 lantai yang terletak di Semarang	Bangunan berletter L dengan 7 lantai yang terletak di DKI Jakarta	Apartemen Surabaya terletak di Jalan Laguna Raya KJW Putih, Mulyorejo,

No	Aspek	Sadhewa (2021)	Elliza (2013)	Purnomo (2014)	Utami (2019)	Wahyuningtyas (2020)
		Muja Muju, Yogyakarta, DI Yogyakarta	ketinggian Gedung 80,15 m. sistem struktur Gedung ini memakai dual <i>system wall-frame</i> beton bertulang dan fungsi Gedung sebagai <i>apartement,</i> <i>condotel</i> dan <i>mall</i>			Kota Surabaya, Jawa Timur
5.	Hasil	-	Dengan analisis dinamik metode respons spektrum menggunakan <i>software</i> ETABS V9.5, nilai <i>displacement</i> diperoleh sebesar 0,1254 m pada arah X dan 0,1533 m pada arah Y. Sedangkan batas maksimum total <i>drift</i> diperoleh sebesar 0,0055 m	Terdapat <i>displacement</i> arah X sebesar 0,0573 m dan arah Y sebesar 0,0557 m. Analisis pada <i>displacement</i> tersebut telah memenuhi syarat kinerja batas layan arah X, sedangkan syarat batas layan pada arah Y belum dipenuhi. Nilai maksimum total <i>drift</i> sebesar sebesar	Berdasarkan SNI 1726:2012 $\Delta_s$ (simpangan maksimum) yang disyaratkan pada bangunan ini sebesar 0,06 untuk arah X maupun untuk arah Y. Hasil yang didapat sebesar 0,00308 m pada arah X dan 0,00196 m pada arah Y. Menunjukkan bangunan yang ditinjau telah	Hasil yang didapat menunjukkan <i>displacement, drift,</i> dan <i>base shear</i> telah memenuhi syarat berdasarkan syarat batas maksimum yang diizinkan. Batasan <i>displacement</i> sesuai SNI 1726:2019 kategori risiko III pada bangunan apartemen Surabaya yang diizinkan yaitu sebesar 1,56923 m.



No	Aspek	Sadhewa (2021)	Elliza (2013)	Purnomo (2014)	Utami (2019)	Wahyuningtyas (2020)
			pada arah X dan 0,0099 m pada arah Y. Kesimpulan akhir studi ini adalah keamanan bangunan atas kinerja batas layan dan kinerja batas <i>ultimate</i> dipenuhi.	0,0018 m pada arah X dan sebesar 0,0017 m pada arah Y. Luaran studi ini menunjukkan gedung yang ditinjau masuk ke dalam level kinerja <i>Immediate Occupancy</i> (IO).	memenuhi batas ultimit yang telah disyaratkan.	Hasil dari running program menunjukkan displacement yang didapat sebesar 0,077 m pada arah $U_x$ dan 0,106 m pada arah $U_y$

### 2.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan tinjauan dari beberapa penelitian terdahulu di Tabel 2.1, penelitian mengenai evaluasi kinerja struktur beton bertulang menggunakan analisis dinamik metode respons spektrum belum pernah dilakukan pada struktur bangunan Perkantoran PT. Calista Perkasa Mulia yang terletak di Jalan Veteran, Muja Muju, Yogyakarta, DI Yogyakarta.

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Umum**

Menurut Pawirodikromo (2012), gempa bumi merupakan pelepasan energi secara mendadak dari proses pecahnya batuan atau massa batuan yang mengalami selip pada lapisan kerak bumi, mengakibatkan bergetarnya permukaan tanah. Proses dari pelepasan energi atau selipnya massa batuan pada kerak bumi tersebut disebabkan oleh aktifitas tektonik. Ketika bangunan mengalami getaran, gaya-gaya yang terjadi pada struktur bangunan akan timbul karena massa bangunan akan mempertahankan keadaan terhadap keadaan geraknya. Gaya inersia yang terjadi dipengaruhi oleh faktor utama (massa bangunan) dan faktor-faktor lainnya, yang meliputi massa bangunan yang terdistribusi, kekakuan struktur, kekakuan tanah, jenis pondasi, mekanisme redaman pada bangunan, serta perilaku dan besar getaran akibat gempa tersebut.

Menurut Muto (1963), gedung bergerak vertikal dan horizontal saat gempa bumi terjadi. Gaya gempa di arah vertikal maupun horizontal akan muncul di titik-titik dari massa struktur. Dibandingkan dengan gaya horizontal, gaya vertikal hanya sedikit mengubah gaya gravitasi yang bekerja pada struktur bangunan. Namun, sebuah struktur bangunan umumnya dirancang terhadap gaya vertikal menggunakan faktor keamanan yang cukup. Sehingga struktur bangunan umumnya jarang sekali runtuh akibat dampak gaya gempa pada arah vertikal. Sebaliknya, gaya gempa pada arah horizontal menyerang titik-titik lemah pada struktur yang kekuatannya tidak memadai dan secara langsung dapat menyebabkan kegagalan (*failure*) serta keruntuhan (*collapse*).

Kegagalan serta keruntuhan struktur bangunan bisa menimbulkan banyak kerugian ekonomi dan korban jiwa. Oleh sebab itu, analisis gempa terhadap struktur bangunan perlu dikembangkan untuk meminimalisir muncul kerugian ekonomi serta korban jiwa akibat kegagalan di struktur tersebut.

## **3.2 Pembebanan Struktur**

### **3.2.1 Beban Gravitasi**

Beban gravitasi merupakan beban-beban yang terjadi dampak aktivitas manusia atau terjadi secara alamiah yang terdiri atas beban mati serta beban hidup. Beban mati merupakan perpaduan beban asal seluruh bagian struktur gedung yg bersifat tetap, termasuk peralatan tetap yg tidak terpisahkan asal struktur gedung, mesin-mesin, serta finishing pada struktur gedung tersebut (pasal 3.10 SNI 2847:2002). Sedangkan beban hidup artinya seluruh beban yang muncul atas dampak penggunaan serta penghunian pada suatu gedung, termasuk beban-beban dari benda-benda yang dapat dipindahkan berasal satu tempat ke tempat lainnya yang terjadi pada lantai serta/atau beban dampak air hujan di atap (pasal 3.8 SNI 2847:2002).

### **3.2.2 Beban Lateral**

Beban lateral dialami oleh sebuah gedung dengan arah horizontal baik dari dalam maupun dari luar. Secara umum, beban lateral terjadi akibat beban gempa dan beban angin. Beban yang terjadi akibat terjadinya getaran mesin dan ledakan juga dapat digolongkan ke dalam beban lateral.

Beban gempa adalah keseluruhan beban statik ekuivalen pada bangunan gedung yang mengikuti pergerakan tanah yang disebabkan getaran gempa tersebut. Terdapat metode analisis statik ekuivalen dan metode analisis dinamik pada analisis terhadap beban gempa.

Beban angin dialami oleh sebuah bangunan akibat perbedaan tekanan udara (massa udara yang bergerak). Dalam pembahasan lebih lanjut beban angin diabaikan, sedangkan beban gempa dimasukkan ke dalam pembahasan. Berikut merupakan dua metode dalam melakukan analisis beban gempa yaitu analisis statik dan analisis dinamik.

#### **1. Analisis Statik Ekuivalen**

Analisis statik ekuivalen merupakan metode analisis struktur terhadap pengaruh sebuah gempa yang diasumsikan sebagai beban-beban statik horizontal untuk mengikuti beban gempa yang terjadi yang disebabkan oleh pergerakan tanah. Pada struktur yang memiliki tingkat rendah dan tingkat

tinggi, beraturan, dan memiliki ketelitian yang kecil dapat menggunakan analisis statik ekuivalen.

## 2. Analisis Dinamik

Analisis dinamik merupakan analisis pada struktur dengan memperhitungkan pengaruh dinamis pergerakan tanah terhadap struktur yang menghasilkan gaya geser gempa, kemudian gaya geser gempa dibagi ke seluruh bagian tingkat struktur bangunan.

### 3.3 Aspek Perencanaan Gempa

Dalam merencanakan analisis beban gempa, prosedur analisis beban gempa yang akan digunakan telah diatur pada SNI 1726:2019. Mekanisme yang digunakan dalam menganalisis beban gempa dibagi atas 3 tahapan: analisis statik ekuivalen (lateral ekuivalen), analisis respons spektrum, dan analisis riwayat waktu (*time history*). Penentuan mekanisme analisis yang digunakan dipengaruhi oleh hal-hal sebagai berikut.

1. Kategori desain seismik struktur.
2. Sistem struktur.
3. Properti yang bersifat dinamis.
4. Keteraturan struktur.

### 3.4 Berat Bangunan

Berdasarkan pedoman SNI 1726:2019 berat seismik efektif struktur ( $W$ ) harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya yang terdaftar di bawah ini:

1. Dalam daerah yang digunakan untuk penyimpanan: minimum sebesar 25 % beban hidup lantai.

Pengecualian:

- a. Bila beban penyimpanan tidak lebih dari 5 % terhadap berat seismik efektif pada tingkat tersebut, beban tidak perlu dimasukkan dalam berat seismik efektif.
- b. Beban hidup lantai di tempat parkir umum dan struktur parkir terbuka tidak perlu dimasukkan.

2. Jika ketentuan desain beban lantai untuk partisi disyaratkan SNI 1727 pasal 4.3.2, sebesar beban terbesar antara berat partisi aktual atau berat daerah lantai minimum sebesar 0,48 kN/m<sup>2</sup>;
3. Berat operasional total dari peralatan yang permanen;
4. Berat lanskap dan beban lainnya pada taman atap dan area sejenis.

**Tabel 3.1 Prosedur Analisis Yang Diizinkan**

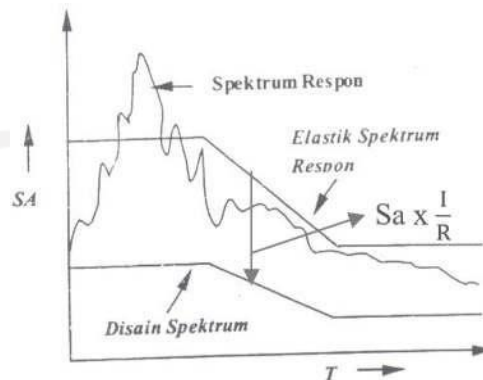
<b>Kategori Desain Seismik</b>	<b>Karakteristik Struktur</b>	<b>Analisis Gaya Lateral Ekuivalen Pasal 0</b>	<b>Analisis Spektrum Respons Ragam Pasal 0</b>	<b>Prosedur respons Riwayat waktu seismik pasal 0</b>
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak lebih 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan	I	I	I

Kategori Desain Seismik	Karakteristik Struktur	Analisis Gaya Lateral Ekuivalen Pasal 0	Analisis Spektrum Respons Ragam Pasal 0	Prosedur respons Riwayat waktu seismik pasal 0
	ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$			
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidaberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

### 3.5 Analisis Gempa Ragam Respons Spektrum

Respons spektrum disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara periode getar struktur ( $T$ ) dengan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respon-respon maksimum terdiri atas *spectral displacement* (SD) atau simpangan maksimum, *spectral velocity* (SV) atau kecepatan maksimum, atau *spectral acceleration* (SA) atau percepatan maksimum suatu massa struktur dengan *single degree of freedom* (SDOF). (Pawirodikromo, 2012). Terdapat dua tipe

respons spektrum sebagai berikut: (1) spektrum elastik yaitu suatu spektrum respons spektrum yang didasarkan atas respons elastik suatu struktur, (2) spektrum inelastik (atau desain respons spektrum) yaitu respon spektrum yang diturunkan



dari spektrum elastik dengan nilai daktilitas tertentu (lihat Gambar 3.1).

**Gambar 3.1 Respons Spektrum Elastik dan Inelastik**

(Sumber: Pawirodikromo, 2000)

Dalam Tugas Akhir ini, respons spektrum yang digunakan adalah respons spektrum yang berada di Perkantoran PT. Calista Perkasa Mulia. Pembuatan respons spektrum tersebut menggunakan SNI 1726:2019.

#### 3.4.1 Kategori Risiko Bangunan untuk Beban Gempa

Tiap bangunan yang akan dibangun memiliki kategori risiko yang berbeda-beda, tergantung dari kegunaan atau fungsi bangunan, lokasi keberadaan bangunan, dan tipe tanah yang akan didirikan bangunan. Oleh karena perbedaan itu masing-masing bangunan mempunyai kategori risiko yang berbeda, mulai dari I, II, III, sampai IV. Semakin tinggi kategori risiko suatu bangunan menunjukkan bahwa bangunan tersebut memiliki risiko yang tinggi terhadap keselamatan jiwa manusia. Bangunan yang dibangun merupakan bangunan yang memiliki tingkat ketelitian yang rendah serta bangunan dengan ketelitian yang tinggi. Ketika membangun sebuah bangunan, bangunan yang dikehendaki adalah bangunan tingkat kerusakan yang kecil. Nilai dari kategori risiko yang dipakai akan menentukan faktor keutamaan gempa yang akan dipakai. Pengelompokkan kategori risiko bangunan dan faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) bangunan dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

**Tabel 3.2 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"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk ke dalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses,</p>	III



<b>Jenis Pemanfaatan</b>	<b>Kategori Risiko</b>
<p>penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Bangunan-bangunan monumental</li> <li>– Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>– Rumah ibadah</li> <li>– Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>– Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>– Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>– Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>– Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>– Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

(Sumber: SNI 1726:2019)

**Tabel 3.3 Faktor Keutamaan Gempa**

<b>Kategori Risiko</b>	<b>Faktor Keutamaan Gempa, <math>I_e</math></b>
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

(Sumber: SNI 1726:2019)

### 3.4.2 Klasifikasi Situs

Penentuan situs yang akan didirikan struktur bangunan untuk percepatan gempa puncak diawali dengan klasifikasi batuan dasar hingga tanah khusus untuk sebuah situs. Pengaruh dari penentuan tersebut dapat memperbesar gempa rencana pada permukaan tanah. Tipe dari klasifikasi situs dapat dilihat pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4 Klasifikasi Situs**

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A*	N/A*
SB (batuan)	750 – 1500	N/A*	N/A*
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 – 750	> 50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 – 350	15 – 50	50 - 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indeks plastisitas, <math>PI &gt; 20</math></li> <li>2. Kadar air, <math>w \geq 40\%</math>,</li> <li>3. Kuat geser niralir <math>\bar{S}_u &lt; 25</math> kPa</li> </ol>		
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3</math> m)</li> <li>- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7,5</math> m dengan indeks plastisitas <math>PI &gt; 75</math>)</li> <li>- Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan <math>H &gt; 35</math> m dengan <math>\bar{S}_u &lt; 50</math> kPa</li> </ul>		

\*N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber: SNI 1726:2019)

### 3.4.3 Parameter Percepatan Gempa

Parameter spektrum respons percepatan untuk periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan Parameter spektrum respons percepatan untuk periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs ditentukan dengan Persamaan **Error! Reference source not found.** dan **Error! Reference source not found.** secara berurutan.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (3.1)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (3.2)$$

Keterangan:

$S_{MS}$  = parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan untuk periode pendek.

$S_s$  = parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek.

$S_{M1}$  = parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan untuk periode 1 detik.

$S_1$  = parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik.

Koefisien situs pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan getaran periode 1 detik ( $F_v$ ) ditentukan mengikuti Tabel 3.5 dan Tabel 3.6.

**Tabel 3.5 Koefisien Situs ( $F_a$ )**

Kelas situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) Terpetakan pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
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	1
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS <sup>(a)</sup>					

<sup>(a)</sup> *SS= situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.*  
(Sumber: SNI 1726:2019)

**Tabel 3.6 Koefisien Situs ( $F_v$ )**

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) Terpetakan pada Periode 1 detik, $S_I$					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
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 <sup>(a)</sup>					

<sup>(a)</sup> *SS= situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.*  
(Sumber: SNI 1726:2019)

#### 3.4.4 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektra desain ditentukan dengan Persamaan (3.3) untuk periode pendek ( $S_{DS}$ ) dan Persamaan **Error! Reference source not found.** untuk periode 1 detik ( $S_{D1}$ ).

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.4)$$

Keterangan:

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

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

$S_{MS}$  = parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan untuk periode pendek

$S_{M1}$  = parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan untuk periode 1 detik.

#### 3.4.5 Spektrum Respons Desain

Ketetapan pembuatan desain spektrum respons adalah sebagai berikut.

1. Periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , nilai spektrum respons percepatan desain ( $S_a$ ) ditentukan dengan Persamaan.

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.5)$$

2. Periode yang lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_S$ , nilai  $S_a$  sama dengan nilai  $S_{DS}$ .
3. Untuk periode lebih besar dari  $T_S$  tetapi lebih kecil dari atau sama dengan  $T_L$ , nilai  $S_a$ , ditentukan dengan Persamaan.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.6)$$

4. Untuk periode lebih besar dari  $T_L$ , nilai  $S_a$  ditentukan dengan Persamaan **Error! Reference source not found.**

$$S_a = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2} \quad (3.7)$$

Keterangan:

$S_a$  = spektrum respons percepatan desain

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

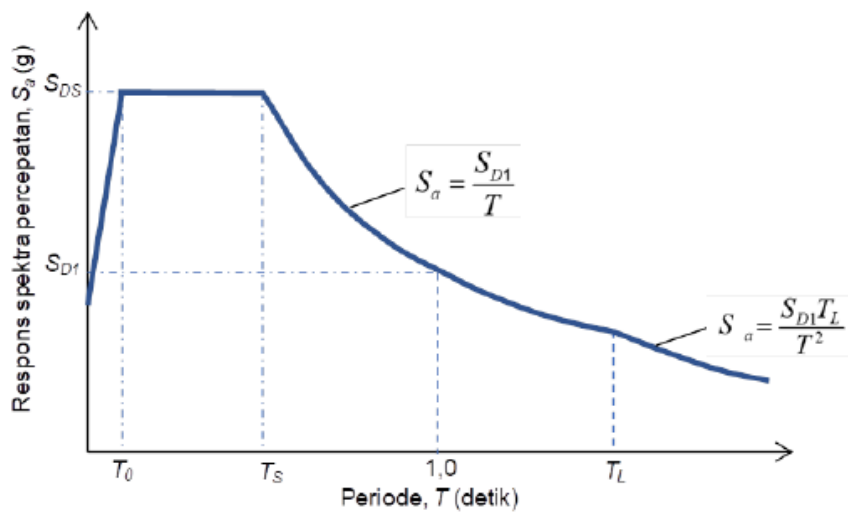
$S_{D1}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

$T$  = periode getar fundamental struktur

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

$T_L$  = peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.

Grafik spektrum respons desain disajikan pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2 Spektrum Respons Desain**

#### 3.4.6 Kategori Desain Seismik

Bangunan yang akan didirikan mempunyai desain seismik dengan acuan kategori risiko bangunan dan nilai  $S_{DS}$  serta  $S_{D1}$  sesuai Tabel 3.7 dan Tabel 3.8.

**Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek**

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

**Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik**

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

Nilai $S_{DI}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2019)

### 3.4.7 Sistem Struktur

Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang diijinkan. Faktor koefisien modifikasi respons ( $R$ ), faktor kuat lebih sistem ( $C_d$ ), dan faktor pembesaran defleksi ( $\Omega_0$ ) untuk Sistem Pemikul Beban Seismik dapat mengikuti Tabel 3.9.

