

PENGARUH LETAK DAN LUAS VOID TERHADAP KEKUATAN DAN KINERJA STRUKTUR SRPMK GEDUNG 10 LANTAI

by M. Ubaidil Fikri

TUGAS AKHIR
PENGARUH LETAK DAN LUAS *VOID* TERHADAP
KEKUATAN DAN KINERJA STRUKTUR SRPMK
GEDUNG 10 LANTAI



Disusun Oleh:

M. UBAIDIL FIKRI

1432200048

2
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA
2026

TUGAS AKHIR
PENGARUH LETAK DAN LUAS *VOID* TERHADAP
KEKUATAN DAN KINERJA STRUKTUR SRPMK
GEDUNG 10 LANTAI

Disusun sebagai Syarat Meraih Gelar Sarjana Teknik (S.T.)
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya



Disusun Oleh:

M. UBAIDIL FIKRI
1432200048

40

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA
2026

78

FINAL PROJECT

**THE EFFECT OF *VOID* LOCATION AND AREA ON THE
STRENGTH AND STRUCTURAL PERFORMANCE OF A
10-STORY SPECIAL MOMENT RESISTING FRAME
(SMRF) BUILDING**

Prepared as a Requirement to Obtain a Bachelor of Engineering Degree (S.T.)
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya



By:

M. UBAIDIL FIKRI
1432200048

CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM
FACULTY OF ENGINEERING
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA
2026

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR
TAHUN AKADEMIK GENAP 2025/2026

Nama : M. Ubaidil Fikri
NBI : 1432200048
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Judul : PENGARUH LETAK DAN LUAS *VOID* TERHADAP
KEKUATAN DAN KINERJA STRUKTUR SRPMK
GEDUNG 10 LANTAI

Surabaya, 24 Juni 2026

Disetujui Oleh,

Dosen Pembimbing

Ir. Bantot Sutriono, M. Sc.

NPP. 20430.93.0303

2

Mengetahui,

Dekan

Fakultas Teknik

Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Ketua

Program Studi Teknik Sipil

Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Dr. Ir. Ar. R. A. Retno Hastijanti, M.T.,

IPU., IAI., APEC Eng.

NPP. 20440.91.0218

Ir. Michella Beatrix, S.T., M.T.

NPP. 2043F.15.0660

Halaman ini sengaja dikosongkan

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN DAN KESETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : M. Ubaidil Fikri
NBI/NIM : 1432200048
Alamat : Ds. Wonokalang, Kec. Wonoayu, Kab. Sidoarjo
Telpon/HP : 085780465029

Menyatakan bahwa “**TUGAS AKHIR**” yang telah saya buat untuk memenuhi persyaratan kelulusan Strata (S1) Teknik Sipil – Program Sarjana – Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya dengan judul:

“PENGARUH LETAK DAN LUAS *VOID* TERHADAP KEKUATAN DAN KINERJA STRUKTUR SRPMK GEDUNG 10 LANTAI”

Adalah karya saya sendiri, dan bukan duplikasi dari karya orang lain. Selanjutnya apabila di kemudian hari terdapat klaim dari pihak lain bukan tanggung jawab pembimbing dan atau pengelola program, tetapi menjadi tanggung jawab saya sendiri.

Atas hal tersebut saya bersedia menerima sanksi, sesuai dengan hukum atau aturan yang berlaku di Indonesia. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun.

Surabaya, 24 Juni 2026

Yang menyatakan,

M. Ubaidil Fikri
NBI. 1432200048

Halaman ini sengaja dikosongkan



**UNIVERSITAS
17 AGUSTUS 1945
SURABAYA**

BADAN PERPUSTAKAAN

JL. SEMOLOWARU 45 SURABAYA

TELP. 031 593 1800 (Ext. 311)

Email : perpus@untag-sby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai Civitas Akademik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : M. Ubaidil Fikri
NBI : 1432200048
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Jenis Karya : Tugas Akhir Strata 1

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Badan Perpustakaan Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Nonexclusive)** karya ilmiah saya yang berjudul:

“PENGARUH LETAK DAN LUAS VOID TERHADAP KEKUATAN DAN KINERJA STRUKTUR SRPMK GEDUNG 10 LANTAI”

Dengan **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Nonexclusive Royalty-Free Right)**, Badan Perpustakaan Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya berhak menyimpan mengalihkan media atau memformatkan, mengolah dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, mempublikasikan karya ilmiah saya selama tetap tercantum.

Dibuat : Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Pada Tanggal : 24 Juni 2026

Surabaya, 24 Juni 2026

Yang menyatakan,

M. Ubaidil Fikri
NBI. 1432200048

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT, peneliti panjatkan puji syukur atas rahmat, hidayah serta karunia-Nya, sehingga peneliti bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“PENGARUH LETAK DAN LUAS VOID TERHADAP KEKUATAN DAN KINERJA STRUKTUR SRPMK GEDUNG 10 LANTAI”** dengan baik sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.

Peneliti menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak akan selesai tanpa adanya dukungan dan bantuan dari beberapa pihak yang terlibat, peneliti mengucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada:

1. Keluarga besar saya, khususnya kedua orang tua saya, Ayah Burhanuddin dan Ibu Priyantini, terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala dukungan, serta bantuan finansial yang telah diberikan selama menempuh pendidikan ini.
2. Bapak Dr. Harjo Seputro, S.T., M.T., selaku Rektor Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
3. Ibu Dr. Ir. Ar. R. A. Retno Hastijanti, M.T., IPU., IAI., APEC Eng., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
4. Ibu Ir. Michella Beatrix, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
5. Ibu Ir. Laily Endah Fatmawati, S.T., M.T., Ibu Dr. Ir. Dika Ayu Safitri, S.T., M.T., dan Bapak Mochamad Firmansyah, S.T., M.T., selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
6. Bapak Ir. Bantot Sutriyono, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing yang memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan Tugas Akhir.