**Tabel 3.9 Sistem Pemikul Beban Seismik**

Sistem Pemikul Beban Seismik		$R$	$C_d$	$\Omega_0$	Kategori Desain Seismik				
					B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F
Dinding penumpu	Dinding geser beton polos biasa	1,5	2,5	1,5	TB	TI	TI	TI	TI
	Dinding geser beton bertulang khusus	5	2,5	5	TB	TB	48	48	30
Sistem rangka gedung	Dinding geser beton polos biasa	1,5	2,5	1,5	TB	TI	TI	TI	TI
	Dinding geser beton bertulang khusus	6	2,5	5	TB	TB	48	48	30

Sistem Pemikul Beban Seismik		$R$	$C_d$	$\Omega_0$	Kategori Desain Seismik				
					B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F
Sistem rangka pemikul momen khusus	Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TB	TB	TB	TB
	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TI	TI	TI	TI

(Sumber: SNI 1726:2019)

### 3.4.8 Periode Fundamental Struktur

Nilai periode fundamental struktur ( $T$ ) tidak lebih dari nilai koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung ( $C_u$ ). Nilai  $C_u$  ditentukan dari besarnya parameter percepatan respons spektral desain untuk 1 detik ( $S_{D1}$ ). Adapun koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung dapat dilihat pada Tabel 3.10.

**Tabel 3.10 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung**

$S_{D1}$	$C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4



$S_{DI}$	$C_u$
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber: SNI 1726:2019)

### 3.4.9 Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) dapat dihitung dengan Persamaan **Error! Reference source not found.**

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (3.8)$$

Keterangan:

$h_n$  = ketinggian struktur bangunan (m), dihitung dari dasar hingga tingkat tertinggi bangunan.

Adapun nilai koefisien  $C_t$  dan  $x$  diperoleh dari parameter pendekatan pada Tabel 3.11.

**Tabel 3.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$**

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

(Sumber: SNI 1726:2019)

Selanjutnya perhitungan untuk periode getar alami dapat menggunakan proses analisis di perangkat lunak SAP2000. Batasan periode struktur dapat digunakan apabila perhitungan periode alami getar struktur menggunakan

perangkat lunak SAP2000 ( $T_c$ ). Syarat dalam penentuan periode getar alami yang akan digunakan sebagai berikut.

1. Apabila  $T_c > C_u \times T_a$ , digunakan  $T = C_u \times T_a$
2. Apabila  $T_a < T_c < C_u \times T_a$ , digunakan  $T = T_c$
3. Apabila  $T_c < T_a$ , digunakan  $T = T_a$

#### 3.4.10 Base Shear

Menurut Cornelis dkk (2014), *base shear* atau sering disebut juga gaya geser dasar merupakan upaya mengganti atau menyederhanakan getaran gempa bumi yang terjadi pada dasar bangunan dan kemudian digunakan sebagai gaya gempa rencana yang ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan.

Gaya geser dasar ditentukan sebagai berikut.

$$V = C_s \times W \quad (3.9)$$

keterangan:

$V$  = Gaya geser dasar

$C_s$  = Koefisien respons seismik

$W$  = Berat seismik efektif

#### 3.4.11 Perhitungan Koefisien Respons Seismik ( $C_s$ )

Berdasarkan pasal 7.8.1.1 SNI 1726:2019 dikatakan bahwa penentuan nilai koefisien respons seismik ( $C_s$ ) harus memenuhi tiga persyaratan berikut.

Syarat 1:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.10)$$

Syarat 2: syarat1 tidak melebihi syarat 2

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \times \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.11)$$

Syarat 3: Syarat 1 tidak kurang dari syarat 3

$$C_s = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01 \quad (3.12)$$

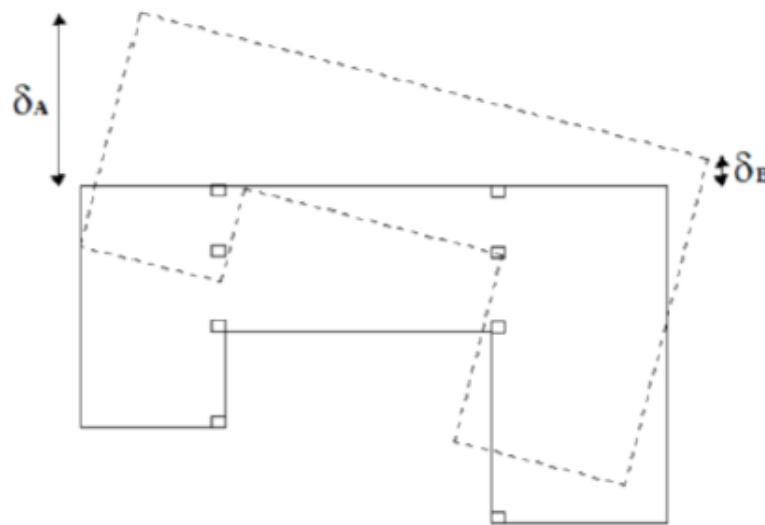
Setelah dilakukan perhitungan sesuai persyaratannya maka didapatkan nilai  $C_s$  yang akan dipakai.

#### 3.4.12 Ketidakberaturan Horizontal

Pada pasal 7.3.3.4 SNI 1726:2019 disebutkan bahwa untuk bangunan dengan kategori desain seismik D, E, atau F mempunyai struktur dengan ketidakberaturan horizontal yaitu tipe 1a, 1b, 2, 3 atau 4.

##### 1. Tipe 1a dan 1b, ketidakberaturan torsi

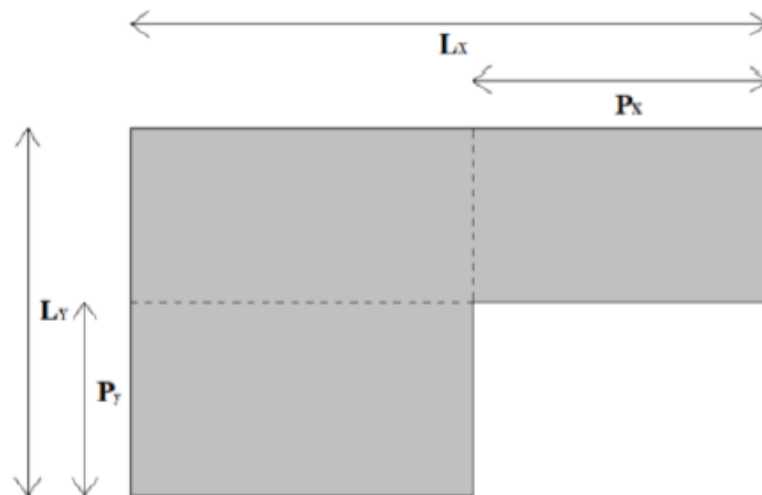
Ketidakberaturan tipe 1a dikatakan ada apabila nilai simpangan maksimum yang terjadi sudah melebihi nilai dari 1,2 simpangan rata-rata pada struktur bangunan tersebut. Kemudian dikatakan struktur mengalami torsi berlebih apabila nilai simpangan maksimum melebihi nilai 1,4 dari simpangan rata-rata



**Gambar 3.3 Ketidakberaturan Tipe 1a dan Tipe 1b**

##### 2. Tipe 2, ketidakberaturan sudut dalam

Ketidakberaturan ini dikatakan ada apabila dimensi gambaran denah struktur pada lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur pada arah yang ditinjau.



**Gambar 3.4 Ketidakberaturan Sudut Dalam**

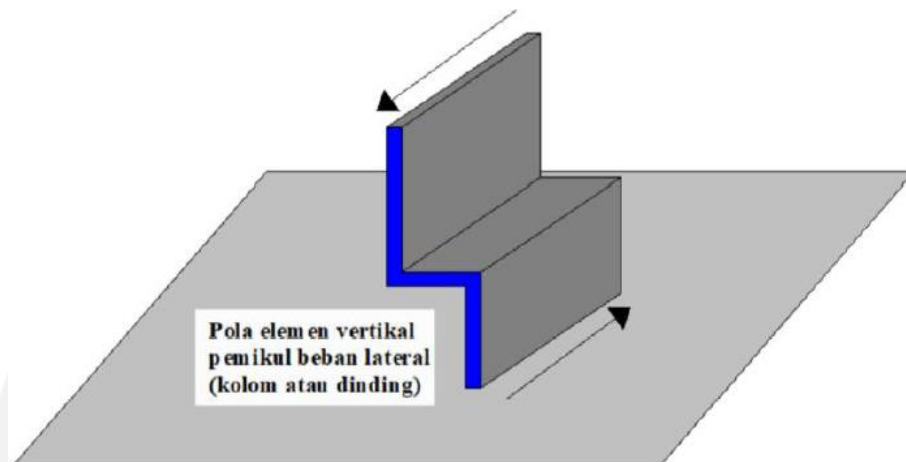
3. Tipe 3, diskontinuitas diafragma

Pada tipe 3 ini dapat dikatakan ada jika diafragma dengan ketidaksinambungan atau variasi kekakuan mendadak, termasuk pada daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 persen di daerah keseluruhan diafragma yang melingkupinya.



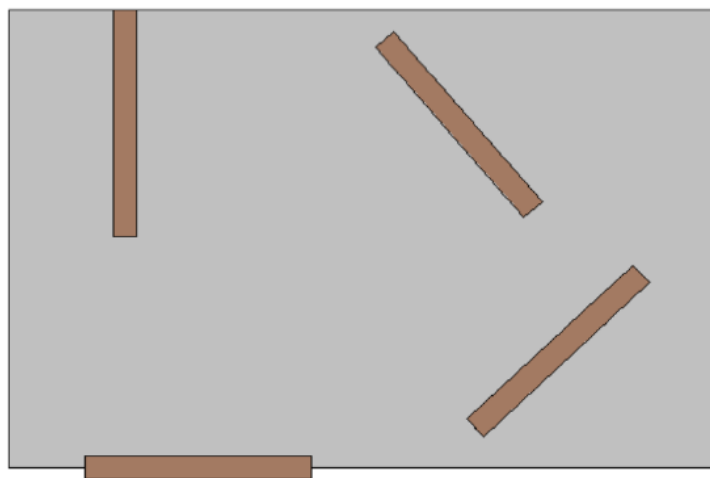
**Gambar 3.5 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma**

4. Tipe 4, ketidakberaturan akibat pergeseran tegak turus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat ketidaksinambungan dalam bidang penahan yang dilalui gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.



**Gambar 3.6 Ketidakberaturan akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang**

5. Tipe 5, ketidakberaturan sistem nonparallel  
Ketidakberaturan tipe 5 dikatakan ada jika elemen vertikal sebagai pemikul gaya lateral tidak sejajar terhadap sumbu-sumbu tegak lurus terhadap bidang utama sistem pemikul gaya seismik.



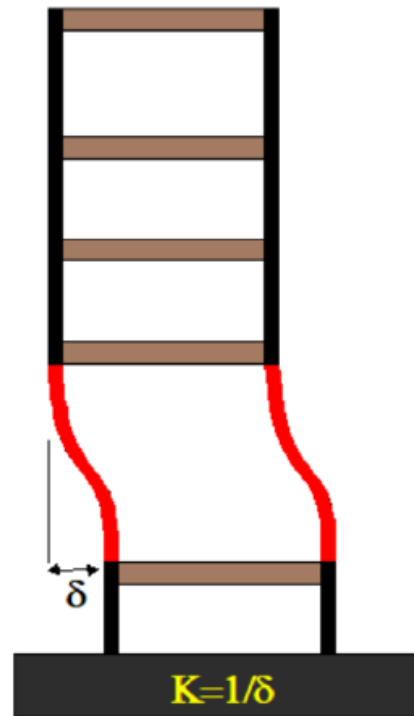
**Gambar 3.7 Ketidakberaturan Sistem Non-paralel**

#### 3.4.13 Ketidakberaturan Vertikal

Ketidakberaturan vertikal memiliki lima tipe ketidakberaturan, yaitu.

1. Tipe 1a dan 1b, ketidakberaturan tingkat lunak  
Pada tipe 1a kekakuan lateral pada satu tingkat kurang dari 70% kekakuan lateral pada tingkat di atasnya atau kurang dari 80% rata-rata tiga tingkat di atasnya. Sedangkan tipe 1b kekakuan lateral satu tingkat kurang dari 60%

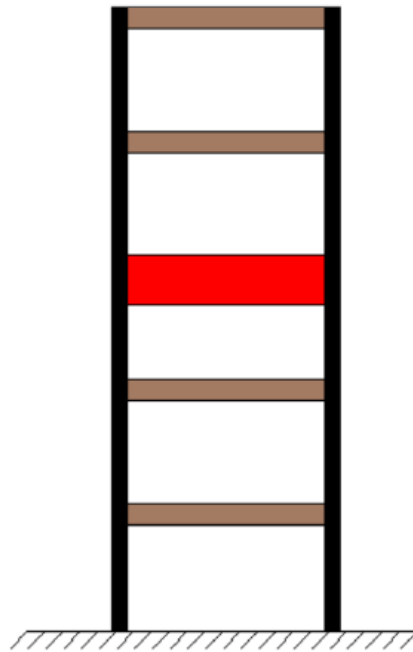
kekakuan lateral di tingkat atasnya atau kurang dari 70% tiga tingkat di atasnya.



**Gambar 3.8 Simpangan akibat Kekakuan Tipe 1a dan Tipe 1b**

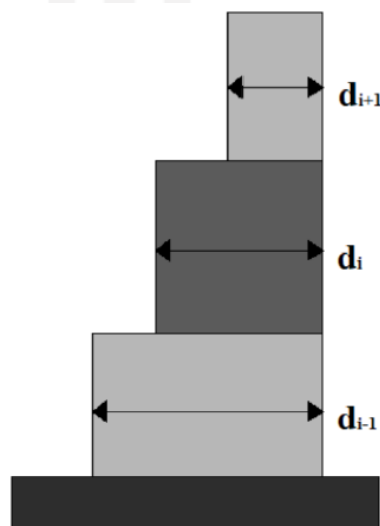
2. Tipe 2, ketidakberaturan massa

Ketidakberaturan massa dikatakan ada jika massa efektif di semua tingkat lebih dari 150% massa efektif yang berada di dekatnya. Jika terdapat atap yang massanya lebih ringan dibanding lantai di bawahnya maka tidak perlu ditinjau sebagai ketidakberaturan massa.



**Gambar 3.9 Ketidakberaturan Tipe 2**

3. Tipe 3, ketidakberaturan geometri vertikal  
 Ketidakberaturan vertikal secara geometri terjadi apabila dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130% dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.

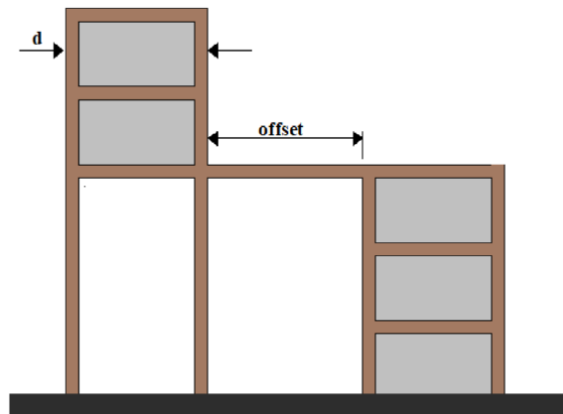


**Gambar 3.10 Ketidakberaturan Tipe 3**

4. Tipe 4, ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal

pemikul gaya lateral.

Ketidakberaturan tipe 4 ini dikatakan ada apabila jika terdapat pergeseran bidang elemen sebagai penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen tersebut atau terjadi reduksi kekakuan elemen penahan pada tingkat di bawahnya.

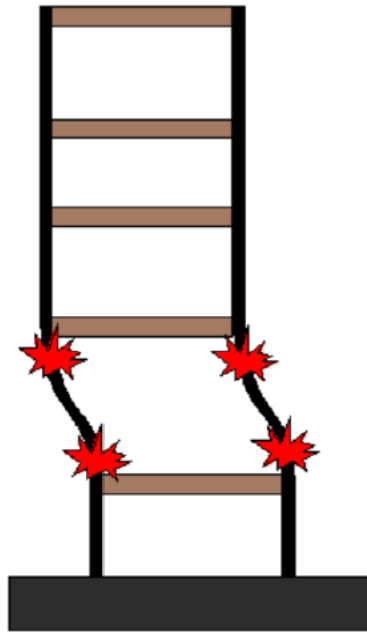


**Gambar 3.11 Ketidakberaturan Tipe 4**

5. Tipe 5, ketidakberaturan tingkat lemah

Ketidakberaturan tingkat lemah ini terjadi apabila gaya geser tingkat yang terjadi di satu tingkat kurang dari 80% dari gaya geser tingkat di atasnya. Jika gaya geser pada satu tingkat lebih dari 60% gaya geser tingkat di atasnya terjadi maka ketidakberaturan tersebut disebut kekakuan tingkat lemah berlebihan.





**Gambar 3.12 Ketidakberaturan Tipe 5a dan Tipe 5b**

#### 3.4.14 Simpangan antar Lantai

Simpangan antar lantai merupakan perpindahan secara lateral di tiap-tiap tingkat bangunan. Simpangan antar tingkat izin ditentukan berdasarkan tinggi lantai dan kategori risiko bangunan, pada Tabel 3.12 merupakan simpangan antar tingkat izin.

**Tabel 3.12 Simpangan antar Lantai 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.	$0,025 \times h_{sx}$	$0,02 \times h_{sx}$	$0,015 \times h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,01 \times h_{sx}$	$0,01 \times h_{sx}$	$0,01 \times h_{sx}$

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur dinding geser untuk batu bata lainnya	0,007×hsx	0,007×hsx	0,007×hsx
Semua struktur lainnya	0,02×hsx	0,015×hsx	0,01×hsx



## **BAB IV METODE PENELITIAN**

### **4.1 Jenis Penelitian**

Metode penelitian merupakan suatu cara atau langkah yang sistematis dalam sebuah penelitian untuk mencapai hasil yang diinginkan. Metode yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah metode penelitian deskriptif, karena mengandung unsur-unsur seperti pembuatan rumusan masalah dari data-data yang telah didapat, ragam informasi yang diperlukan, prosedur yang ditentukan untuk mengumpulkan data, menentukan cara untuk mengolah data, dan membuat kesimpulan berdasarkan hasil yang telah didapatkan.

### **4.2 Pengumpulan Data**

Data merupakan suatu keterangan yang bersifat nyata berupa hasil dari sebuah pengukuran pada suatu variabel yang dapat menunjukkan angka atau kata-kata. Setelah data yang diperoleh kita kumpulkan kemudian diolah menjadi basis data yang mudah dipahami.

#### **4.2.1 Rancangan Pengambilan Data**

Langkah awal yang harus dilakukan adalah penjelasan subjek dan objek penelitian, metode yang dipakai, jenis dan sumber data, waktu pengambilan data, dan potensi kendala yang dihadapi pada pengambilan data. Subjek dalam penelitian ini adalah Bangunan Perkantoran PT. Calista Perkasa Mulia yang terletak di Jalan Veteran, Muja Muju, Yogyakarta, DI Yogyakarta, sedangkan yang menjadi objek penelitian adalah mengetahui bagaimana respons struktur jika dibandingkan antara beban gempa respons spektrum dengan riwayat waktu (*time history*).