Peneliti menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat peneliti harapkan demi penyempurnaan penelitian selanjutnya.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dalam pengembangan ilmu Teknik Sipil.

Surabaya, 24 Juni 2026

Yang menyatakan

M. Ubaidil Fikri

NBI. 1432200048

Halaman ini sengaja dikosongkan

PENGARUH LETAK DAN LUAS *VOID* TERHADAP KEKUATAN DAN KINERJA STRUKTUR SRPMK GEDUNG 10 LANTAI

Nama : M. Ubaidil Fikri
NBI : 1432200048
Program Studi : Teknik Sipil
Dosen Pembimbing : Ir. Bantot Sutriyono, M. Sc.

ABSTRAK

Gempa bumi merupakan fenomena yang berpotensi menyebabkan kerusakan pada infrastruktur bangunan, khususnya gedung bertingkat tinggi, sehingga perencanaan struktur tahan gempa menjadi aspek yang sangat penting, terutama dalam mempertimbangkan konfigurasi struktur seperti keberadaan *void*. Variasi letak dan luas *void* dapat memengaruhi kekakuan, distribusi massa, serta respons struktur terhadap beban gempa yang bekerja. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan pengaruh variasi letak dan luas *void* terhadap kinerja struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada gedung 10 lantai. Analisis dilakukan menggunakan *software* ETABS dengan lima variasi pemodelan, yaitu Gedung A, B, C, D, dan E. Parameter yang ditinjau meliputi simpangan, simpangan antar lantai, periode struktur, gaya geser dasar, serta efek P-Delta. Selain itu, evaluasi kinerja struktur juga dilakukan berdasarkan metode ATC-40 dan FEMA 356 untuk menentukan level kinerja dan tingkat daktilitas struktur. Hasil menunjukkan bahwa seluruh model gedung memiliki level kinerja yang sama yaitu *Immediate Occupancy* (IO) berdasarkan ATC-40 dan FEMA 356. Nilai simpangan, simpangan antar lantai, dan efek P-Delta cenderung meningkat dari lantai bawah menuju lantai tengah kemudian menurun pada lantai atas. Gedung B dan C menunjukkan nilai simpangan, periode, dan efek P-Delta yang lebih besar, sedangkan Gedung D dan E memiliki nilai yang lebih kecil dan lebih stabil. Nilai gaya geser dasar serta distribusi gaya dalam juga menunjukkan kecenderungan yang lebih merata pada Gedung D dan E. Tingkat daktilitas berada pada kategori daktil parsial hingga daktil penuh. Gedung D dan Gedung E menunjukkan kinerja struktur yang paling optimal dan efektif karena menghasilkan respons struktur yang lebih stabil, distribusi gaya yang lebih merata, serta keseimbangan antara kekakuan dan fleksibilitas dalam menahan beban gempa.

Kata Kunci : *Void*, Gempa Bumi, Kinerja Struktur, SRPMK

Halaman ini sengaja dikosongkan

THE EFFECT OF VOID LOCATION AND AREA ON THE STRENGTH AND STRUCTURAL PERFORMANCE OF A 10-STORY SPECIAL MOMENT RESISTING FRAME (SMRF) BUILDING

Name of Student : M. Ubaidil Fikri
Number of Student : 1432200048
Study Program : Teknik Sipil
Supervisor : Ir. Bantot Sutriyono, M. Sc.

ABSTRACT

Earthquakes are phenomena that have the potential to cause damage to building infrastructure, especially high-rise buildings; therefore, earthquake-resistant structural design becomes a crucial aspect, particularly in considering structural configurations such as the presence of voids. Variations in the location and size of voids can affect stiffness, mass distribution, and the structural response to seismic loads. This study aims to analyze and compare the effect of variations in the location and size of voids on the performance of Special Moment Resisting Frame (SMRF) structures in a 10-story building. The analysis was carried out using ETABS software with five modeling variations, namely Building A, B, C, D, and E. The parameters reviewed include displacement, inter-story drift, structural period, base shear, and P-Delta effects. In addition, structural performance evaluation was conducted based on ATC-40 and FEMA 356 methods to determine performance levels and ductility. The results indicate that all building models have the same performance level, namely Immediate Occupancy (IO), according to ATC-40 and FEMA 356. The values of displacement, inter-story drift, and P-Delta effects tend to increase from the lower floors to the middle floors and then decrease at the upper floors. Buildings B and C show higher displacement, period, and P-Delta values, while Buildings D and E exhibit smaller and more stable values. The base shear and internal force distribution also tend to be more uniform in Buildings D and E. The ductility level ranges from partial ductility to full ductility. Buildings D and E demonstrate the most optimal and effective structural performance, as they produce a more stable response, more uniform force distribution, and a better balance between stiffness and flexibility in resisting seismic loads.

Keywords: Void, Earthquake, Structural Performance, SMRF

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	i
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxv
DAFTAR LAMPIRAN	xxxv
DAFTAR NOTASI	xxxvii
DAFTAR RUMUS.....	xliii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu.....	7
2.2 Pengaruh <i>Void</i> Pada Ketidakberaturan Struktur Bangunan Gedung	18
2.3 Pengaruh Gempa Bumi Terhadap Perencanaan Bangunan Tahan Gempa	19
2.3.1 Faktor Gempa Bumi Pada Bangunan Gedung	19
2.3.2 Parameter Gempa Bumi	19
2.4 Beton Bertulang Sebagai Material Struktur Bangunan Gedung.....	20
2.4.1 Definisi Beton Bertulang	21
2.4.2 Keunggulan dan Kekurangan Beton Bertulang.....	21
2.5 Ketentuan Umum Bangunan Tahan Gempa.....	22
2.5.1 Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa	22
2.5.2 Klasifikasi Situs	25
2.5.3 Faktor Respons Gempa	26
2.5.4 Koefisien Situs dan Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum	26
2.5.5 Parameter Percepatan Spektral Desain.....	28
2.5.6 Spektrum Respon Desain	28
2.5.7 Kategori Desain Seismik.....	30

2.5.8	Kombinasi Sistem Struktur Dalam Arah Yang Berbeda.....	33
2.5.9	Fleksibilitas Diafragma, Ketidakberaturan Konfigurasi, dan Redundansi Struktur	34
2.5.10	Perioda Fundamental Pendekatan.....	41
2.5.11	Koefisien Respons Seismik	43
2.5.12	Gaya Geser Dasar Seismik	44
2.5.13	Penentuan Simpangan Antar Tingkat	44
2.5.14	Pengaruh P-Delta.....	45
2.6	Pembebanan Struktur	46
2.6.1	Beban Mati	46
2.6.2	Beban Hidup	48
2.6.3	Beban Angin	53
2.6.4	Beban Gempa	63
2.6.5	Kombinasi Pembebanan	63
2.7	Sistem Struktur Bangunan Tahan Gempa.....	63
2.7.1	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	64
2.7.2	Kriteria Perencanaan Bangunan Tahan Gempa	67
2.7.3	Syarat dan Pengecekan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	68
2.8	Struktur Tahan Gempa Berdasarkan Tingkat Daktilitas	78
2.9	Metode Analisis Gaya Gempa	79
2.9.1	Analisa Statik	79
2.9.2	Analisa Dinamik.....	80
2.10	Software ETABS	81
2.11	Analisis Level Kinerja Statik Non-Linier (<i>Pushover</i>)	83
2.11.1	Level Kinerja Statik Non-Linier Menggunakan Metode ATC-40	83
2.11.2	Level Kinerja Statik Non-Linier Menggunakan Metode FEMA 356	88
BAB III METODE PENELITIAN		93
3.1	Diagram Alir (<i>Flowchart</i>).....	93
3.2	Penjelasan Diagram Alir (<i>Flowchart</i>).....	94
3.2.1	Studi Literatur.....	94
3.2.2	Penentuan Data.....	95
3.2.3	Perhitungan Pembebanan	96
3.2.4	Preliminary Design.....	97
3.2.5	Permodelan Struktur	97
3.2.6	Analisa dan Kontrol Desain Struktur	100
3.2.7	Analisa dan Kontrol Tulangan Elemen Struktur SRPMK	100
3.2.8	Analisa Level Kinerja Struktur dengan Metode <i>Pushover</i>	101

3.2.9	Hasil Perbandingan Struktur	101
3.2.10	Kesimpulan dan Saran	101
5 3.3	Bahan dan Alat Penelitian	102
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		103
4.1	Data Bangunan	103
4.2	Pembebanan	103
4.2.1	Beban Mati	103
4.2.2	Beban Hidup	104
4.2.3	Beban Angin	105
3 4.2.4	Beban Gempa	110
4.3	Preliminary Design	122
4.3.1	Balok	122
4.3.2	Pelat	126
4.3.3	Kolom	136
4.4	Permodelan Struktur	138
4.5	Analisa dan Kontrol Desain Struktur	152
4.5.1	Kontrol Berat Struktur	153
4.5.2	Kontrol Partisipasi Massa	169
4.5.3	Kontrol Periode Fundamental	173
4.5.4	Kontrol Gaya Geser Dasar	178
4.5.5	Kontrol Simpangan	183
4.5.6	Kontrol P- Delta	194
4.5.7	Kontrol Ketidakberaturan Horizontal	203
4.5.8	Kontrol Ketidakberaturan Vertikal	212
4.6	Analisa dan Kontrol Tulangan Elemen Struktur SRPMK	234
4.6.1	Balok Induk	234
4.6.2	Balok Anak	269
4.6.3	Kolom	290
4.7	Analisa Level Kinerja Struktur dengan Metode <i>Pushover</i>	304
4.7.1	Level Kinerja Berdasarkan ATC-40	306
4.7.2	Level Kinerja Berdasarkan FEMA 356	310
4.7.3	Tingkat Daktilitas	315
4.7.4	Mekanisme Sendi Plastis	334
4.8	Rekapitulasi Perbandingan Struktur	345
4.8.1	Perbandingan Berat Struktur	345
4.8.2	Perbandingan Partisipasi Massa	346
4.8.3	Perbandingan Periode Fundamental	347
4.8.4	Perbandingan Gaya Geser Dasar	348