#### **4.2.2 Metode Pengambilan Data**

Data adalah bukti yang ditemukan dari hasil penelitian yang dapat dijadikan dasar kajian atau pendapat. Data penelitian dibedakan atas data primer dan data sekunder. Data primer adalah kumpulan informasi yang didapatkan oleh peneliti dari sumber atau lokasi yang asli. Data sekunder adalah kumpulan informasi yang

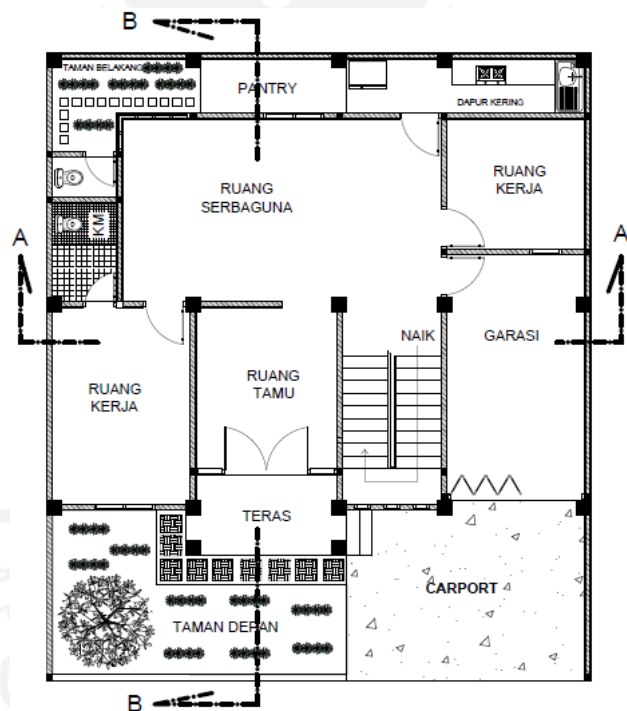
didapatkan oleh peneliti dari sumber informasi yang telah diolah. Penelitian ini tidak memiliki data primer dan hanya menggunakan data sekunder. Data sekunder pada penelitian ini adalah gambar struktur dan gambar arsitektur pada Bangunan Perkantoran PT. Calista Perkasa Mulia yang terletak di Jalan Veteran, Muja Muju, Yogyakarta, DI Yogyakarta.

#### 4.2.3 Data yang Digunakan

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

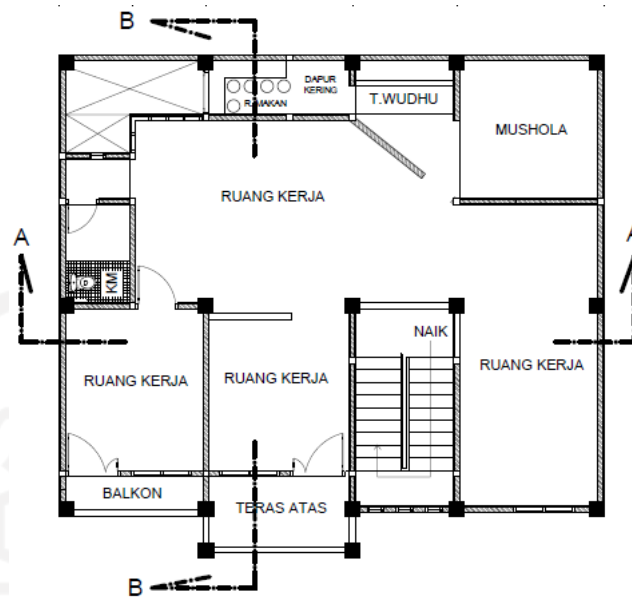
##### 1. Gambar Struktur

Gambar struktur bangunan yang digunakan merupakan bangunan dengan 3 lantai berupa denah dan potongan gambar struktur bangunan. Denah dan potongan dapat dilihat pada Gambar 4.1 sampai dengan Gambar 4.7.

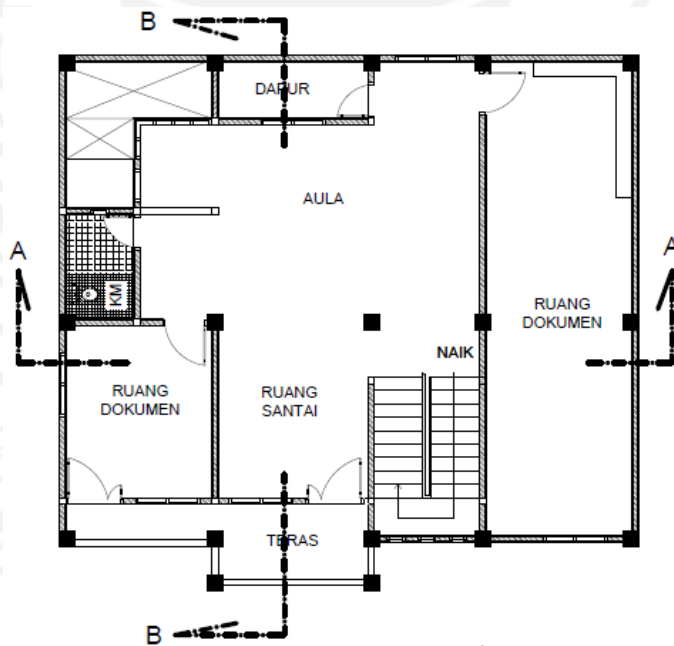


**Gambar 4.1 Denah Lantai 1**

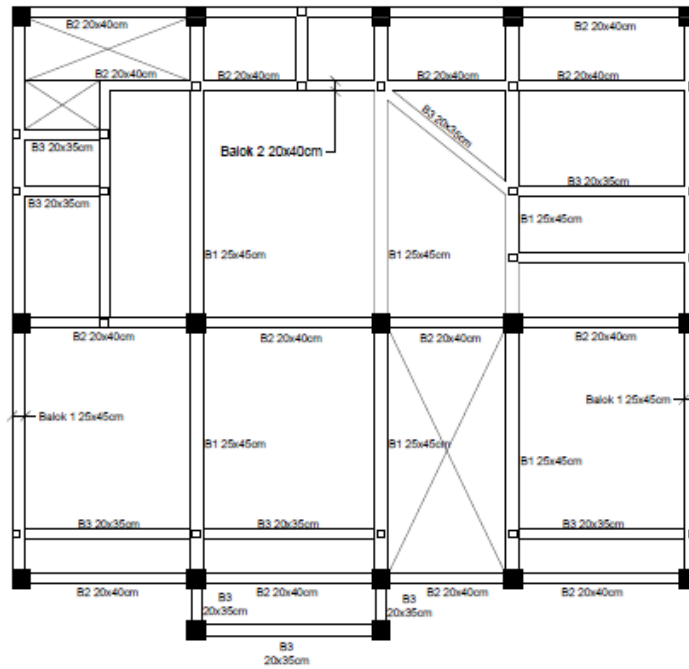
(Sumber: CV. Jati Kita Bersama)



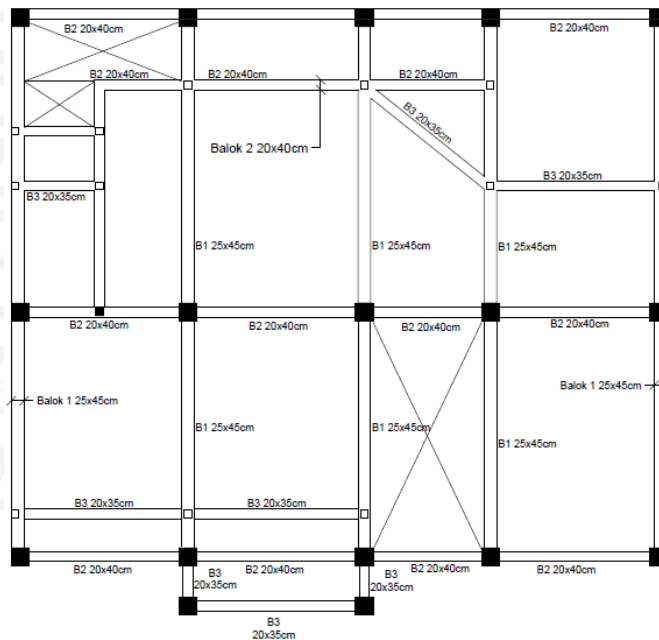
**Gambar 4.2 Denah Lantai 2**  
(Sumber: CV. Jati Kita Bersama)



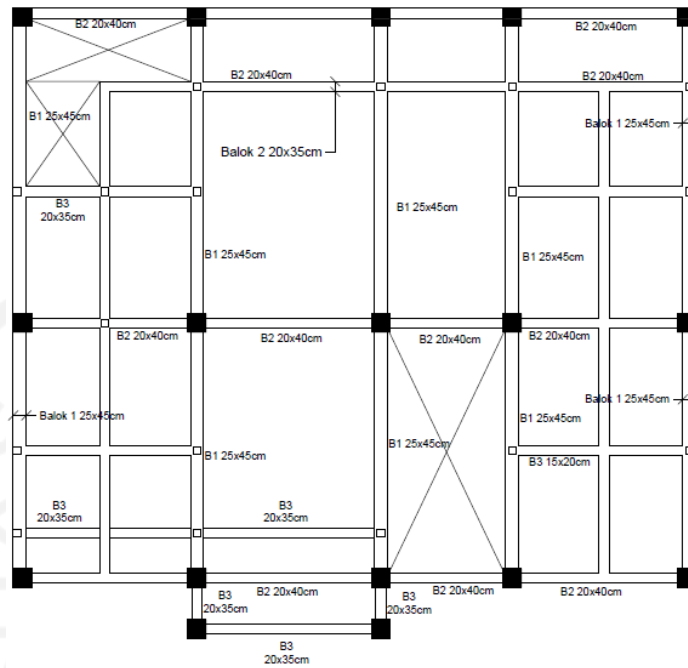
**Gambar 4.3 Denah Lantai 3**  
(Sumber: CV. Jati Kita Bersama)



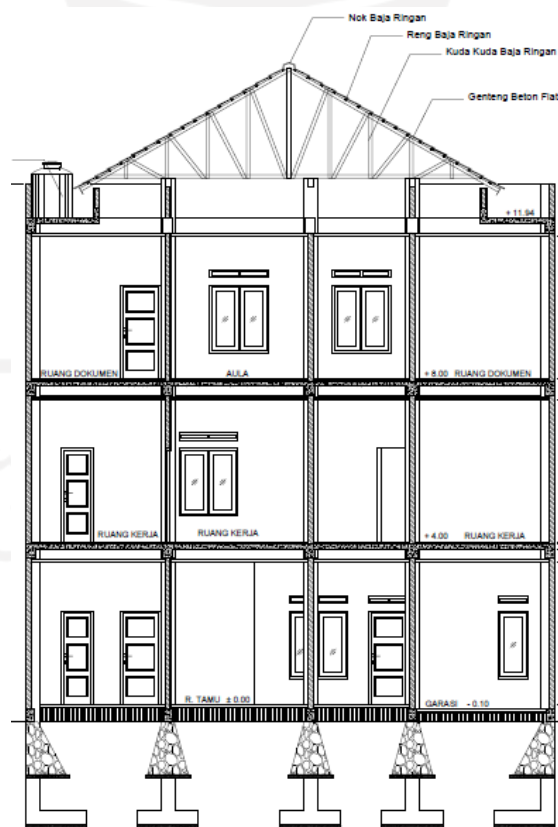
**Gambar 4.4 Denah Balok Elevasi (+3,94m)**  
(Sumber: CV. Jati Kita Bersama)



**Gambar 4.5 Denah Balok Elevasi (+7,94m)**  
(Sumber: CV. Jati Kita Bersama)



**Gambar 4.6 Denah Balok Elevasi (+11,94m)**  
(Sumber: CV. Jati Kita Bersama)



**Gambar 4.7 Denah Potongan Melintang**  
(Sumber: CV. Jati Kita Bersama)

## 2. Gambar Arsitektur

Gambar arsitektur digunakan untuk melihat jenis-jenis ruangan yang ada pada Bangunan Perkantoran PT. Calista Perkasa Mulia yang terletak di Jalan Veteran, Muja Muju, Yogyakarta, DI Yogyakarta. Jenis-jenis ruangan tersebut perlu diketahui untuk menentukan beban ruang sesuai SNI 1727:2020.

## 3. Mutu Bahan

Mutu bahan yang dipakai berupa mutu beton dan mutu baja tulangan. Mutu beton ( $f'c$ ) yang digunakan yaitu 22,83 MPa, sedangkan mutu baja tulangan yang digunakan yaitu mutu baja tulangan pokok ( $f_y$ ) dan mutu baja tulangan sengkang ( $f_{ys}$ ) masing-masing sebesar 390 Mpa untuk baja tulangan pokok dan 240 MPa untuk baja tulangan sengkang.

## 4. Kondisi Tanah

Kondisi tanah di lokasi penelitian adalah kondisi tanah sedang.

### 4.3 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur bangunan akan dimodelkan dengan menggunakan program SAP2000. Program SAP2000 digunakan secara khusus untuk analisis struktur bangunan yang lebih kecil, salah satunya seperti bangunan yang diteliti kali ini dengan bangunan 3 lantai. Struktur yang akan dimodelkan pada Tugas Akhir ini adalah Bangunan Perkantoran PT. Calista Perkasa Mulia yang terletak di Jalan Veteran, Muja Muju, Yogyakarta, DI Yogyakarta. Pemodelan struktur di tingkat dasar diberi tumpuan berupa tumpuan jepit.

### 4.4 Tahapan Penelitian

Penulis menempuh tahapan-tahapan penelitian sebagai berikut.

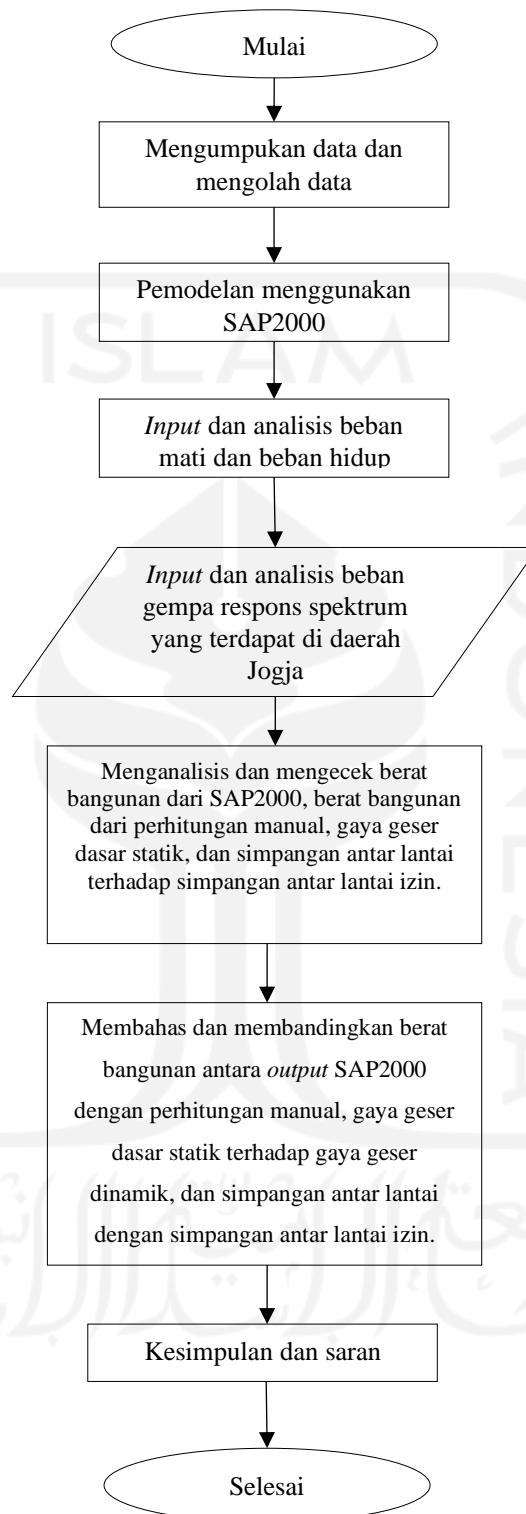
1. Mengumpulkan data berupa detail gambar struktural dan gambar arsitektural.
2. Memodelkan struktur bangunan berdasarkan detail gambar structural dan gambar arsiektural yang telah didapat dengan memasukkannya ke program SAP2000.
3. *Input* nilai pembebanan berupa beban mati dan beban hidup, kemudian dianalisis. Total berat bangunan akan didapat setelah melakukan *input* nilai pembebanan.



4. *Input* dan analisis nilai respons spektrum pada struktur.
5. Membuat kesimpulan hasil analisis desain bangunan dari nilai beban gempa terbesar.

Secara keseluruhan tahapan untuk penyusunan Tugas Akhir ini mengikuti bagan alir pada Gambar 4.8.



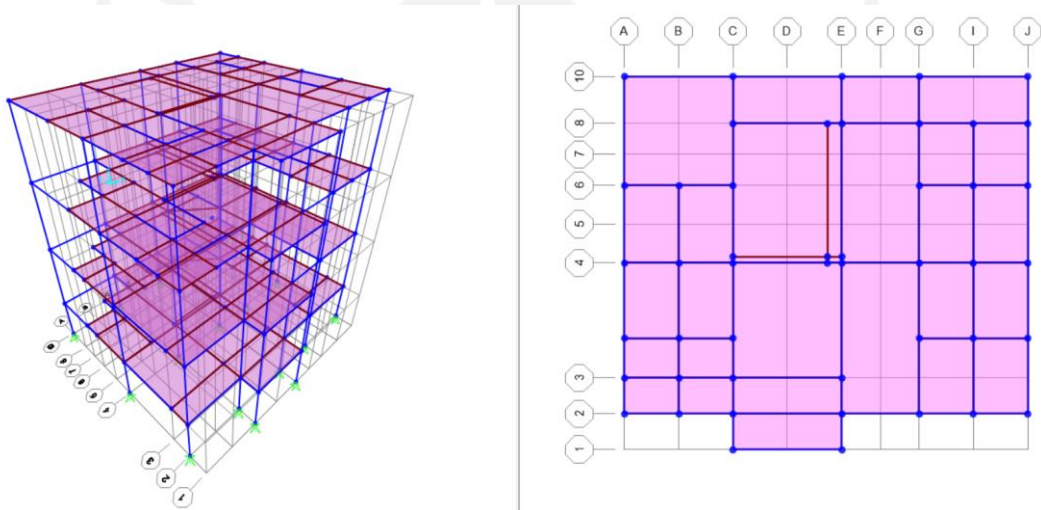


**Gambar 4.8 Bagan Alir Tahapan Penyusunan Tugas Akhir**

## BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Konfigurasi Struktur

Struktur bangunan yang dipakai memiliki bentuk dan ukuran yang beraturan. Bangunan memiliki bentuk persegi jika dilihat dari tampak atas dengan panjang bangunan 13 m dan lebar bangunan 12 m. Bangunan ini memiliki ketinggian sebesar 12 m. Bentuk pemodelan SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan data tinggi bangunan disajikan pada Tabel 5.1.



**Gambar 5.1 Pemodelan Software SAP2000**

**Tabel 5.1 Data Tinggi Bangunan**

Lantai	Tinggi Lantai (m)	Tinggi per lantai (m)
3	12	4
2	8	4
1	4	4

### 5.2 Detail Material

#### 5.2.1 Mutu Beton

Mutu beton yang dipakai pada bangunan ini sebesar 22,83 MPa.

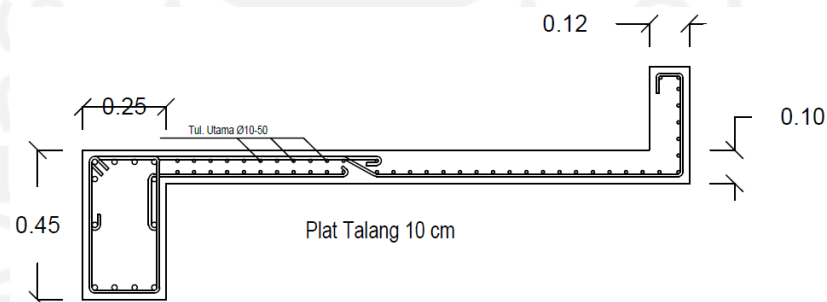
### 5.2.2 Mutu Baja Tulangan

Baja tulangan yang dipakai terdiri atas dua jenis yaitu baja tulangan ulir untuk tulangan pokok dan baja tulangan polos untuk tulangan sengkang. Nilai dari mutu baja tulangan pokok adalah sebesar 390 MPa dan mutu baja tulangan sengkang adalah sebesar 240 MPa. Modulus elastisitas untuk kedua baja tersebut adalah sebesar 200.000 MPa.

## 5.3 Data Elemen Struktur

### 5.3.1 Pelat Lantai

Pelat lantai adalah lantai yang membatasi satu lantai dengan lantai yang lainnya. Pelat lantai dari bangunan ini memiliki ketebalan pelat yang berbeda, yaitu 120 mm untuk pelat lantai dan 100 mm untuk pelat atap.