4.8.5	Perbandingan Simpangan dan Simpangan Antar Lantai	349
4.8.6	Perbandingan Efek P-Delta	352
4.8.7	Perbandingan Ketidakberaturan Horizontal	353
4.8.8	Perbandingan Ketidakberaturan Vertikal.....	355
4.8.9	Perbandingan Gaya Dalam	361
4.8.10	Perbandingan Level Kinerja.....	370
1 4.8.11	Perbandingan Tingkat Daktilitas	371
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		373
5.1	Kesimpulan	373
5.2	Saran	374
DAFTAR PUSTAKA.....		377
BIODATA PENULIS.....		381
LAMPIRAN		L1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Pemodelan Struktur Gedung SRPMK dengan Variasi Luas dan Letak	
5	<i>Void</i> yang Diteliti	4
Gambar 2. 1	Spektrum Respon Desain	29
Gambar 2. 2	Peta Transisi Periode Panjang, T_L , Wilayah Indonesia	30
Gambar 2. 3	Ketidakteraturan Horizontal	36
Gambar 2. 4	Ketidakteraturan Vertikal	39
Gambar 2. 5	Koefisien Tekanan Eksternal, C_p , Untuk Bangunan Tertutup dan	
9	Bangunan Tertutup Sebagian Dinding dan Atap	61
Gambar 2. 6	Lebar Efektif Maksimum Balok Lebar dan Persyaratan Tulangan	
	Transversal	68
Gambar 2. 7	Senggang Tertutup (<i>hoop</i>) Yang Dipasang Bertumpuk dan Ilustrasi	
	Batasan Maksimum Spasi Horizontal Penumpu Batang Longitudinal	
		70
Gambar 2. 8	Geser Desain Untuk Balok	71
Gambar 2. 9	Penulangan Transversal Pada Kolom	75
Gambar 2. 10	Luas <i>Joint</i> Efektif	77
Gambar 2. 11	Kurva Kapasitas ATC-40	84
Gambar 2. 12	Level Kinerja ATC-40	85
Gambar 2. 13	(a) Kurva Kapasitas (b) Spektrum Kapasitas	86
Gambar 2. 14	Konversi Spektrum Respon ke <i>Spectrum Demand</i>	87
Gambar 2. 15	Level Kinerja Struktur FEMA 356	88
Gambar 3. 1	Diagram Alir Penelitian	93
Gambar 3. 2	Denah Pemodelan Bangunan	96
Gambar 3. 3	Pemodelan Struktur SRPMK Tanpa <i>Void</i> (Gedung A)	97
Gambar 3. 4	Pemodelan Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak <i>Void</i> 1 (Gedung B)	
		98
Gambar 3. 5	Pemodelan Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak <i>Void</i> 2 (Gedung C)	
		98
Gambar 3. 6	Pemodelan Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak <i>Void</i> 3 (Gedung D)	
		99
Gambar 3. 7	Pemodelan Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak <i>Void</i> 4 (Gedung E)	
		99
Gambar 4. 1	Grafik Spektrum Respon Desain Kabupaten Sidoarjo	112
Gambar 4. 2	Grafik Perhitungan Respons Spektrum	119
Gambar 4. 3	<i>Preliminary Design</i> Balok Induk Arah X	123
Gambar 4. 4	<i>Preliminary Design</i> Balok Induk Arah Y	124

Gambar 4. 5 <i>Preliminary Design</i> Balok Anak.....	125
Gambar 4. 6 <i>Preliminary Design</i> Pelat.....	126
Gambar 4. 7 <i>Preliminary Design</i> Kolom.....	136
Gambar 4. 8 Pembuatan Pemodelan Baru ETABS.....	138
Gambar 4. 9 Parameter Awal Pemodelan Baru ETABS	139
Gambar 4. 10 Grid Pemodelan Baru ETABS	139
Gambar 4. 11 Penyesuaian Ulang Grid Pemodelan ETABS	140
Gambar 4. 12 <i>Input</i> Material Beton dan Baja Tulangan.....	141
Gambar 4. 13 <i>Input</i> Mutu Material Beton dan Baja Tulangan	141
Gambar 4. 14 <i>Input</i> Material Balok, Kolom, dan Pelat.....	142
Gambar 4. 15 <i>Input</i> Dimensi dan Properti Balok	142
Gambar 4. 16 <i>Input</i> Dimensi dan Properti Kolom.....	143
Gambar 4. 17 <i>Input</i> Dimensi dan Properti Pelat.....	143
Gambar 4. 18 Penggambaran Elemen Struktur	143
Gambar 4. 19 Pemodelan Struktur Variasi tanpa <i>Void</i> Gedung A	144
Gambar 4. 20 Pemodelan Struktur Variasi <i>Void</i> Gedung B	144
Gambar 4. 21 Pemodelan Struktur Variasi <i>Void</i> Gedung C	144
Gambar 4. 22 Pemodelan Struktur Variasi <i>Void</i> Gedung D.....	145
Gambar 4. 23 Pemodelan Struktur Variasi <i>Void</i> Gedung E	145
Gambar 4. 24 Pendefinisian Perletakan Jepit pada Setiap Variasi Model	145
Gambar 4. 25 Pendefinisian Beban pada Setiap Variasi Model	146
Gambar 4. 26 <i>Input</i> Parameter Beban Angin.....	146
Gambar 4. 27 <i>Input</i> Parameter Beban Gempa Statik Arah <i>X</i> dan Arah <i>Y</i>	147
Gambar 4. 28 <i>Input</i> Kombinasi Pembebanan dan <i>Scale Factor</i>	148
Gambar 4. 29 <i>Input</i> Beban pada Pelat	148
Gambar 4. 30 <i>Input</i> Beban pada Balok.....	149
Gambar 4. 31 <i>Input</i> Beban pada Kolom	149
Gambar 4. 32 Pendefinisian Beban Gempa Dinamik Respons Spektrum	150
Gambar 4. 33 Pendefinisian <i>Scale Factor</i> Beban Gempa Dinamik	151
Gambar 4. 34 Pendefinisian <i>Mass Source</i>	151
Gambar 4. 35 Pengecekan Pemodelan Sebelum <i>Run Analysis</i>	152
Gambar 4. 36 Proses Analisis Hasil Pemodelan.....	152
Gambar 4. 37 <i>Step Output</i> Berat Struktur ETABS	153
Gambar 4. 38 <i>Step Output</i> Partisipasi Massa pada ETABS.....	170
Gambar 4. 39 <i>Step Output</i> Periode Fundamental pada ETABS	173
Gambar 4. 40 <i>Step Output</i> Gaya Geser Dasar pada ETABS	179
Gambar 4. 41 <i>Step Output</i> Simpangan pada ETABS.....	184
Gambar 4. 42 Grafik Simpangan Pemodelan Gedung A.....	186

Gambar 4. 43 Grafik Simpangan Antar Lantai Pemodelan Gedung A.....	186
Gambar 4. 44 Grafik Simpangan Pemodelan Gedung B.....	187
Gambar 4. 45 Grafik Simpangan Antar Lantai Pemodelan Gedung B.....	188
Gambar 4. 46 Grafik Simpangan Pemodelan Gedung C.....	189
Gambar 4. 47 Grafik Simpangan Antar Lantai Pemodelan Gedung C.....	189
Gambar 4. 48 Grafik Simpangan Pemodelan Gedung D	190
Gambar 4. 49 Grafik Simpangan Antar Lantai Pemodelan Gedung D	191
Gambar 4. 50 Grafik Simpangan Pemodelan Gedung E.....	192
Gambar 4. 51 Grafik Simpangan Antar Lantai Pemodelan Gedung E.....	192
Gambar 4. 52 <i>Step Output</i> P-Delta pada ETABS	195
Gambar 4. 53 Grafik P-Delta Pemodelan Gedung A	197
Gambar 4. 54 Grafik P-Delta Pemodelan Gedung B	198
Gambar 4. 55 Grafik P-Delta Pemodelan Gedung C	199
Gambar 4. 56 Grafik P-Delta Pemodelan Gedung D	200
Gambar 4. 57 Grafik P-Delta Pemodelan Gedung E.....	201
Gambar 4. 58 <i>Step Output</i> untuk Nilai Kontrol Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan pada ETABS	204
Gambar 4. 59 <i>Step Output</i> untuk Nilai Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan pada ETABS	213
Gambar 4. 60 <i>Step Output</i> untuk Nilai Kontrol Ketidakberaturan Berat/Massa pada ETABS	220
Gambar 4. 61 <i>Step Output</i> untuk Nilai Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat	228
Gambar 4. 62 <i>Output</i> Momen dan Lendutan Balok Induk Arah X BI X 1 Gedung A pada Daerah Tumpuan Negatif.....	240
Gambar 4. 63 <i>Output</i> Momen dan Lendutan Balok Induk Arah X BI X 1 Gedung A pada Daerah Tumpuan Positif.....	241
Gambar 4. 64 <i>Output</i> Momen dan Lendutan Balok Induk Arah X BI X 1 Gedung A pada Daerah Lapangan Negatif.....	241
Gambar 4. 65 <i>Output</i> Momen dan Lendutan Balok Induk Arah X BI X 1 Gedung A pada Daerah Lapangan Positif	242
Gambar 4. 66 <i>Output</i> Geser V_u Balok Induk Arah X BI X 1 Gedung A pada Daerah Tumpuan	253
Gambar 4. 67 <i>Output</i> Geser V_g Balok Induk Arah X BI X 1 Gedung A pada Daerah Tumpuan	254

Gambar 4. 68 <i>Output Geser V_u Balok Induk Arah X BI X 1 Gedung A pada Daerah Lapangan</i>	254
Gambar 4. 69 <i>Output Torsi T_u Balok Induk Arah X BI X 1 Gedung A</i>	260
Gambar 4. 70 <i>Output Momen dan Lendutan Balok Anak BA 1 Gedung A pada Daerah Tumpuan Negatif</i>	271
Gambar 4. 71 <i>Output Momen dan Lendutan Balok Anak BA 1 Gedung A pada Daerah Tumpuan Positif</i>	272
Gambar 4. 72 <i>Output Momen dan Lendutan Balok Anak BA 1 Gedung A pada Daerah Lapangan Negatif</i>	272
Gambar 4. 73 <i>Output Momen dan Lendutan Balok Anak BA 1 Gedung A pada Daerah Lapangan Positif</i>	273
Gambar 4. 74 <i>Output Geser V_u Balok Anak BA 1 Gedung A pada Daerah Tumpuan</i>	282
Gambar 4. 75 <i>Output Geser V_u Balok Anak BA 1 Gedung A pada Daerah Lapangan</i>	282
Gambar 4. 76 <i>Output Torsi T_u Balok Anak BA 1 Gedung A</i>	287
Gambar 4. 77 <i>Diagram Output Running Kombinasi Pembebanan 1 pada Kolom K1 Gedung A</i>	294
Gambar 4. 78 <i>Kurva Performance Point Arah X Pemodelan Gedung A Pushover ATC-40</i>	307
Gambar 4. 79 <i>Kurva Performance Point Arah Y Pemodelan Gedung A Metode Pushover ATC-40</i>	308
Gambar 4. 80 <i>Rekapitulasi Kurva Performance Point Metode Pushover ATC-40</i>	308
Gambar 4. 81 <i>Grafik Kurva Pushover Pemodelan Gedung A Arah X</i>	315
Gambar 4. 82 <i>Grafik Kurva Pushover Pemodelan Gedung A Arah Y</i>	317
Gambar 4. 83 <i>Grafik Kurva Pushover Pemodelan Gedung B Arah X</i>	319
Gambar 4. 84 <i>Grafik Kurva Pushover Pemodelan Gedung B Arah Y</i>	321
Gambar 4. 85 <i>Grafik Kurva Pushover Pemodelan Gedung C Arah X</i>	323
Gambar 4. 86 <i>Grafik Kurva Pushover Pemodelan Gedung C Arah Y</i>	325
Gambar 4. 87 <i>Grafik Kurva Pushover Pemodelan Gedung D Arah X</i>	326
Gambar 4. 88 <i>Grafik Kurva Pushover Pemodelan Gedung D Arah Y</i>	328
Gambar 4. 89 <i>Grafik Kurva Pushover Pemodelan Gedung E Arah X</i>	330
Gambar 4. 90 <i>Grafik Kurva Pushover Pemodelan Gedung E Arah Y</i>	332
Gambar 4. 91 <i>Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung A Arah X Step 3</i>	335
Gambar 4. 92 <i>Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung A Arah X Step 16</i>	335
Gambar 4. 93 <i>Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung A Arah Y Step 4</i>	336
Gambar 4. 94 <i>Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung A Arah Y Step 21</i>	336
Gambar 4. 95 <i>Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung B Arah X Step 4</i>	337