**Gambar 5.2 Pelat Atap yang Dipakai**

### 5.3.2 Balok

Balok merupakan sebuah struktur yang berfungsi meneruskan beban yang terjadi pada pelat dan/atau dinding menuju kolom. Dimensi balok yang dipakai pada bangunan ini beragam, seperti yang disajikan pada Tabel 5.2.

**Tabel 5.2 Data Dimensi Balok**

No	Tipe Balok	Dimensi (mm)
1	B1	250×450
2	B2	200×400
3	B3	200×350
4	B3 L3	150×200

No	Tipe Balok	Dimensi (mm)
5	BP	200×400

### 5.3.3 Kolom

Kolom merupakan batang tekan vertikal yang berfungsi menopang beban dari balok untuk diteruskan ke pondasi kemudian berakhir di tanah. Keberadaan dari kolom sangat penting karena letaknya yang kritis dapat menyebabkan keruntuhan lantai sampai keruntuhan total struktur bangunan. Kolom dari bangunan ini memakai kolom persegi. Dimensi kolom persegi disajikan pada Tabel 5.3.

**Tabel 5.3 Dimensi Kolom Persegi**

No	Tipe Kolom	Dimensi (mm)
1	K1	350x350
2	K2	150x150

## 5.4 Pembebanan

### 5.4.1 Beban Mati

Beban mati dihasilkan dari elemen-elemen struktur yang bersifat tetap (permanen). Beban barang/peralatan yang menyatu dengan struktur bangunan juga dapat dikategorikan sebagai beban mati, khususnya sebagai beban mati tambahan. Uraian perhitungan dari beban mati meliputi beban mati pelat lantai dan beban mati pelat atap.

#### 1. Beban mati pelat lantai

a. Keramik	= 17 kg/m <sup>2</sup>	= 0,17 kN/m <sup>2</sup>
b. Mortar spesi	= 0,03 m × 21 kN/m <sup>3</sup>	= 63 kN/m <sup>2</sup>
c. Pasir	= 0,05 m × 1800 kg/m <sup>3</sup>	= 0,9 kN/m <sup>2</sup>
d. <i>Plumbing</i> dan <i>electrical</i>	=	= 0,3 kN/m <sup>2</sup>
e. <i>Plafond</i>	= 9 kg/m <sup>2</sup>	= 0,09 kN/m <sup>2</sup>
f. <i>Rangka plafond</i>	= 5 kg/m <sup>2</sup>	= 0,05 kN/m <sup>2</sup>
Total beban mati		= 2,62 kN/m <sup>2</sup>

## 2. Beban mati pelat atap

a. Mortar spesi	= $0,03 \text{ m} \times 21 \text{ kg/m}^3$	=	$0,63 \text{ kN/m}^2$
b. <i>Waterproof</i>	= $0,02 \text{ m} \times 2100 \text{ kg/m}^3$	=	$0,42 \text{ kN/m}^2$
c. <i>Plumbing</i> dan <i>electrical</i>	=	=	$0,3 \text{ kN/m}^2$
d. <i>Plafond</i>	= $9 \text{ kg/m}^2$	=	$0,09 \text{ kN/m}^2$
e. Rangka <i>plafond</i>	= $5 \text{ kg/m}^2$	=	$0,05 \text{ kN/m}^2$
Total beban mati		=	$1,49 \text{ kN/m}^2$

## 3. Berat dinding perimeter

Berat dinding perimeter dihitung dengan mempertimbangkan parameter-parameter antara lain berat batako per  $\text{m}^2$  dan bukaan dinding sesuai Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPURG) 1987, serta tinggi antar lantai.

$$\text{Berat batako} = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Bagian dinding yang tertutup} &= (100 - \text{bukaan})\% \\ &= (100 - 30)\% \\ &= 70\% \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah sisi yang diplester} = 2 \text{ sisi}$$

$$\text{Tebal plesteran} = 3 \text{ cm}$$

$$\text{berat per luasan pelsteran} = 21 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{a. Berat batako} = 4 \text{ m} \times 200 \text{ kg/m}^2 \times 70\% = 560 \text{ kg/m}$$

$$\text{b. Berat plesteran} = 4 \text{ m} \times 2 \times 3 \text{ cm} \times 21 \text{ kg/m}^3 = 352,8 \text{ kg/m}$$

$$\text{Total berat dinding perimeter} = 912,8 \text{ kg/m}$$

$$= 8,952 \text{ kN/m}$$

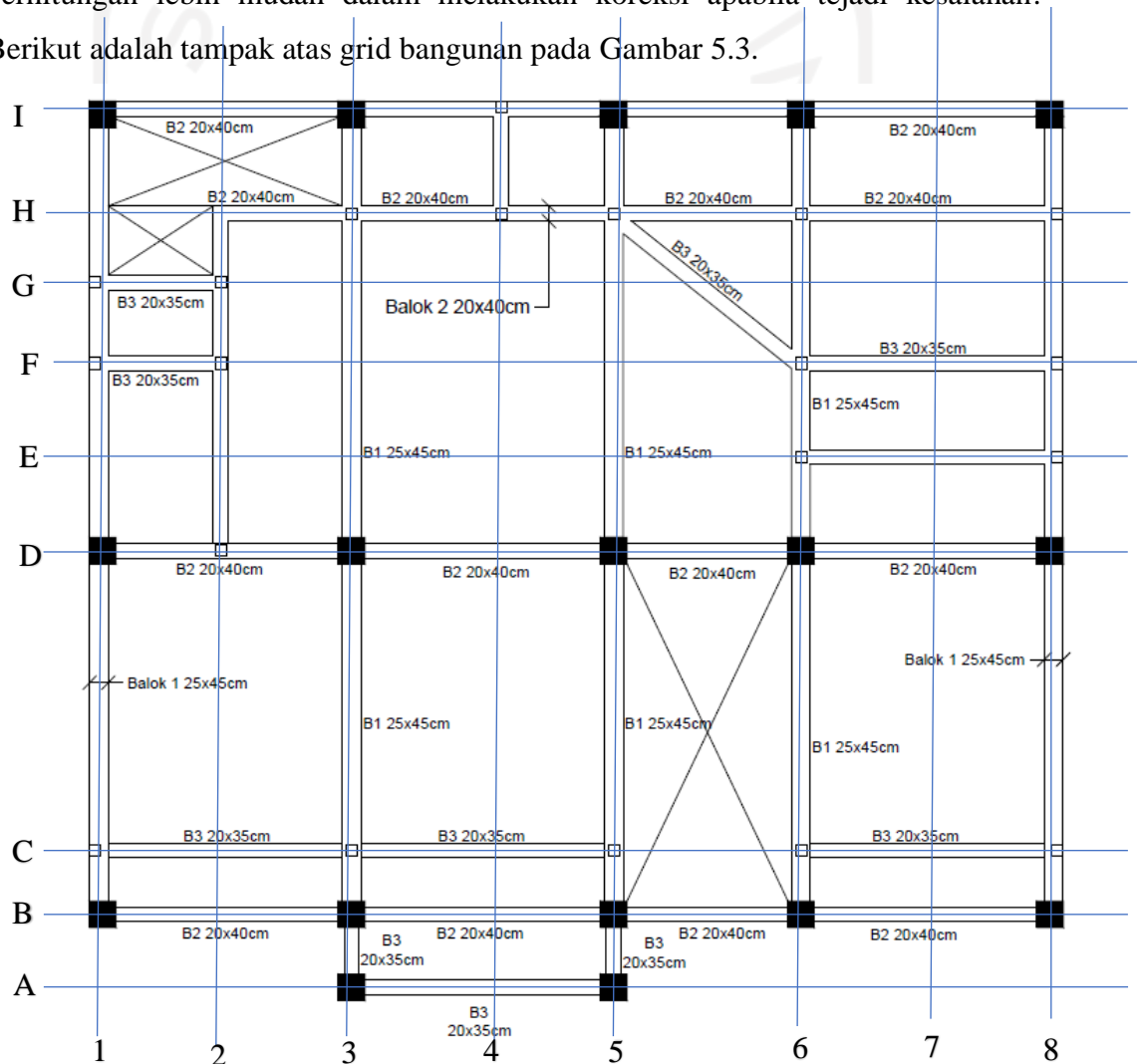
## 5.4.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang dihasilkan dari benda yang tidak termasuk ke dalam beban konstruksi dan/atau aktivitas pengguna yang bersifat tidak permanen. Pada penelitian ini, beban hidup yang digunakan berbeda-beda

sesuai dengan kegunaan struktur bangunan pada pedoman SNI-1727:2020. Bangunan ini memiliki kegunaan sebagai bangunan perkantoran, maka nilai beban hidup pelat lantai sebesar  $2,4 \text{ kN/m}^2$  dan nilai beban hidup pelat atap sebesar  $0,96 \text{ kN/m}^2$ .

### 5.5 Berat Bangunan Hasil Perhitungan dan *Output* SAP2000

Berat bangunan dihitung berdasarkan grid di tiap-tiap lantai, agar dalam perhitungan lebih mudah dalam melakukan koreksi apabila terjadi kesalahan. Berikut adalah tampak atas grid bangunan pada Gambar 5.3.



**Gambar 5.3 Pembagian Grid Satu Lantai**

Untuk perhitungan per grid tiap lantai dilakukan di masing-masing balok, kolom, pelat dan dinding disajikan pada Tabel 5.4 sampai Tabel 5.10.

**Tabel 5.4 Berat Balok Lantai 1**

Grid	Elemen	H (m)	B (m)	L (m)	Volume	$W = Vol \times 24$ kN/m <sup>3</sup> (kN)
1	B1	0,45	0,25	10,85	1,22063	29,295
2	B2	0,4	0,2	4,5	0,36	8,64
3	B3	0,35	0,2	1,15	0,0805	1,932
	B1	0,45	0,25	10,85	1,22063	29,295
4	B3	0,35	0,2	1,5	0,105	2,52
5	B3	0,35	0,2	1,15	0,0805	1,932
	B1	0,45	0,25	10,85	1,22063	29,295
6	B1	0,45	0,25	10,85	1,22063	29,295
7					0	0
8	B1	0,45	0,25	10,85	1,22063	29,295
A	B3	0,35	0,2	3,5	0,245	5,88
B	B2	0,4	0,2	13	1,04	24,96
C	B3	0,35	0,2	10,5	0,735	17,64
D	B2	0,4	0,2	13	1,04	24,96
E	B3	0,35	0,2	3,5	0,245	5,88
F	B3	0,35	0,2	5,25	0,3675	8,82
G	B3	0,35	0,2	1,75	0,1225	2,94
H	B2	0,4	0,2	11,25	0,9	21,6
	B3	0,35	0,2	3,20156	0,22411	5,378624
I	B2	0,4	0,2	13	1,04	24,96
Berat Balok Lantai 1						304,518



**Tabel 5.5 Berat Balok Lantai 2**

Grid	Elemen	H (m)	B (m)	L (m)	Volume	$W = Vol \times 24$ kN/m <sup>3</sup> (kN)
1	B1	0,45	0,25	10,85	1,2206	29,295
2	B2	0,4	0,2	4,5	0,36	8,64
3	B3	0,35	0,2	1,15	0,0805	1,932
	B1	0,45	0,25	10,85	1,2206	29,295
4	B3			1,5		0
5	B3	0,35	0,2	1,15	0,0805	1,932
	B1	0,45	0,25	10,85	1,2206	29,295
6	B1	0,45	0,25	10,85	1,2206	29,295
7					0	0
8	B1	0,45	0,25	10,85	1,2206	29,295
A	B3	0,35	0,2	3,5	0,245	5,88
B	B2	0,4	0,2	13	1,04	24,96
C	B3	0,35	0,2	10,5	0,49	11,76
D	B2	0,4	0,2	13	1,04	24,96
E						0
F	B3	0,35	0,2	5,25	0,3675	8,82
G	B3	0,35	0,2	1,75	0,1225	2,94
H	B2	0,4	0,2	11,25	0,62	14,88
	B3	0,35	0,2	3,20156	0,2241	5,3786
I	B2	0,4	0,2	13	1,04	24,96
Berat Balok Lantai 2						283,5

**Tabel 5.6 Berat Balok Lantai 3**

Grid	Elemen	H (m)	B (m)	L (m)	Volume	$W = Vol \times 24$ kN/m <sup>3</sup> (kN)
1	B1	0,45	0,25	10,85	1,22063	29,295
2	B2	0,4	0,2	9,35	0,748	17,952

Grid	Elemen	H (m)	B (m)	L (m)	Volume	$W = \text{Vol} \times 24$ kN/m <sup>3</sup> (kN)
3	B3	0,35	0,2	1,15	0,0805	1,932
	B1	0,45	0,25	10,85	1,22063	29,295
4	B3					0
5	B3	0,35	0,2	1,15	0,0805	1,932
	B1	0,45	0,25	10,85	1,22063	29,295
6	B1	0,45	0,25	10,85	1,22063	29,295
7	B2	0,4	0,2	9,35	0,748	17,952
8	B1	0,45	0,25	10,85	1,22063	29,295
A	B3	0,35	0,2	3,5	0,245	5,88
B	B2	0,4	0,2	13	1,04	24,96
C	B3	0,35	0,2	7	0,49	11,76
D	B2	0,4	0,2	13	1,04	24,96
E						0
F	B3	0,35	0,2	5,25	0,3675	8,82
G	B3	0,35	0,2	1,75	0,1225	2,94
H	B2	0,4	0,2	7,75	0,62	14,88
						0
I	B2	0,4	0,2	13	1,04	24,96
Berat Balok Lantai 3						305,4

Tabel 5.7 Berat Kolom per Lantai

Grid	Elemen	H (m)	B (m)	L (m)	Volume	$W = \text{Vol} \times 24$ kN/m <sup>3</sup> (kN)
1	K1	0,35	0,35	4	1,47	35,28
3	K1	0,35	0,35	4	1,47	35,28
	K2	0,15	0,15	4	0,09	2,16
5	K1	0,35	0,35	4	1,47	35,28
	K2	0,15	0,15	4	0,09	2,16

Grid	Elemen	H (m)	B (m)	L (m)	Volume	$W = \text{Vol} \times 24$ kN/m <sup>3</sup> (kN)
6	K1	0,35	0,35	4	0,98	23,52
	K2	0,15	0,15	4	0,09	2,16
8	K1	0,35	0,35	4	1,47	35,28
Berat kolom						171,12

Tabel 5.8 Perimeter Dinding

Grid	Elemen	L	Adead Load	W (kN)
1	Balok grid 1	10,85	9,12	98,952
3	Balok grid 3	6	9,12	54,720
6	Balok grid 6	10,5	9,12	95,760
8	Balok grid 8	10,85	9,12	98,952
B	Balok grid B	9,5	9,12	86,640
I	Balok grid I	13	9,12	118,56
Berat Pelat				553,584

Tabel 5.9 Berat Pelat tanpa Beban Mati Tambahan

Elemen Pelat	An (m <sup>2</sup> )	T (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	$W = \text{Vol} \times 24$ kN/m <sup>3</sup> (kN)
PL 1	145,045	0,12	17,4054	417,7296
PL 2	132,92	0,12	15,9504	382,8096
PL 3	132,92	0,12	15,9504	382,8096
PA	145,045	0,1	14,5045	348,108
Berat Pelat				1531,4568

Tabel 5.10 Berat Pelat dengan Beban Mati Tambahan

Elemen Pelat	An (m <sup>2</sup> )	T (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	$W = \text{Vol} \times 24$ kN/m <sup>3</sup> (kN)
PL 1	145,045	0,12	17,4054	417,7296
PL 2	132,92	0,12	15,9504	382,8096

Elemen Pelat	An (m <sup>2</sup> )	T (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	W = Vol × 24 kN/m <sup>3</sup> (kN)
PL 3	132,92	0,12	15,9504	382,8096
PA	145,045	0,1	14,5045	348,108
				1531,4568

### 5.5.1 Berat Bangunan tanpa Beban Mati Tambahan

Kemudian dilakukan rekapitulasi perhitungan berat masing-masing lantai sesuai dengan berat bangunan tanpa beban mati tambahan dan berat bangunan dengan beban mati tambahan. Perhitungan berat bangunan pada penelitian ini menggunakan Excel dengan menghitung berat pelat lantai, pelat atap, balok, dan kolom. Setelah penghitungan berat bangunan tiap lantai, kemudian dibandingkan dengan berat bangunan yang dihasilkan SAP2000. Hasil berat bangunan SAP2000 ditampilkan pada Gambar 5.4 dengan nilai yang ditampilkan di kolom F3 untuk berat bangunan. Berat bangunan tanpa beban mati tambahan sebesar 3251,625 kN, sedangkan untuk berat bangunan dengan beban mati tambahan sebesar 6300,208 kN.

	SectionCut Text	OutputCase	CaseType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN
▶	It0	DEAD	LinStatic	1,143E-11	7,725E-11	3251,625
	It0	ADEAD	LinStatic	4,826E-12	5,251E-11	3048,583
	It0	berat bangu...	Combination	1,625E-11	1,298E-10	6300,208
	It1	DEAD	LinStatic	7,299E-12	7,125E-11	2452,19
	It1	ADEAD	LinStatic	2,762E-12	4,893E-11	2230,827
	It1	berat bangu...	Combination	1,006E-11	1,202E-10	4683,017
	It2	DEAD	LinStatic	4,261E-12	5,806E-11	1649,695
	It2	ADEAD	LinStatic	1,457E-12	4,051E-11	1444,838
	It2	berat bangu...	Combination	5,718E-12	9,857E-11	3094,533
	It3	DEAD	LinStatic	3,118E-12	2,346E-11	816,642
	It3	ADEAD	LinStatic	1,506E-12	1,643E-11	663,434
	It3	berat bangu...	Combination	4,625E-12	3,989E-11	1480,076

**Gambar 5.4 Berat Bangunan SAP2000**

Perhitungan pada excel dilakukan dengan menghitung berat bangunan tanpa beban mati tambahan dan berat bangunan dengan beban mati tambahan. Setelah itu didapatkan hasil seperti yang disajikan pada Tabel 5.11.

**Tabel 5.11 Rekapitulasi Berat Bangunan tanpa Beban Mati Tambahan**

Berat Bangunan	
Lantai	W (kN)
1	893,3672
2	837,4472
3	859,3326
Atap	653,5110
Total	3243,6580
SAP	3251,625

Permeriksaan *error* pada nilai SAP2000 sebagai berikut.

$$error = \frac{3251,625 - 3243,6580}{3243,6580} \times 100\%$$

$$error = 0,246\%$$

Hasil berat bangunan (tanpa beban mati tambahan) di atas menunjukkan kesalahan untuk berat bangunan tanpa beban mati tambahan yang dilakukan pada SAP2000 sangat kecil yaitu sebesar 0,246%, sehingga dapat disimpulkan bahwa analisis menggunakan SAP2000 mendekati analisis dari perhitungan manual excel.

#### 5.5.2 Berat Bangunan dengan Beban Mati Tambahan

Selanjutnya berat bangunan yang telah ditambahkan beban mati tambahan dapat dilihat pada tabel Tabel 5.12.

**Tabel 5.12 Rekapitulasi Berat Bangunan dengan Beban Mati Tambahan**

Berat Bangunan	
Lantai	W (kN)
1	1826,96912
2	1739,28162
3	1761,167

Berat Bangunan	
Lantai	W (kN)
Atap	869,62805
Total	6197,0458
SAP	6300,208

$$error = \frac{6300,208 - 6197,0458}{6197,0458} \times 100\%$$

$$error = 1,665\%$$

Hasil pengecekan *error* berat bangunan dengan beban mati tambahan menunjukkan kesalahan yang dilakukan pada SAP2000 masih dapat diterima karena kurang dari 5%. Perbedaan hasil di atas disebabkan karena berat bangunan tanpa beban mati tambahan tidak memperhitungkan beban dinding dan beban mati tambahan pelat sedangkan berat bangunan dengan beban mati tambahan memasukkan beban dinding beban mati tambahan pada pelat.