Gambar 4. 96 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung B Arah <i>X</i> Step 18.....	337
Gambar 4. 97 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung B Arah <i>Y</i> Step 3.....	338
Gambar 4. 98 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung B Arah <i>Y</i> Step 14.....	338
Gambar 4. 99 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung C Arah <i>X</i> Step 4.....	339
Gambar 4. 100 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung C Arah <i>X</i> Step 18...	339
Gambar 4. 101 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung C Arah <i>Y</i> Step 3.....	340
Gambar 4. 102 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung C Arah <i>Y</i> Step 14...	340
Gambar 4. 103 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung D Arah <i>X</i> Step 4	341
Gambar 4. 104 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung D Arah <i>X</i> Step 19 ..	341
Gambar 4. 105 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung D Arah <i>Y</i> Step 3.....	342
Gambar 4. 106 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung D Arah <i>Y</i> Step 14...	342
Gambar 4. 107 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung E Arah <i>X</i> Step 3	343
Gambar 4. 108 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung E Arah <i>X</i> Step 15 ...	343
Gambar 4. 109 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung E Arah <i>Y</i> Step 3	344
Gambar 4. 110 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung E Arah <i>Y</i> Step 14 ...	344
Gambar 4. 111 Grafik Perbandingan Berat Struktur Bangunan.....	345
Gambar 4. 112 Grafik Perbandingan Rasio Partisipasi Massa Struktur Bangunan.	346
Gambar 4. 113 Grafik Perbandingan Periode Fundamental Struktur Bangunan.....	347
Gambar 4. 114 Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Struktur Bangunan.....	348
Gambar 4. 115 Grafik Perbandingan Simpangan Arah <i>X</i> Struktur Bangunan	349
Gambar 4. 116 Grafik Perbandingan Simpangan Arah <i>Y</i> Struktur Bangunan.....	350
Gambar 4. 117 Grafik Perbandingan Simpangan Antar Lantai Arah <i>X</i> Struktur Bangunan	350
Gambar 4. 118 Grafik Perbandingan Simpangan Antar Lantai Arah <i>Y</i> Struktur Bangunan	351
Gambar 4. 119 Grafik Perbandingan P-Delta Arah <i>X</i> Struktur Bangunan	352
Gambar 4. 120 Grafik Perbandingan P-Delta Arah <i>Y</i> Struktur Bangunan	352
Gambar 4. 121 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b Arah <i>X</i> Struktur Bangunan	353
Gambar 4. 122 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b Arah <i>Y</i> Struktur Bangunan.....	354
Gambar 4. 123 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Horizontal 3 Struktur Bangunan.....	354
Gambar 4. 124 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b Arah <i>X</i> Struktur Bangunan.....	355
Gambar 4. 125 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b Arah <i>X</i> Struktur Bangunan.....	356

Gambar 4. 126 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b Arah Y Struktur Bangunan.....	356
Gambar 4. 127 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b Arah Y Struktur Bangunan.....	357
Gambar 4. 128 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal 2 Struktur Bangunan	357
Gambar 4. 129 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal 2 Struktur Bangunan	358
Gambar 4. 130 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal 5 Arah X Struktur Bangunan	358
Gambar 4. 131 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal 5 Arah X Struktur Bangunan	359
Gambar 4. 132 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal 5 Arah Y Struktur Bangunan	359
Gambar 4. 133 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal 5 Arah Y Struktur Bangunan	360
Gambar 4. 134 Grafik Perbandingan Gaya Momen Tumpuan Negatif Balok Induk Struktur Bangunan	361
Gambar 4. 135 Grafik Perbandingan Gaya Momen Tumpuan Positif Balok Induk Struktur Bangunan	362
Gambar 4. 136 Grafik Perbandingan Gaya Momen Lapangan Negatif Balok Induk Struktur Bangunan	362
Gambar 4. 137 Grafik Perbandingan Gaya Momen Lapangan Negatif Balok Induk Struktur Bangunan	363
Gambar 4. 138 Grafik Perbandingan Gaya Geser Tumpuan Balok Induk Struktur Bangunan	363
Gambar 4. 139 Grafik Perbandingan Gaya Geser Lapangan Balok Induk Struktur Bangunan	364
Gambar 4. 140 Grafik Perbandingan Gaya Torsi Balok Induk Struktur Bangunan	364
Gambar 4. 141 Grafik Perbandingan Gaya Momen Tumpuan Negatif Balok Anak Struktur Bangunan	365
Gambar 4. 142 Grafik Perbandingan Gaya Momen Tumpuan Positif Balok Anak Struktur Bangunan	365
Gambar 4. 143 Grafik Perbandingan Gaya Momen Lapangan Negatif Balok Anak Struktur Bangunan	366
Gambar 4. 144 Grafik Perbandingan Gaya Momen Lapangan Negatif Balok Anak Struktur Bangunan	366

Gambar 4. 145 Grafik Perbandingan Gaya Geser Tumpuan Balok Anak Struktur Bangunan	367
Gambar 4. 146 Grafik Perbandingan Gaya Geser Lapangan Balok Anak Struktur Bangunan	367
Gambar 4. 147 Grafik Perbandingan Gaya Torsi Balok Anak Struktur Bangunan .	368
Gambar 4. 148 Grafik Perbandingan Gaya Momen Kolom Struktur Bangunan.....	368
Gambar 4. 149 Grafik Perbandingan Gaya Geser Kolom Struktur Bangunan.....	369