## 5.6 Beban Gempa

Analisis untuk beban gempa telah ditetapkan dan diatur dalam pedoman SNI 1726:2019. Analisis respons spektrum dipilih sebagai analisis beban gempa. Analisis respons spektrum yang dihitung mengacu pada aturan SNI 1726:2019. Berikut adalah langkah-langkah dalam menganalisis beban gempa respons spektrum.

1. Klasifikasi situs  
Penentuan klasifikasi situs dilakukan berdasarkan kelas situs, profil tanah pada lapisan 30 m teratas, atau sifat-sifat tanah yang diestimasi oleh ahli geoteknik berdasarkan kondisi geoteknik lapangan. Penelitian yang ditinjau berada di kota Yogyakarta dengan tipe kelas situs *SD* (tanah sedang).
2. Parameter gerak tanah,  $S_S$  dan  $S_I$   
 $S_S$  dan  $S_I$  dapat diperoleh dengan 2 cara yaitu menggunakan peta parameter gerak tanah pada pedoman SNI 1726:2019 dan situs web [Desain Spektra Indonesia](#). Adapun penentuan nilai  $S_S$  dan  $S_I$  menggunakan peta parameter

gerak tanah pada SNI 1726:2019. Nilai  $S_S$  yang diperoleh sebesar 1,2 g dan nilai  $S_I$  sebesar 0,5 g.

3. Koefisien situs,  $F_a$  dan  $F_v$  masing-masing ditentukan ditentukan sebagai berikut.

- a.  $F_a$

Nilai  $S_S = 1,2$  g dengan kelas situs SD, maka penentuan nilai  $F_a$  dilakukan dengan interpolasi dari daftar koefisien situs  $F_a$  pada Tabel 3.5.

$$F_a = 1,1 + \left( \left( \frac{1,2 - 1}{1,25 - 1} \right) \times (1 - 1,1) \right)$$

$$F_a = 1,02$$

- b.  $F_v$

Nilai  $S_I = 0,5$  g dengan kelas situs SD, maka penentuan nilai  $F_v$  dilakukan dengan cara interpolasi dari daftar koefisien situs  $F_a$  pada Tabel 3.6.

$$F_v = 1,8 \times \left( \left( \frac{0,5 - 0,5}{0,6 - 0,5} \right) \right)$$

$$F_v = 1,8$$

Parameter percepatan respons spektral  $S_{MS}$  dan  $S_{MI}$  ditentukan sebagai berikut.

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

$$= 1,2 \times 1,02$$

$$= 1,224 \text{ g}$$

$$S_{MI} = S_I \times F_v$$

$$= 0,5 \times 1,8$$

$$= 0,9 \text{ g}$$

4. Parameter percepatan respons spektral,  $S_{DS}$  dan  $S_{DI}$  ditentukan sebagai berikut.

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

$$= \frac{2}{3} \times 1,224$$

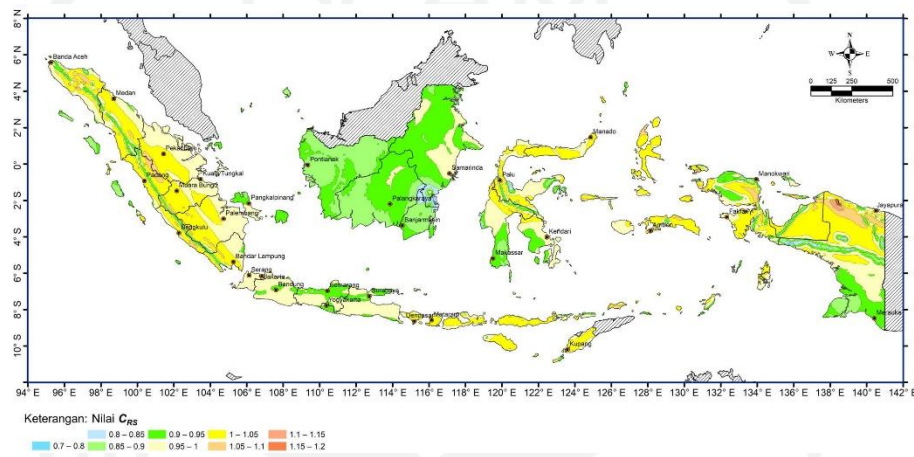
$$= 0,816 \text{ g}$$

$$\begin{aligned}
 S_{DI} &= \frac{2}{3} \times S_{M1} \\
 &= \frac{2}{3} \times 0,9 \\
 &= 0,6 \text{ g}
 \end{aligned}$$

5. Koefisien risiko terpetakan  $C_{RS}$  dan  $C_{RI}$  ditentukan sebagai berikut.

a.  $C_{RS}$

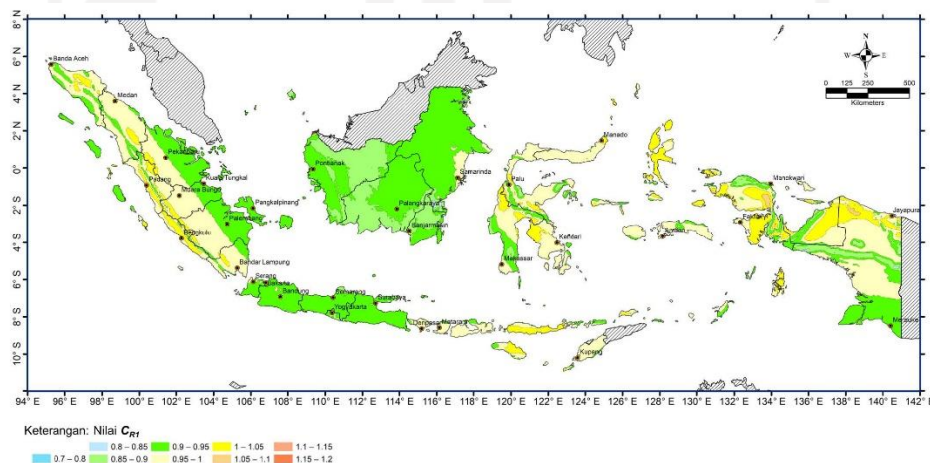
Berdasarkan peta  $C_{RS}$  pada Gambar 5.5, nilai  $C_{RS}$  diambil sebesar 0,95 g.



**Gambar 5.5 Koefisien Risiko Terpetakan, Periode 0,2 detik ( $C_{RS}$ )**

b.  $C_{RI}$

Nilai  $C_{RI}$  diambil sebesar 0,95 g. Peta  $C_{RI}$  dapat dilihat pada Gambar 5.6.



**Gambar 5.6 Koefisien Risiko Terpetakan, Periode 1 detik ( $C_{RI}$ )**

6. Faktor risiko terpetakan  $S_{DSR}$  dan  $S_{DIR}$  ditentukan sebagai berikut.

$$S_{DSR} = S_{DS} \times C_{RS}$$



$$\begin{aligned}
 &= 0,816 \times 0,95 \\
 &= 0,7752 \text{ g} \\
 S_{D1R} &= S_{D1} \times C_{R1} \\
 &= 0,6 \times 0,95 \\
 &= 0,57 \text{ g}
 \end{aligned}$$

7. Perhitungan spektrum respons desain mengacu dalam pedoman SNI 1726:2019 sebagai berikut.

- a. Nilai  $T_0$  dan  $T_S$

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 0,2 \times \frac{S_{D1R}}{S_{DSR}} \\
 &= 0,2 \times \frac{0,57}{0,7752} \\
 &= 0,1471 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_S &= \frac{S_{D1R}}{S_{DSR}} \\
 &= \frac{0,57}{0,7752} \\
 &= 0,735 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

- b. Nilai  $S_a$  untuk kondisi  $T < T_0$

$$\begin{aligned}
 S_a &= S_{DSR} \times \left( 0,4 + \left( 0,6 \times \frac{T}{T_0} \right) \right) \\
 &= 0,7752 \times \left( 0,4 + \left( 0,6 \times \frac{0}{0,1471} \right) \right) \\
 &= 0,31 \text{ g}
 \end{aligned}$$

- c. Nilai  $S_a$  untuk kondisi  $T = T_0$

$$\begin{aligned}
 S_a &= S_{DSR} \\
 &= 0,7752 \text{ g}
 \end{aligned}$$

- d. Nilai  $S_a$  untuk kondisi  $T > T_0$

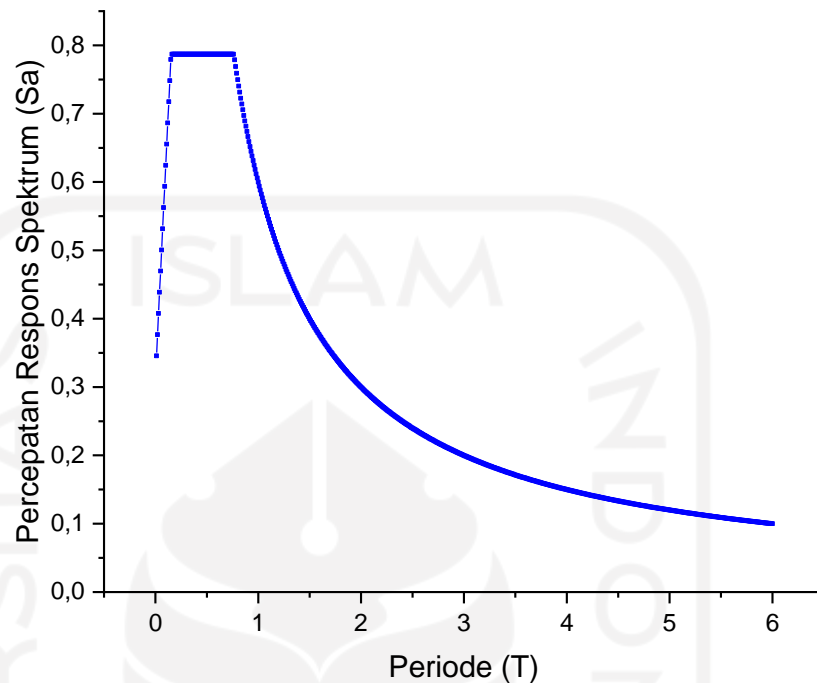
$$\begin{aligned}
 S_a &= \frac{S_{D1R}}{T} \\
 &= \frac{0,57}{0,8} \\
 &= 0,7125 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya ringkasan hasil perhitungan disajikan pada Tabel 5.13.

**Tabel 5.13 Spektrum Respons Desain**

$T$ (detik)	$S_a$	$T$ (detik)	$S_a$	$T$ (detik)	$S_a$
0,01	0,342	0,8	0,712	4,5	0,127
0,02	0,373	0,81	0,704	4,51	0,126
0,03	0,405	0,82	0,695	4,52	0,126
0,04	0,437	0,83	0,687	4,53	0,126
0,05	0,468	0,84	0,679	4,54	0,126
0,14	0,753	1	0,570	4,55	0,125
0,15	0,775	1,01	0,564	5,4	0,106
0,16	0,775	1,02	0,559	5,41	0,105
0,17	0,775	1,03	0,553	5,42	0,105
0,18	0,775	1,04	0,548	5,43	0,105
0,26	0,775	1,05	0,543	5,44	0,105
0,27	0,775	1,83	0,311	5,45	0,105
0,28	0,775	1,84	0,310	5,88	0,097
0,29	0,775	1,85	0,324	5,89	0,097
0,3	0,775	1,86	0,322	5,9	0,097
0,4	0,775	3	0,200	5,91	0,096
0,41	0,775	3,01	0,199	5,92	0,096
0,42	0,775	3,02	0,199	5,93	0,096
0,43	0,775	3,03	0,198	5,94	0,096
0,44	0,775	3,04	0,197	5,95	0,096
0,45	0,775	3,05	0,197	5,96	0,096
0,73	0,775	3,06	0,196	5,97	0,095
0,74	0,770	3,07	0,195	5,98	0,095
0,75	0,760	3,08	0,195	5,99	0,095
0,76	0,750	3,09	0,194	6	0,095

Berdasarkan data-data pada Tabel 5.13, kurva spektrum respons desain  $S_a$  versus  $T$  disajikan pada Gambar 5.7.



**Gambar 5.7 Grafik Spektrum Respons Desain**

8. Kategori desain seismik ditentukan sebagai berikut.

Sebelum menentukan kategori desain seismik, telah diketahui lebih dulu besarnya nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{DI}$  yang telah dihitung seperti pada point 4.

$$S_{DS} = 0,816$$

$$S_{DI} = 0,6$$

Berdasarkan hasil di atas, bangunan dengan nilai  $S_{DS}$  lebih dari 0,5, nilai  $S_{DI}$  lebih dari 0,2, dan kategori risiko II dapat digolongkan ke dalam bangunan dengan kategori desain seismik D.

9. Sistem pemikul beban seismik

Bangunan ini menggunakan sistem pemikul beban gempa seismik yaitu sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus dengan nilai faktor sebagai berikut.

$$R = 8$$

$$C_d = 5,5$$

$$\Omega_0 = 3$$

#### 10. Periode fundamental struktur

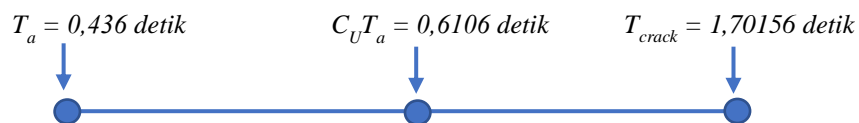
Nilai periode fundamental struktur ( $T$ ) ditentukan dengan menghitung terlebih dahulu periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) struktur menggunakan pedoman SNI 1726:2019. Analisis yang menggunakan cara SNI 1726:2019 dipengaruhi oleh tinggi total bangunan ( $h_n$ ) setinggi 12 m dan tipe struktur bangunan. Koefisien  $C_t$  untuk rangka beton pemikul momen sebesar 0,0466 dan koefisien  $x$  untuk rangka beton pemikul momen sebesar 0,9.

$$\begin{aligned} T_a &= C_t \times h_n^x \\ &= 0,0466 \times 12^{0,9} \\ &= 0,436 \text{ detik} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis program SAP2000, periode struktur ( $T_{crack}$ ) diperoleh sebesar 1,70156 detik. Adapun periode maksimum bangunan ( $T_{a \text{ maks}}$ ) ditentukan sebagai berikut (nilai  $C_U$  merujuk pada Tabel 3.10).

$$\begin{aligned} T_{a \text{ maks}} &= C_U \times T_a \\ &= 1,4 \times 0,436 \\ &= 0,6106 \text{ detik} \end{aligned}$$

Gambar 5.8 menunjukkan posisi nilai dari periode fundamental struktur ( $T_a$ ), periode maksimum bangunan ( $T_{a \text{ maks}}$ ), dan periode struktur dari SAP2000 ( $T_{crack}$ )



**Gambar 5.8 Perbandingan Nilai Periode Fundamental Struktur**

Berdasarkan syarat-syarat penentuan periode yang sudah dijelaskan pada sub-subbab 3.4.9,

1. Apabila  $T_c > C_u \times T_a$ , digunakan  $T = C_u \times T_a$
2. Apabila  $T_a < T_c < C_u \times T_a$ , digunakan  $T = T_c$
3. Apabila  $T_c < T_a$ , digunakan  $T = T_a$

periode fundamental struktur ( $T$ ) yang dipakai adalah 0,6106 detik.

#### 11. Partisipasi massa

Rasio partisipasi massa terdapat di pasal 7.9.1.1 SNI 1726:2019 yang menyebutkan bahwa analisis harus menyertakan ragam yang cukup agar mendapatkan ragam partisipasi massa yang terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Pada penelitian ini partisipasi massa mempunyai 116 ragam partisipasi massa. Apabila partisipasi massa belum mencapai 100% maka perlu ditambahkan mode pada analisis modalnya. Hasil partisipasi massa ragam dari program SAP2000 yang telah dijalankan dapat dilihat pada Tabel 5.14.

**Tabel 5.14 Partisipasi Massa Ragam**

Mode	SumUX	SumUY	Mode	SumUX	SumUY
1	0,00932	0,84703	59	0,99998	0,99987
2	0,83501	0,85912	60	0,99998	0,99987
3	0,87196	0,86244	61	0,99998	0,99987
4	0,87399	0,95727	62	0,99999	0,99989
5	0,9581	0,96	63	0,99999	0,99989
6	0,96256	0,96037	64	0,99999	0,99989
7	0,96972	0,98125	65	0,99999	0,99989
8	0,98972	0,98934	66	0,99999	0,99993
9	0,9913	0,98952	67	1	0,99993
10	0,99863	0,99014	68	1	0,99993
11	0,99923	0,99887	69	1	0,99996
12	0,99994	0,99889	70	1	0,99996

Mode	SumUX	SumUY	Mode	SumUX	SumUY
13	0,99994	0,99892	71	1	0,99996
14	0,99994	0,99894	72	1	0,99996
15	0,99994	0,99904	73	1	0,99996
16	0,99994	0,99905	74	1	0,99996
17	0,99994	0,99906	75	1	0,99997
18	0,99994	0,99913	76	1	0,99997
19	0,99994	0,99913	77	1	0,99997
20	0,99994	0,99929	78	1	0,99997
21	0,99994	0,99933	79	1	0,99997
22	0,99994	0,99935	80	1	0,99997
23	0,99995	0,99947	81	1	0,99997
24	0,99995	0,99947	82	1	0,99998
25	0,99995	0,99961	83	1	0,99998
26	0,99995	0,99961	84	1	0,99998
27	0,99995	0,99961	85	1	0,99998
28	0,99995	0,99962	86	1	0,99998
29	0,99995	0,99962	87	1	0,99999
30	0,99995	0,99962	88	1	0,99999
31	0,99995	0,99962	89	1	0,99999
32	0,99995	0,99965	90	1	0,99999
33	0,99996	0,9997	91	1	0,99999

Mode	SumUX	SumUY	Mode	SumUX	SumUY
34	0,99996	0,99997	92	1	0,99999
35	0,99996	0,99997	93	1	0,99999
36	0,99996	0,99997	94	1	0,99999
37	0,99996	0,99972	95	1	0,99999
38	0,99997	0,99973	96	1	0,99999
39	0,99997	0,99973	97	1	0,99999
40	0,99997	0,99973	98	1	0,99999
41	0,99997	0,99973	99	1	0,99999
42	0,99997	0,99974	100	1	0,99999
43	0,99997	0,99974	101	1	0,99999
44	0,99997	0,99976	102	1	0,99999
45	0,99997	0,9998	103	1	0,99999
46	0,99997	0,99982	104	1	0,99999
47	0,99997	0,99982	105	1	0,99999
48	0,99998	0,99983	106	1	0,99999
49	0,99998	0,99983	107	1	0,99999
50	0,99998	0,99983	108	1	0,99999
51	0,99998	0,99984	109	1	0,99999
52	0,99998	0,99984	110	1	0,99999
53	0,99998	0,99985	111	1	0,99999
54	0,99998	0,99985	112	1	0,99999

Mode	SumUX	SumUY	Mode	SumUX	SumUY
55	0,99998	0,99985	113	1	0,99999
56	0,99998	0,99987	114	1	0,99999
57	0,99998	0,99987	115	1	0,99999
58	0,99998	0,99987	116	1	1

## 12. Kombinasi ragam

Kombinasi ragam terbagi atas dua tipe, yaitu metode akar kuadrat jumlah kuadrat (*SRSS*) dan metode kombinasi kuadrat lengkap (*CQC*). Penelitian ini menggunakan kombinasi ragam dengan metode akar kuadrat jumlah kuadrat (*SRSS*). Hasil periode struktur akibat kombinasi ragam dari program SAP2000 yang dijalankan dapat dilihat pada Tabel 5.15.

**Tabel 5.15 Output Periode Struktur**

Mode	Period	Mode	Period	Mode	Period
1	1,701617	40	0,072515	79	0,046784
2	1,656114	41	0,071643	80	0,046207
3	1,415771	42	0,071402	81	0,045634
4	0,528438	43	0,070271	82	0,045333
5	0,516269	44	0,067855	83	0,044598
6	0,43877	45	0,067114	84	0,044164
7	0,288821	46	0,066779	85	0,043202
8	0,28605	47	0,066151	86	0,042672
9	0,241508	48	0,063414	87	0,042252
10	0,20385	49	0,062795	88	0,041419
11	0,20095	50	0,062583	89	0,040456
12	0,170381	51	0,061506	90	0,040293



<b>Mode</b>	<b>Period</b>	<b>Mode</b>	<b>Period</b>	<b>Mode</b>	<b>Period</b>
13	0,149752	52	0,060977	91	0,039833
14	0,146358	53	0,059974	92	0,039089
15	0,142785	54	0,05976	93	0,038806
16	0,140647	55	0,059041	94	0,037975
17	0,139919	56	0,057806	95	0,037823
18	0,137206	57	0,057294	96	0,037581
19	0,137037	58	0,056774	97	0,037541
20	0,127497	59	0,056344	98	0,03696
21	0,124789	60	0,055851	99	0,036446
22	0,118211	61	0,055191	100	0,036279
23	0,110932	62	0,054517	101	0,035602
24	0,107329	63	0,054428	102	0,03514
25	0,105867	64	0,054104	103	0,034306
26	0,104571	65	0,053719	104	0,033604
27	0,101108	66	0,052434	105	0,033273
28	0,098055	67	0,051824	106	0,033126
29	0,096308	68	0,051703	107	0,032701
30	0,095917	69	0,051137	108	0,032311
31	0,095571	70	0,050984	109	0,031145
32	0,093882	71	0,050722	110	0,031023
33	0,092022	72	0,050255	111	0,030224
34	0,087036	73	0,049564	112	0,029589
35	0,084238	74	0,048817	113	0,029431
36	0,08329	75	0,048411	114	0,028084
37	0,082361	76	0,048294	115	0,027912
38	0,081293	77	0,047399	116	0,02769

Mode	Period	Mode	Period	Mode	Period
39	0,079129	78	0,047149		

Perhitungan selisih nilai periode antar mode dapat dilihat sebagai berikut:

$$T_1 - T_2 = \left( \frac{1,701617 - 1,656114}{1,701617} \right) \times 100\%$$

$$= 2,674\%$$

$$T_2 - T_3 = \left( \frac{1,656114 - 1,415771}{1,656114} \right) \times 100\%$$

$$= 14,512\%$$

$$T_3 - T_4 = \left( \frac{1,415771 - 0,528438}{1,415771} \right) \times 100\%$$

$$= 62,675\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan selisih nilai periode antar mode, nilai pada mode 3 sebesar 62,675% > 15%, tetapi nilai selisih rata-rata antar mode masih berada di angka 3%. Hal tersebut membuktikan bahwa modal kombinasi yang dipakai sudah tepat yaitu kombinasi kuadrat lengkap (CQC).

## 5.7 Ketidakberaturan Horizontal

### 1. Pengaruh P-Delta

Pengecekan P-delta perlu dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh P-delta atau tidak. Oleh karena itu, pemeriksaan koefisien stabilitas ( $\theta$ ) dilakukan. Pengaruh P-delta dapat diabaikan jika koefisien stabilitas memiliki nilai di bawah nilai koefisien stabilitas maksimum. Hal tersebut mengindikasikan struktur bangunan sudah stabil. Pengecekan P-Delta dapat dilihat pada Tabel 5.16.

**Tabel 5.16 Pengecekan P-Delta**

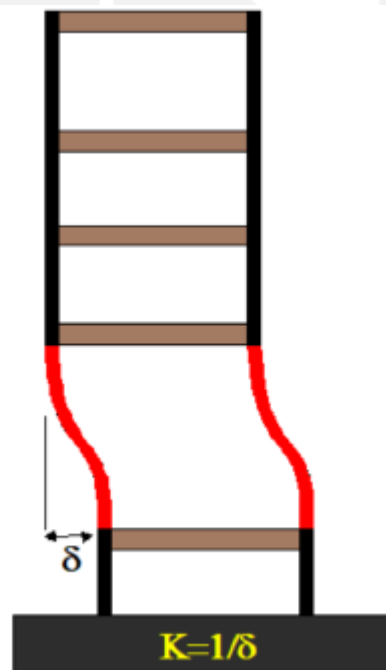
Lantai	$P_x$ (kN)	$V_x$ (kN)	$h_{sx}$ (m)	$\Delta$	$I_e$	$C_d$	$\theta$	$\theta_{maks}$	Cek
3	1619,348	99,576	4	0,0157	1	5,5	0,012	0,121	OK
2	3531,885	172,567	4	0,0276	1	5,5	0,026	0,121	OK

Lantai	$P_x$ (kN)	$V_x$ (kN)	$h_{sx}$ (m)	$\Delta$	$I_e$	$C_d$	$\theta$	$\theta_{maks}$	Cek
1	5422,649	224,546	4	0,0389	1	5,5	0,043	0,121	OK

## 5.8 Ketidakberaturan Vertikal

### 5.8.1 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a

Ketidakberaturan tipe 1a atau yang lebih dikenal kekakuan tingkat lunak merupakan efek simpangan yang terjadi akibat pemberian gaya yang diberikan pada struktur bangunan. Pada Gambar 5.9 ilustrasi dari ketidakberaturan vertikal 1a dan ketidakberaturan vertikal 1b.



**Gambar 5.9 Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b**

Gaya yang terjadi mendorong struktur bangunan sehingga menyebabkan simpangan antar tingkat. Ketidakberaturan ini dapat disebut kekakuan tingkat lunak apabila kekakuan lantai tersebut kurang dari 70% dari kekakuan di tingkat atasnya atau kekakuannya kurang dari 80% dari rata-rata kekakuan tiga tingkat di atasnya. Hasil dari ketidakberaturan tipe 1a untuk beban gempa arah X dan ketidakberaturan tipe 1a untuk beban gempa arah Y disajikan Tabel 5.17.

**Tabel 5.17 Ketidakberaturan Tipe 1a Beban Gempa Arah X**

Lantai	Fx	Akumulatif	U1	$\Delta_i$	k	Cek		Cek	
						70%	status	80%	status
m	kN	Vx (kN)	mm	mm	kN/mm				
4 (atap)	1	1	0,371	0,063	15,823	0	Regular	0	Regular
3	1	2	0,308	0,113	17,704	11,076	Regular	12,658	Regular
2	1	3	0,195	0,145	20,667	12,392	Regular	13,410	Regular
1	1	4	0,050	0,050	80,045	14,467	Regular	14,451	Regular
0	0	0	0	0	0	0	-	0	-

**Tabel 5.18 Ketidakberaturan Tipe 1a Beban Gempa Arah Y**

Lantai	Fx	Akumulatif	U2	$\Delta_i$	k	Cek		Cek	
						70%	status	80%	status
m	kN	Vx (kN)	mm	mm	kN/mm				
4 (atap)	1	1	0,406	0,076	13,082	0,000	Regular	0,000	Regular
3	1	2	0,329	0,125	16,050	9,157	Regular	10,465	Regular
2	1	3	0,204	0,153	19,620	11,235	Regular	11,653	Regular
1	1	4	0,052	0,052	77,592	13,734	Regular	13,001	Regular
0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000	-	0,000	-

### 5.8.2 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1b

Ketidakberaturan tipe 1b ini sama seperti ketidakberaturan 1a, hanya saja untuk tipe 1b ini memiliki kekakuan tingkat lunak berlebihan. Simpangan yang terjadi lebih besar dibanding ketidakberaturan tipe 1a, karena penggunaan kolom yang langsing serta panjang, sehingga menyebabkan kekakuan tingkat lunak berlebihan pada kolom tersebut. Hasil dari ketidakberaturan vertikal tipe 1b untuk beban gempa arah X dan beban gempa arah Y disajikan dalam Tabel 5.19 dan Tabel 5.20.

**Tabel 5.19 Tabel Ketidakberaturan Tipe 1b Beban Gempa Arah X**

Lantai	Fx	Akumulatif	U1	$\Delta_i$	k	Cek		Cek	
						60%	status	70%	status
m	kN	Vx (kN)	mm	mm	kN/mm				
4 (atap)	1	1	0,371	0,063	15,823	0	Regular	0	Regular

3	1	2	0,308	0,113	17,704	9,493	Regular	11,076	Regular
2	1	3	0,195	0,145	20,667	10,622	Regular	11,734	Regular
1	1	4	0,050	0,050	80,045	12,400	Regular	12,645	Regular
0	0	0	0	0	0	0	-	0	-

**Tabel 5.20 Ketidakberaturan Tipe 1b Beban Gempa Arah Y**

Lantai	Fx	Akumulatif	U1	$\Delta i$	k	Cek		Cek	
						60%	status	70%	status
m	kN	Vx (kN)	mm	mm	kN/mm				
4 (atap)	1	1	0,371	0,063	15,823	0,000	Regular	0,000	Regular
3	1	2	0,308	0,113	17,704	7,849	Regular	9,157	Regular
2	1	3	0,195	0,145	20,667	9,630	Regular	10,196	Regular
1	1	4	0,050	0,050	80,045	11,772	Regular	11,375	Regular
0	0	0	0	0	0	0	-	0	-

Dari hasil ketidakberaturan di atas maka dapat disimpulkan bahwa pada tipe 1a dan 1b tidak terjadi ketidakberaturan tingkat lunak dan tingkat lunak berlebihan pada struktur bangunan dengan gempa arah X dan gempa arah Y.

## 5.9 Base Shear

1. Koefisien respons seismik ( $C_s$ )

Perhitungan nilai  $C_s$

$$\begin{aligned}
 C_{s1} &= \frac{S_{DSR}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,8283}{\left(\frac{8}{1}\right)} \\
 &= 0,1035 \\
 C_{s2} &= \frac{S_{D1}}{T \times \left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,6313}{0,6106 \times \left(\frac{8}{1}\right)} \\
 &= 0,1292 \\
 C_{S \min} &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e \\
 &= 0,044 \times 0,8283 \times 1 \\
 &= 0,0364
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai  $C_{S \text{ pakai}}$  adalah sebesar 0,1035.

2. Berat seismik efektif

Berat seismik efektif diambil dari hasil *output* SAP2000 yaitu sebesar 6300,208 kN. Tampilan dari *output* tersebut dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.**

	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN
▶	DEAD	LinStatic		1,143E-11	7,725E-11	3251,625
	ADEAD	LinStatic		4,826E-12	5,251E-11	3048,583
	Ex RS	LinRespSpec	Max	260,451	11,231	0,389
	Ey RS	LinRespSpec	Max	11,231	259,026	2,943
	berat bangu...	Combination		1,625E-11	1,298E-10	6300,208

**Gambar 5.10 Berat Bangunan Software SAP2000**

3. Gaya geser dasar (*base shear*) beban statik dapat dihitung sebagai berikut.

$$W = 6300,208 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V &= C_S \times W_{\text{total bangunan}} \\
 &= 0,1035 \times 6300,208 \\
 &= 652,3 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4. Gaya geser dasar respons spektrum

Faktor skala awal respons spektrum dihitung dengan cara

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor skala RS} &= \frac{I_e}{R} \times 9,81 \\
 &= \frac{1}{8} \times 9,81 \\
 &= 1,2263
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{FS}_x &= \frac{V}{V_{i,x}} \\
 &= \frac{652,3}{260,451} \\
 &= 2,5045
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{FS}_y &= \frac{V}{V_{i,y}} \\
 &= \frac{652,3}{259,026} \\
 &= 2,5183
 \end{aligned}$$

Kemudian dihitung FS yang akan dimasukkan ke dalam SAP2000

$$\begin{aligned}
 \text{FS}_x \text{ input} &= \text{FS}_x \times \text{FS}_{\text{awal}} \\
 &= 2,5045 \times 1,2263 \\
 &= 3,0712
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{FS}_y \text{ input} &= \text{FS}_y \times \text{FS}_{\text{awal}} \\
 &= 2,5183 \times 1,2263 \\
 &= 3,0881
 \end{aligned}$$

Hasil dari  $\text{FS}_x$  input dan  $\text{FS}_y$  input dimasukkan ke dalam *scale factor* beban gempa respon spektrum arah X dan arah Y di SAP2000, setelah itu running SAP2000 untuk mendapatkan hasil gaya geser dasar respons spektrum ( $V_i$ ) yang terbaru.

Ringkasan hasil perhitungan gaya geser dasar respons spektrum dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.**

**Tabel 5.21 Gaya Geser Dasar Respons Spektrum**

<b>Gaya Gempa Respons Spektrum</b>	$V_t$	$100\% \times V_{statik}$	<b>Faktor Skala</b>	<b>Faktor Skala Input</b>	$V_t$ SAP
Ex	260,451	652,3	2,5045	3,0712	652,3
Ey	259,026	652,3	2,5183	3,0881	652,3

Pada pasal 7.9.1.4.1 untuk penskalaan gaya dikatakan bahwa apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam ( $V_t$ ) kurang dari 100% dari gaya geser ( $V$ ) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan  $V/V_t$ . Dari hasil  $V_t$  SAP yang didapat sebesar 652,3 kN sama dengan 100% dari  $V_{statik}$  sebesar 652,3 kN. Hal ini menunjukkan jika penskalaan gaya yang dilakukan sudah berhasil.

### 5.10 Simpangan antar Lantai

Pada pasal 7.12.1 SNI 1726:2019 dijelaskan bahwa simpangan antar lantai desain tidak boleh melebihi simpangan antar lantai izin. Nilai displacement dari pusat massa bangunan diperlukan dalam melakukan perhitungan. Perhitungan untuk simpangan antar lantai dapat dihitung sebagai berikut.

$$U_1 = 0,03986$$

$$FS = 0,542789$$

$$\frac{C_d}{I_e} = \frac{5,5}{1}$$

$$= 5,5$$

$$U_1 = 0,03986 \times 0,542789 \times 5,5$$

$$= 0,119 \text{ m}$$

$$\Delta = 0,119 - 0,103$$

$$= 0,0157 \text{ m}$$

$$h_{sx} = 4 \text{ m}$$

$$\Delta a = 0,02 \times h_{sx}$$

$$= 0,02 \times 4$$

$$= 0,08 \text{ m}$$



Hasil rekapitulasi nilai simpangan antar lantai izin akibat beban gempa arah X dan simpangan antar lantai izin akibat beban gempa arah Y disajikan pada Tabel 5.22 dan Tabel 5.23.

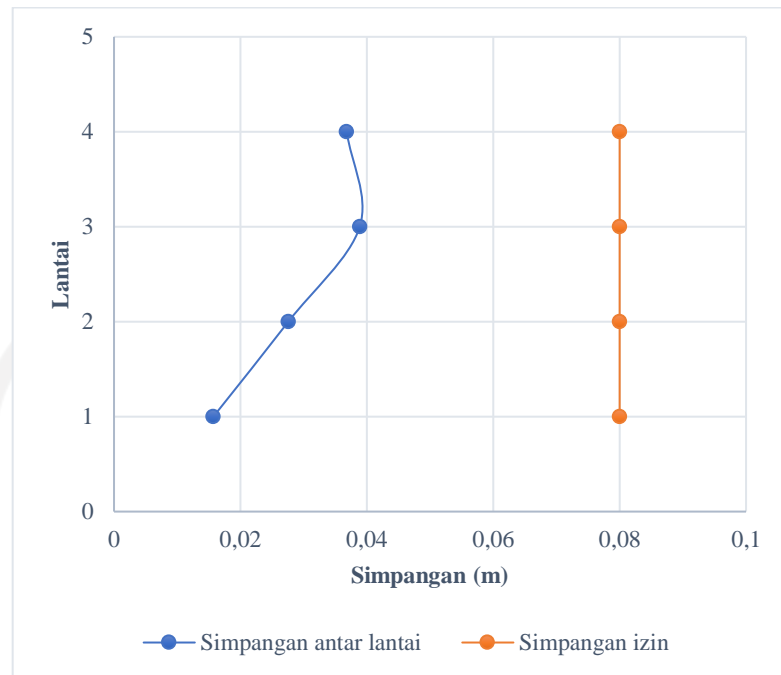
**Tabel 5.22 Simpangan antar Lantai Gempa Arah X**

Lantai	U1	FS	Cd/I	U1	$\Delta$	hsx	$\Delta a$
	m			m	m	m	m
1	0,03986	0,542789	5,5	0,118996	0,015718	4	0,08
2	0,034595	0,542789	5,5	0,103278	0,027582	4	0,08
3	0,025356	0,542789	5,5	0,075696	0,038872	4	0,08
atap	0,012335	0,542789	5,5	0,036824	0,036824	4	0,08

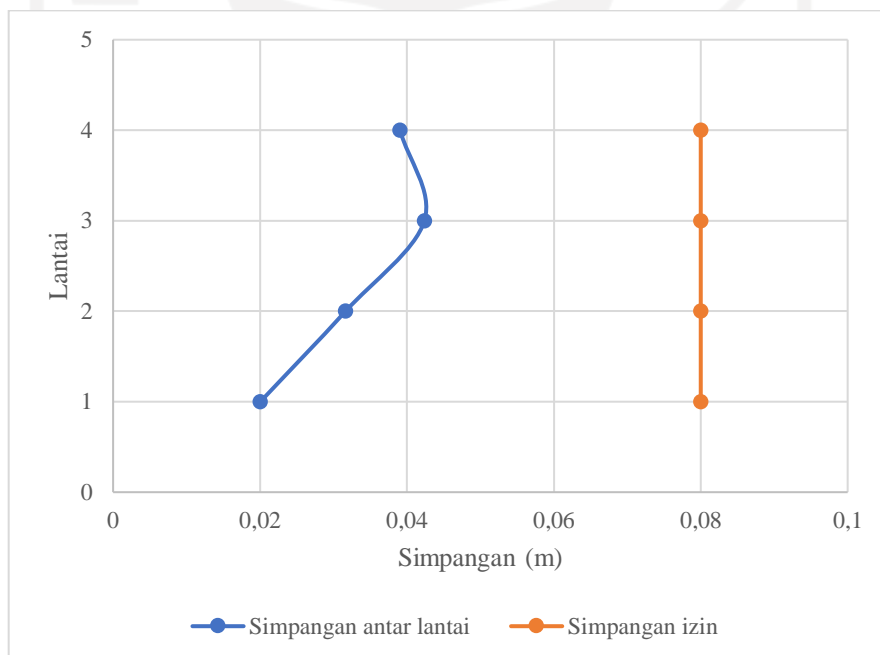
**Tabel 5.23 Simpangan antar Lantai Gempa Arah Y**

Lantai	U2	FS	Cd/I	U2	$\Delta$	hsx	$\Delta a$
	m			m	m	m	m
1	0,04272	0,566563	5,5	0,133132	0,020049	4	0,08
2	0,03629	0,566563	5,5	0,113083	0,03165	4	0,08
3	0,02613	0,566563	5,5	0,081433	0,042373	4	0,08
atap	0,01253	0,566563	5,5	0,039060	0,039060	4	0,08

Hasil dari nilai simpangan antar lantai telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 dimana simpangan antar tingkat desain tidak boleh melebihi batas simpangan antar lantai izin. Grafik perbandingan antara simpangan antar tingkat desain dengan simpangan antar lantai izin dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12.