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	7
Tabel 2. 2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa	22
Tabel 2. 3 Faktor Keutamaan Gempa	25
Tabel 2. 4 Klasifikasi Situs	25
Tabel 2. 5 Koefisien Situs, F_a	27
Tabel 2. 6 Koefisien Situs, F_v	27
Tabel 2. 7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek	31
Tabel 2. 8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik	31
Tabel 2. 9 Tingkat Risiko Kegempaan dan Kategori Desain Gempa	32
Tabel 2. 10 Prosedur Analisis Yang Diizinkan	32
Tabel 2. 11 Faktor R, Cd, dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik	33
Tabel 2. 12 Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur	34
Tabel 2. 13 Ketidakberaturan Vertikal Pada Struktur	37
Tabel 2. 14 Persyaratan Untuk Masing-Masing Tingkat Yang Menahan Lebih Dari 35 % Gaya Geser Dasar	41
Tabel 2. 15 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung	42
Tabel 2. 16 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	42
Tabel 2. 17 Simpangan Antar Tingkat, $\Delta_a^{a,b}$	45
Tabel 2. 18 Beban Mati Untuk Bahan Bangunan dan Komponen Gedung	46
Tabel 2. 19 Beban Hidup Pada Komponen atau Penggunaan Gedung	48
Tabel 2. 20 Kategori Risiko Bangunan dan Struktur Lainnya Untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa, dan Es	53
Tabel 2. 21 Faktor Arah Angin, K_d	55
Tabel 2. 22 Parameter Untuk Peningkatan Kecepatan Di Atas Bukit dan Tebing	57
Tabel 2. 23 Sistem Penahan Gaya Angin Utama dan Komponen dan Klading	58
Tabel 2. 24 Faktor Elevasi Permukaan Tanah, K_e	59
Tabel 2. 25 Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan, K_h dan K_z	59
Tabel 2. 26 Konstanta Eksposur Dataran	60
Tabel 2. 27 Koefisien Tekanan Dinding, C_p	62
Tabel 2. 28 Koefisien Tekanan Atap, C_p , Untuk Digunakan Dengan q_h	62
Tabel 2. 29 Faktor Reduksi Kekuatan, ϕ	65
Tabel 2. 30 Kekuatan Geser Nominal $Joint$, V_n	76
Tabel 2. 31 Parameter Daktilitas Struktur Gedung	78

Tabel 2. 32 Kelebihan <i>Software</i> ETABS.....	82
Tabel 2. 33 Batasan Rasio Simpangan Antar Tingkat ATC-40	84
Tabel 2. 34 Level Kinerja Struktur ATC-40.....	85
Tabel 2. 35 Level Kinerja Struktur FEMA 356	88
Tabel 2. 36 Faktor Modifikasi C_0^I FEMA 356	90
Tabel 2. 37 Faktor Modifikasi C_2 FEMA 356.....	90
Tabel 2. 38 Faktor Modifikasi C_m^I FEMA 356.....	91
Tabel 2. 39 Batasan Simpangan FEMA 356.....	91
Tabel 4. 1 Beban Mati Permodelan Bangunan 10 Lantai di Setiap Variasi	104
Tabel 4. 2 Beban Hidup Permodelan Bangunan 10 Lantai di Setiap Variasi.....	104
Tabel 4. 3 Kategori Risiko Bangunan.....	105
Tabel 4. 4 Kecepatan Angin Kabupaten Sidoarjo Tahun 2019 – 2020	106
Tabel 4. 5 Faktor Arah Angin	107
Tabel 4. 6 Klasifikasi Ketertutupan dan Koefisien Tekanan Internal	107
Tabel 4. 7 Tekanan Angin	109
Tabel 4. 8 Total Tekanan Angin Pada Arah Angin Datang, Tepi, dan Pergi	109
Tabel 4. 9 Kategori Risiko Bangunan.....	111
Tabel 4. 10 Faktor Keutamaan Gempa	111
Tabel 4. 11 Klasifikasi Situs	111
Tabel 4. 12 Parameter Spektrum Respon Desain.....	112
Tabel 4. 13 Koefisien Situs, F_a untuk Menentukan Nilai S_s	113
Tabel 4. 14 Koefisien Situs, F_v untuk Menentukan Nilai S_I	113
Tabel 4. 15 Perhitungan Grafik Respons Spektrum.....	116
Tabel 4. 16 Rekapitulasi Perbandingan Spektrum Respons Desain	119
Tabel 4. 17 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai S_{DS}	120
Tabel 4. 18 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai S_{DI}	120
Tabel 4. 19 Tingkat Risiko Kegempaan dan Kategori Desain Seismik	120
Tabel 4. 20 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	120
Tabel 4. 21 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung	121
Tabel 4. 22 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik.....	121
Tabel 4. 23 <i>Preliminary Design</i> Balok	125
Tabel 4. 24 <i>Preliminary Design</i> Pelat.....	135
Tabel 4. 25 <i>Preliminary Design</i> Kolom.....	138
Tabel 4. 26 Berat Elemen Struktur Bangunan Pemodelan Gedung A	155
Tabel 4. 27 Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung A Hasil Analisis Manual	156
Tabel 4. 28 Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung A Hasil Analisis <i>Software</i> ETABS	156