**Gambar 5.11 Simpangan antar Lantai dan Simpangan antar Lantai Izin Gempa Arah X**



**Gambar 5.12 Simpangan antar Lantai dan Simpangan antar Lantai Izin Gempa Arah Y**

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dari analisis respons spektrum yang dilakukan, kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut:

1. Berat bangunan untuk perhitungan manual tanpa beban mati tambahan sebesar 3243,6580 kN dan berat bangunan dari *output* SAP2000 tanpa beban mati tambahan sebesar 3251,625 kN. Nilai *error* yang dihasilkan 0,246%.  
Berat bangunan untuk perhitungan manual dengan memakai beban mati tambahan sebesar 6197,0458 kN dan berat bangunan dari *output* SAP2000 dengan beban mati tambahan sebesar 6300,208 kN. Nilai *error* yang dihasilkan 1,665%.
2. Nilai *base shear* statik yang dihasilkan pada saat faktor skala yang dipakai 1,2263 yaitu sebesar 652,3 kN lebih besar dari nilai *base shear* dinamik dari SAP2000 sebesar 260,451 kN pada gempa arah X dan 259,026 kN pada gempa arah Y.
3. Simpangan antar lantai yang terbesar terdapat pada lantai 1 dengan beban gempa arah Y sebesar 0,042373 m. Secara umum simpangan antar lantai pada semua lantai masih dalam batas izin.

#### **6.2 Saran**

Beberapa saran yang diberikan sebagai pengembangan dari penelitian ini, sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya dapat melakukan analisis pada bangunan dengan struktur bertingkat banyak sehingga mempunyai beragam parameter untuk dianalisis.
2. Menggunakan metode *time history* dalam melakukan analisis.
3. Bangunan yang ditinjau mempunyai variasi seperti dinding geser, perletakan *set-back*, adanya penempatan bresing.

4. Membandingkan antara analisis struktur bangunan tanpa mempertimbangkan faktor fleksibilitas fondasi dengan struktur bangunan yang menggunakan faktor fleksibilitas fondasi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung*. SNI 1726:2012. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional .2013. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. SNI 1727:2013. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. SNI 2847-2019. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. SNI 1727:2020. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Bayyinah, DA.dan Faimun. 2017. Studi Perbandingan Analisis dan *Time History* untuk Desain Gedung. *Jurnal*. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Khoirunnisa, U. dkk. 2020. Analisis Dinamik Respon Struktur Gedung Beraturan dan Ketidakberaturan Horizontal. *Jurnal*. Politeknik Negeri Jakarta, Jakarta.
- Muto, K. 1963. *Analisis Perancangan Gedung Tahan Gempa*. Terjemahan oleh Wira. 1990. Erlangga. Jakarta.
- Pawirodikmoro, W. 2016. *Analisis Dinamik Struktur*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Pawirodikmoro, W. 2012. *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Pratiwi, G.A. dan Widodo. 2017. Analisis dan Desain Struktur Beton Bertingkat Banyak Berdasarkan Perbandingan Respons Spektrum dan Dinamik Riwayat Waktu. *Teknisia* Vol.XXII No.1:281-293. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Purnomo, E., dkk. 2014. Analisis Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan *Software* ETABS. *Matriks Teknik Sipil* Vol.2 No.4: 569-576. Universitas Sebelas Maret, Solo.

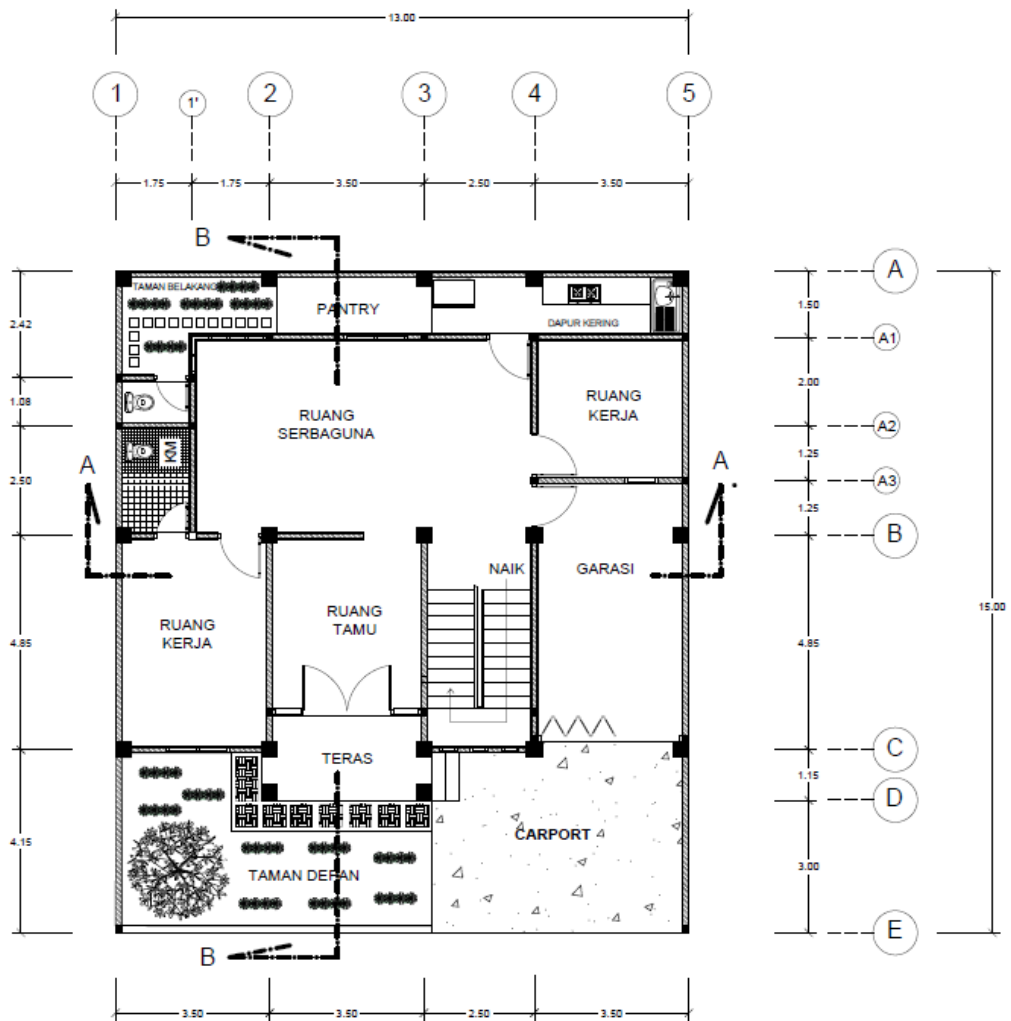
- Tarigan, M. dan Teruna, D.R. 2014. Perbandingan Respon Struktur Beraturan dan Ketidakberaturan Horizontal Sudut Dalam Akibat Gempa dengan Menggunakan Analisis Statik Ekuivalen dan *Time History*. *Jurnal Teknik Sipil* Vol.3 No.1:1-10. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Wahyuningtyas, W. T., dkk. 2020. Analisis Ketahanan Gedung Apartemen Surabaya dengan Menggunakan Metode Respons Spektrum. *Berkala Sainstek* VIII (4):132-139. Universitas Jember, Jember.





# LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar IMB Bangunan

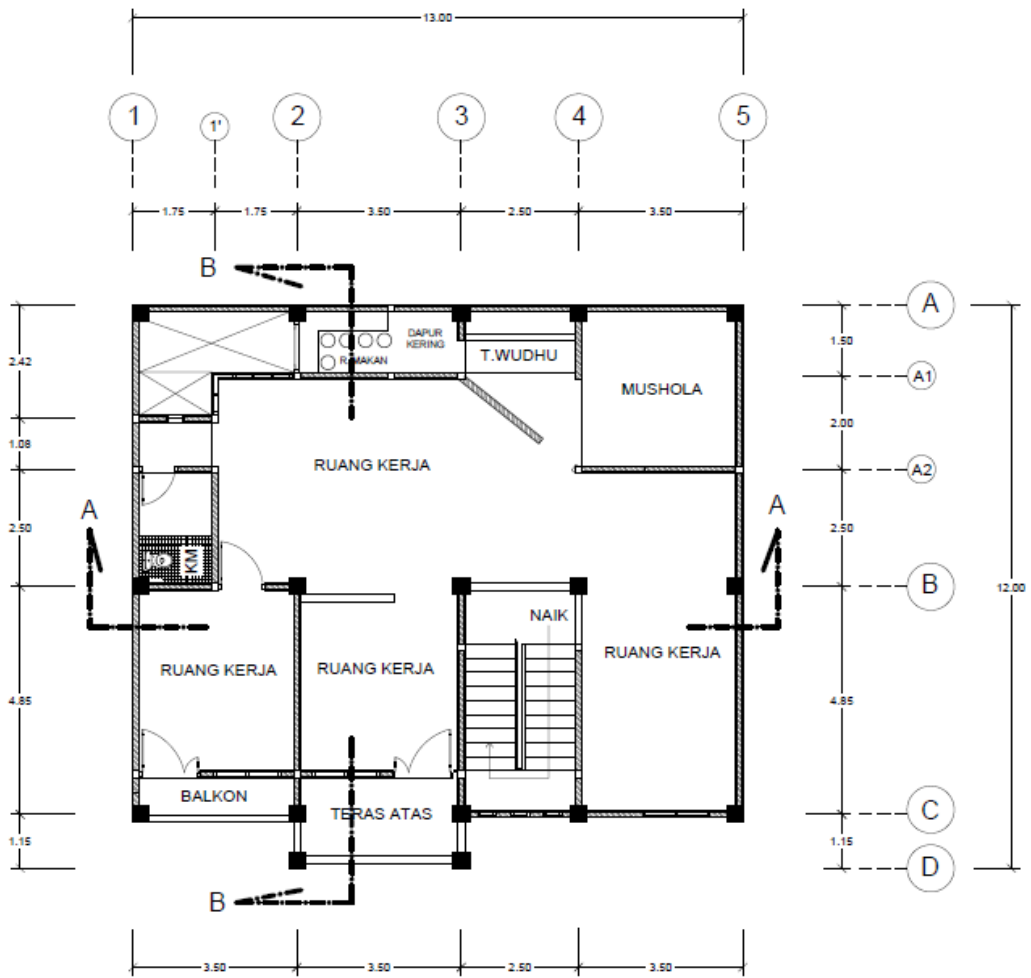


DENAH LANTAI 1

SKALA 1 : 100

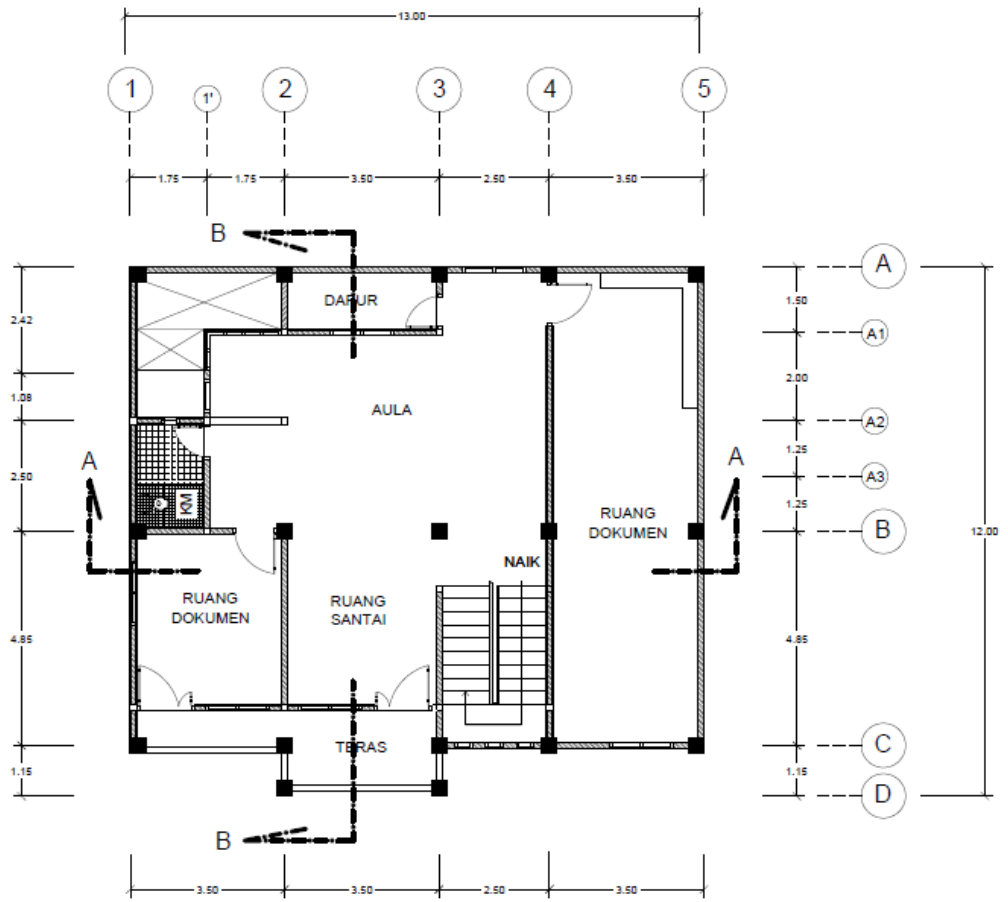






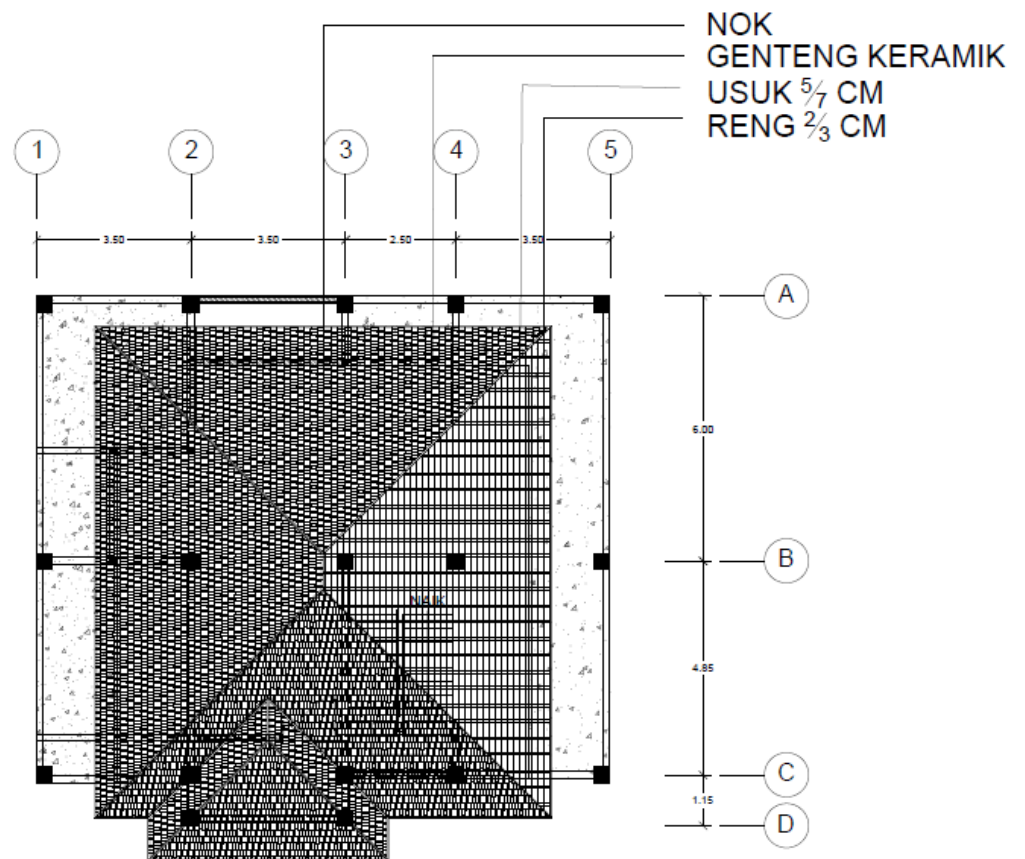
**DENAH LANTAI 2**  
SKALA 1 : 100

الجمعة الإسلامية الابتدائية



**DENAH LANTAI 3**  
SKALA 1 : 100





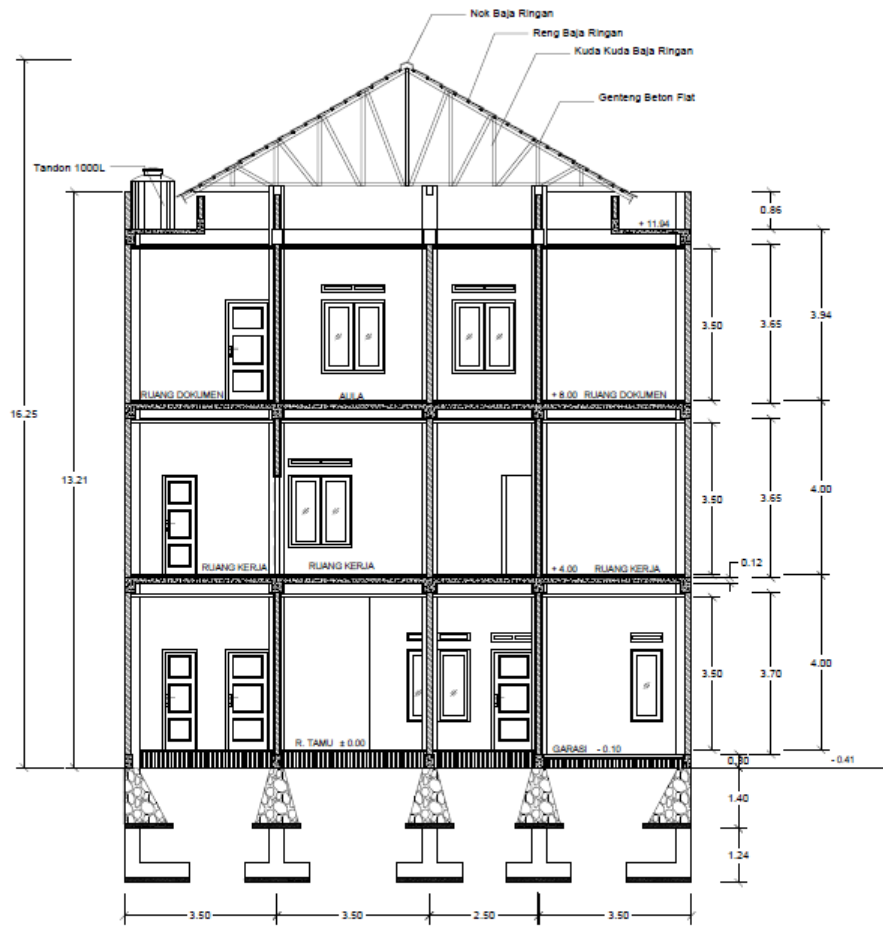
RENCANA ATAP  
 (ATAP DAN DAG TALANG)  
 SKALA 1 : 100

الجمعية الإسلامية  
 الابتدائية  
 الباندو



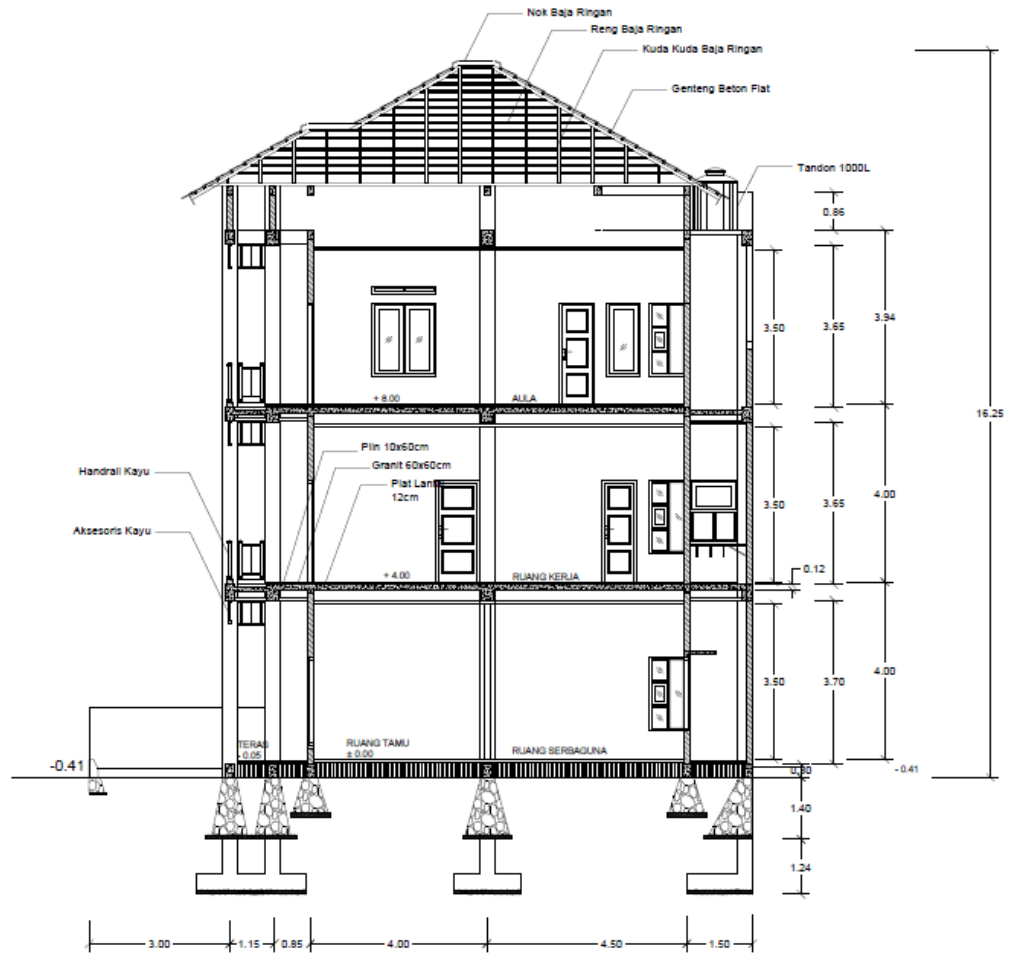
 **TAMPAK DEPAN**  
SKALA 1 : 100

اجتازت دارالاندو



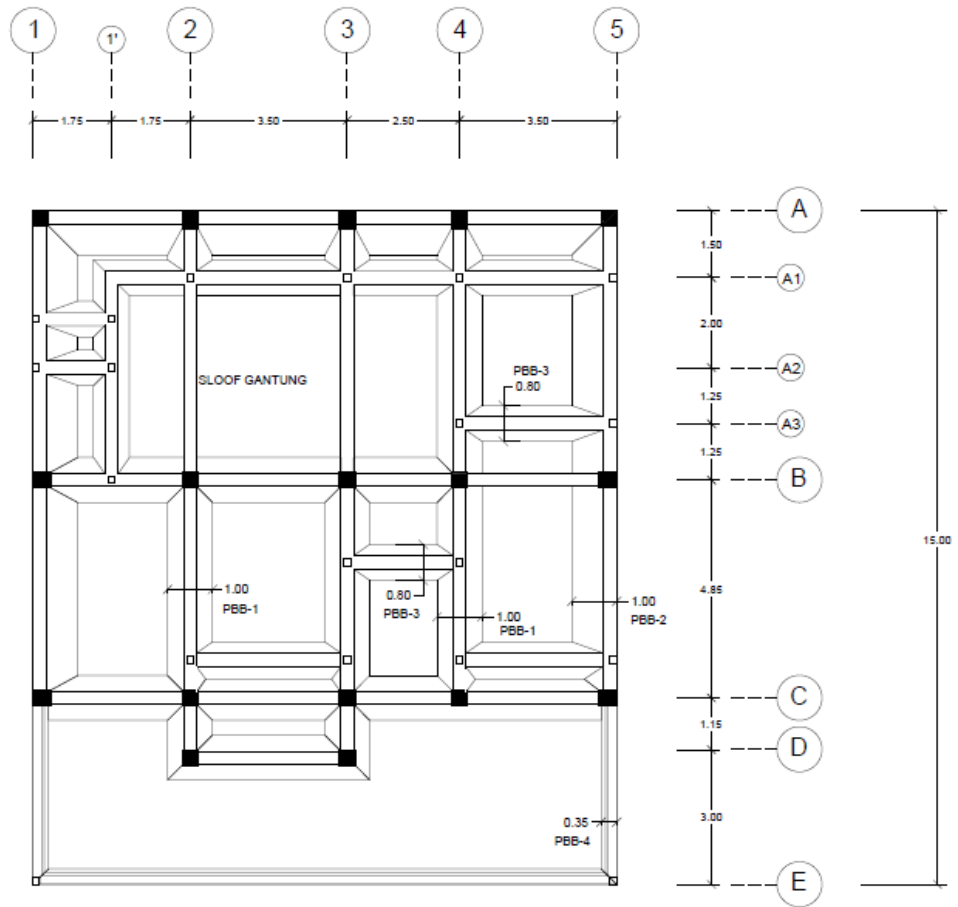
POTONGAN A-A'  
SKALA 1 : 100

الجمهورية الإسلامية اندونيسية



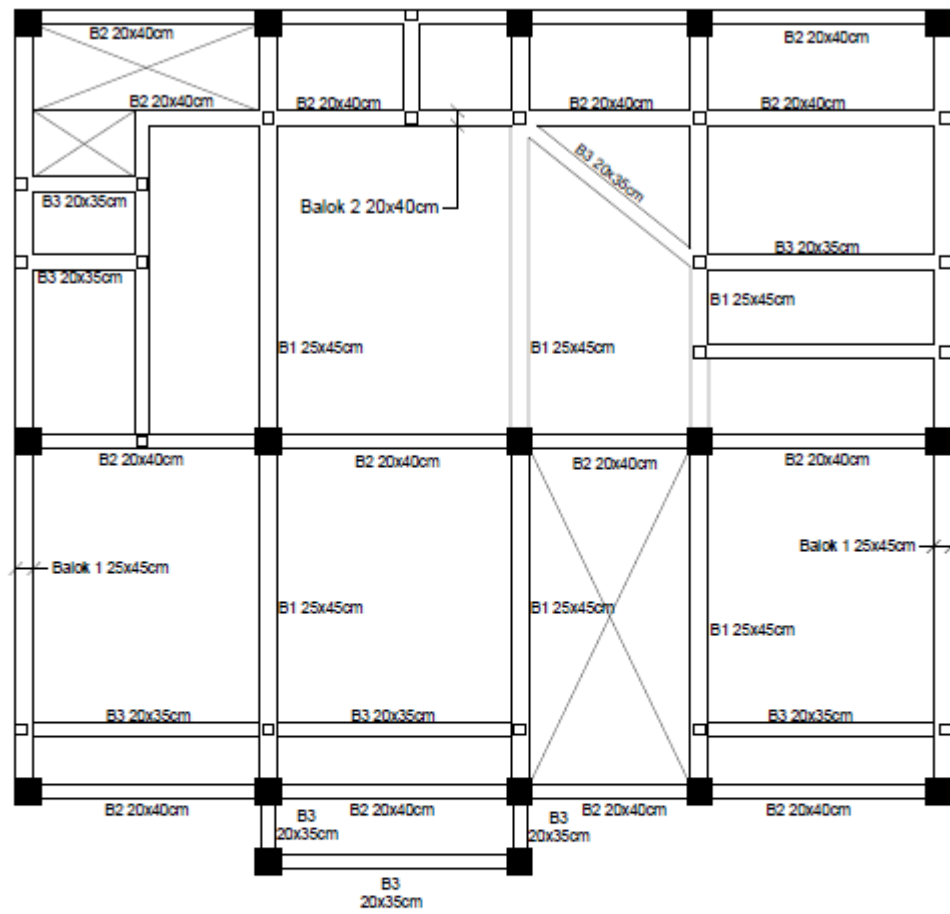
POTONGAN B-B'  
SKALA 1 : 100





 **DENAH SLOOF**  
SKALA 1 : 100



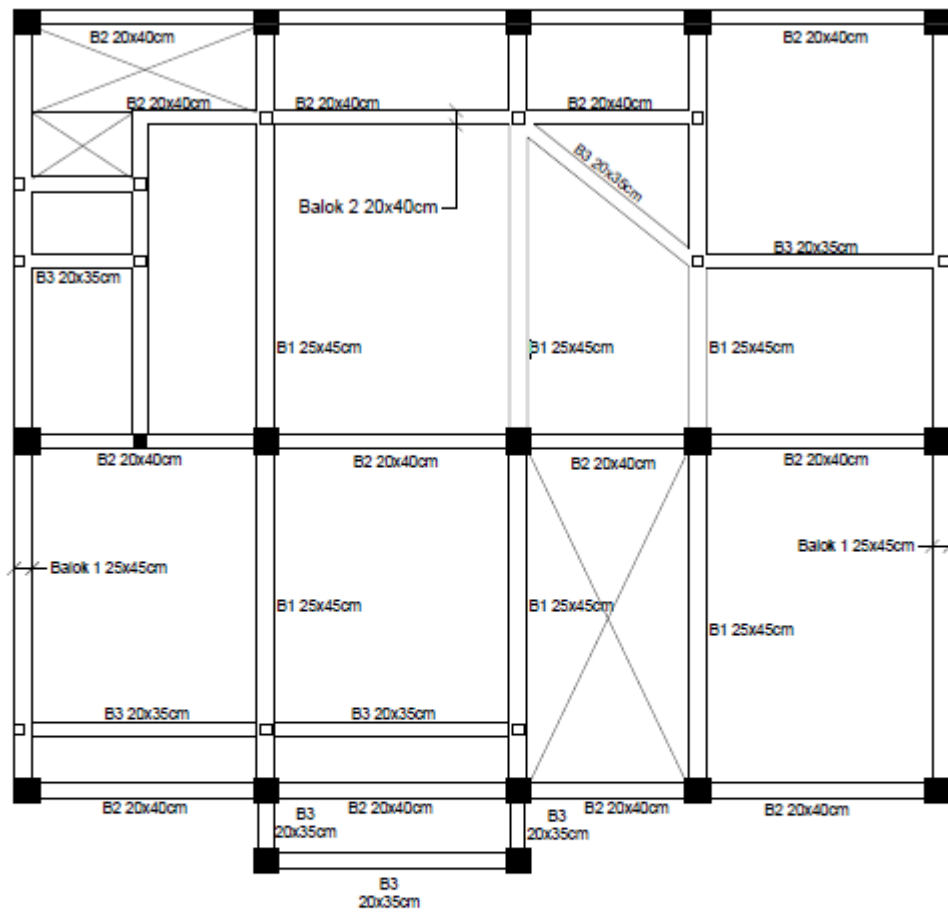


## RENCANA BALOK el (+3.94)

SKALA 1 : 100

اجتازت در این زمینه

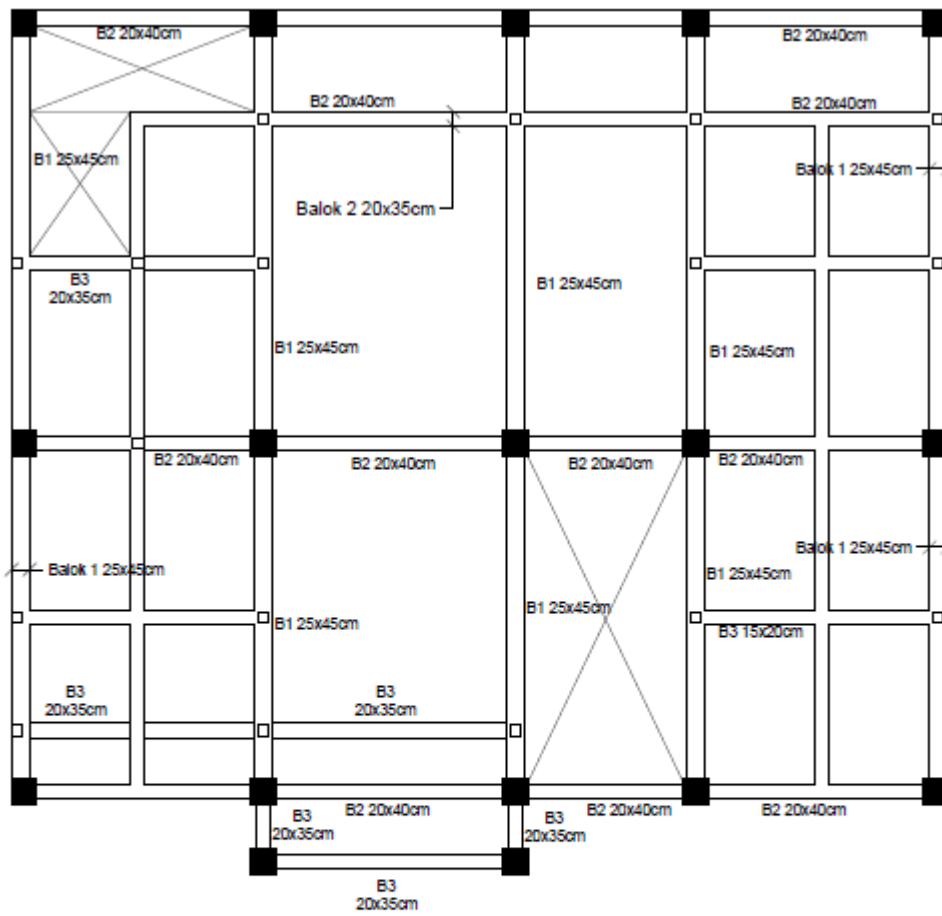




## RENCANA BALOK e1 (+7.94)

SKALA 1 : 100

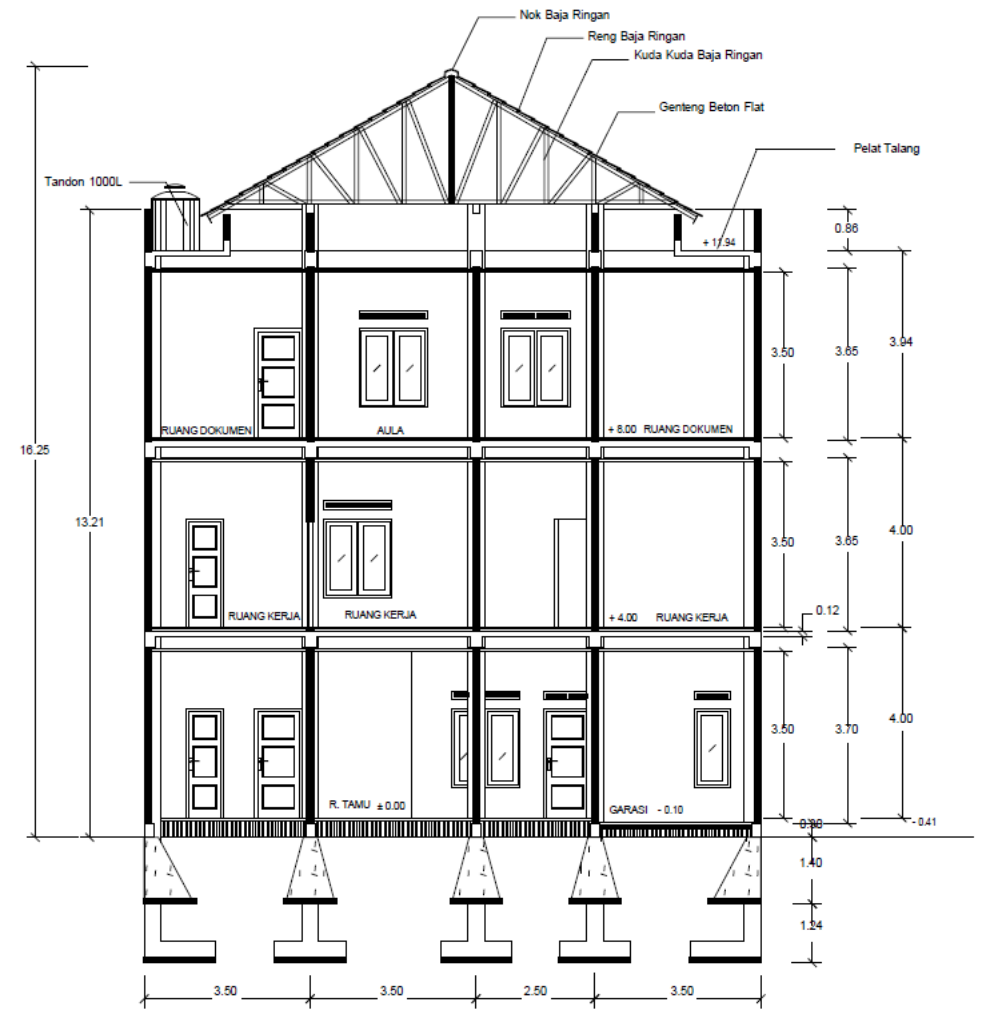
الجامعة الإسلامية

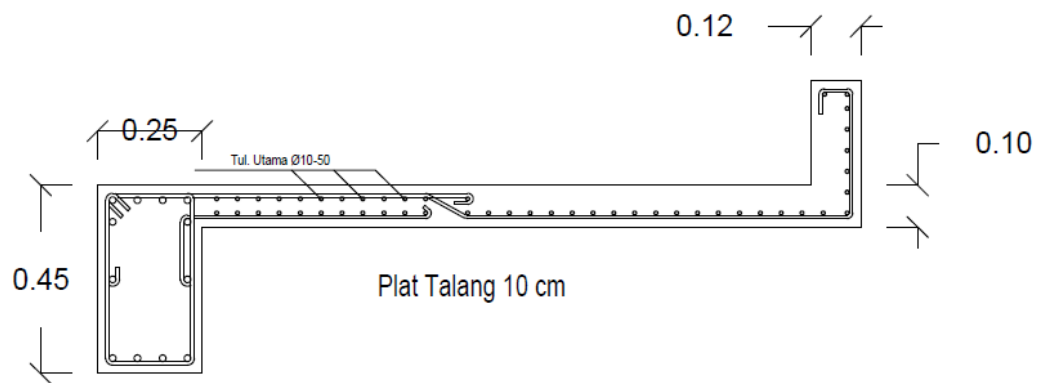


## RENCANA BALOK e1 (+11.94)

SKALA 1 : 100

اجتازہ سائنس





## Lampiran 2 Berat Bangunan

TABLE: Section Cut Forces - Analysis					
SectionCut	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3
Text	Text	Text	KN	KN	KN
lt0	DEAD	LinStatic	1,14E-11	7,73E-11	3251,625
lt0	ADEAD	LinStatic	4,83E-12	5,25E-11	3048,583
lt0	berat bangu	Combinati	1,63E-11	1,3E-10	6300,208
lt1	DEAD	LinStatic	7,3E-12	7,13E-11	2452,19
lt1	ADEAD	LinStatic	2,76E-12	4,89E-11	2230,827
lt1	berat bangu	Combinati	1,01E-11	1,2E-10	4683,017
lt2	DEAD	LinStatic	4,26E-12	5,81E-11	1649,695
lt2	ADEAD	LinStatic	1,46E-12	4,05E-11	1444,838
lt2	berat bangu	Combinati	5,72E-12	9,86E-11	3094,533
lt3	DEAD	LinStatic	3,12E-12	2,35E-11	816,642
lt3	ADEAD	LinStatic	1,51E-12	1,64E-11	663,434
lt3	berat bangu	Combinati	4,63E-12	3,99E-11	1480,076



### Gaya Geser Dasar Arah X dan Arah Y

TABLE: Section Cut Forces - Analysis						
SectionCut	OutputCase	CaseType	StepType	F1	F2	F3
Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN
lt0	Ex RS	LinRespSpe	Max	652,288	28,129	0,974
lt0	Ey RS	LinRespSpe	Max	28,283	652,288	7,411
lt1	Ex RS	LinRespSpe	Max	562,365	24,247	0,932
lt1	Ey RS	LinRespSpe	Max	24,119	561,306	6,413
lt2	Ex RS	LinRespSpe	Max	432,187	19,008	0,756
lt2	Ey RS	LinRespSpe	Max	19,065	435,512	6,305
lt3	Ex RS	LinRespSpe	Max	249,384	11,904	0,452
lt3	Ey RS	LinRespSpe	Max	11,895	257,377	4,491