Tabel 4. 29 Perbandingan Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung A Hasil Analisis Manual dan <i>Software</i> ETABS	156
Tabel 4. 30 Berat Elemen Struktur Bangunan Pemodelan Gedung B	158
Tabel 4. 31 Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung B Hasil Analisis Manual	159
Tabel 4. 32 Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung B Hasil Analisis <i>Software</i> ETABS	159
Tabel 4. 33 Perbandingan Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung B Hasil Analisis Manual dan <i>Software</i> ETABS	159
Tabel 4. 34 Berat Elemen Struktur Bangunan Pemodelan Gedung C	161
Tabel 4. 35 Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung C Hasil Analisis Manual	162
Tabel 4. 36 Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung C Hasil Analisis <i>Software</i> ETABS	162
Tabel 4. 37 Perbandingan Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung C Hasil Analisis Manual dan <i>Software</i> ETABS	162
Tabel 4. 38 Berat Elemen Struktur Bangunan Pemodelan Gedung D	164
Tabel 4. 39 Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung D Hasil Analisis Manual	165
Tabel 4. 40 Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung D Hasil Analisis <i>Software</i> ETABS	165
Tabel 4. 41 Perbandingan Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung D Hasil Analisis Manual dan <i>Software</i> ETABS	165
Tabel 4. 42 Berat Elemen Struktur Bangunan Pemodelan Gedung E	167
Tabel 4. 43 Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung E Hasil Analisis Manual	168
Tabel 4. 44 Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung E Hasil Analisis <i>Software</i> ETABS	168
Tabel 4. 45 Perbandingan Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung E Hasil Analisis Manual dan <i>Software</i> ETABS	168
Tabel 4. 46 Rekapitulasi Berat Struktur Bangunan Setiap Pemodelan Hasil Analisis Manual dan <i>Software</i> ETABS	169
Tabel 4. 47 Kontrol Partisipasi Massa Pemodelan Gedung A	170
Tabel 4. 48 Kontrol Partisipasi Massa Pemodelan Gedung B	171
Tabel 4. 49 Kontrol Partisipasi Massa Pemodelan Gedung C	171
Tabel 4. 50 Kontrol Partisipasi Massa Pemodelan Gedung D	172
Tabel 4. 51 Kontrol Partisipasi Massa Pemodelan Gedung E	172
Tabel 4. 52 Periode Fundamental Pemodelan Gedung A Hasil Analisis Manual	174

Tabel 4. 53 Periode Fundamental Pemodelan Gedung A Hasil Analisis <i>Software</i> ETABS.....	174
Tabel 4. 54 Periode Fundamental Pemodelan Gedung B Hasil Analisis Manual ...	174
Tabel 4. 55 Periode Fundamental Pemodelan Gedung B Hasil Analisis <i>Software</i> ETABS.....	175
Tabel 4. 56 Periode Fundamental Pemodelan Gedung C Hasil Analisis Manual ...	175
Tabel 4. 57 Periode Fundamental Pemodelan Gedung C Hasil Analisis <i>Software</i> ETABS.....	175
Tabel 4. 58 Periode Fundamental Pemodelan Gedung D Hasil Analisis Manual...	176
Tabel 4. 59 Periode Fundamental Pemodelan Gedung D Hasil Analisis <i>Software</i> ETABS.....	176
Tabel 4. 60 Periode Fundamental Pemodelan Gedung E Hasil Analisis Manual ...	176
Tabel 4. 61 Periode Fundamental Pemodelan Gedung E Hasil Analisis <i>Software</i> ETABS.....	176
Tabel 4. 62 Rekapitulasi Periode Fundamental Setiap Pemodelan Hasil Analisis Manual dan <i>Software</i> ETABS.....	177
Tabel 4. 63 Perbandingan Periode Fundamental terhadap Pemodelan Gedung A..	177
Tabel 4. 64 Nilai <i>Scale Factor</i> pada Setiap Pemodelan Gedung	179
Tabel 4. 65 <i>Output</i> Gaya Geser Dasar Sebelum dikali <i>Scale Factor</i>	180
Tabel 4. 66 Nilai <i>Scale Factor</i> Penyesuaian pada Setiap Pemodelan Gedung.....	181
Tabel 4. 67 <i>Output</i> Gaya Geser Dasar Setelah dikali <i>Scale Factor</i>	181
Tabel 4. 68 Rekapitulasi Gaya Geser Dasar Setiap Pemodelan.....	182
Tabel 4. 69 Perbedaan Selisih dan Perbandingan Gaya Geser Dasar terhadap Pemodelan Gedung A.....	183
Tabel 4. 70 Parameter pada Perhitungan Simpangan Setiap Pemodelan.....	185
Tabel 4. 71 Kontrol Simpangan Pemodelan Gedung A.....	185
Tabel 4. 72 Kontrol Simpangan Pemodelan Gedung B.....	187
Tabel 4. 73 Kontrol Simpangan Pemodelan Gedung C.....	188
Tabel 4. 74 Kontrol Simpangan Pemodelan Gedung D.....	190
Tabel 4. 75 Kontrol Simpangan Pemodelan Gedung E	191
Tabel 4. 76 Rekapitulasi Simpangan Setiap Pemodelan.....	193
Tabel 4. 77 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Setiap Pemodelan.....	193
Tabel 4. 78 Perbedaan Selisih dan Perbandingan Simpangan Antar Lantai terhadap Pemodelan Gedung A pada Lantai 10	194
Tabel 4. 79 Parameter pada Perhitungan P-Delta Setiap Pemodelan	196
Tabel 4. 80 Kontrol P-Delta Pemodelan Gedung A.....	196
Tabel 4. 81 Kontrol P-Delta Pemodelan Gedung B.....	197
Tabel 4. 82 Kontrol P-Delta Pemodelan Gedung C.....	198

Tabel 4. 83 Kontrol P-Delta Pemodelan Gedung D	200
Tabel 4. 84 Kontrol P-Delta Pemodelan Gedung E.....	201
Tabel 4. 85 Rekapitulasi P-Delta Setiap Pemodelan	202
Tabel 4. 86 Perbedaan Selisih dan Perbandingan P-Delta terhadap Pemodelan Gedung A pada Lantai 10	202
Tabel 4. 87 Kontrol Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan Pemodelan Gedung A	204
Tabel 4. 88 Kontrol Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan Pemodelan Gedung B.....	205
Tabel 4. 89 Kontrol Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan Pemodelan Gedung C.....	205
Tabel 4. 90 Kontrol Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan Pemodelan Gedung D	206
Tabel 4. 91 Kontrol Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan Pemodelan Gedung E.....	206
Tabel 4. 92 Rekapitulasi Kontrol Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan Setiap Pemodelan	207
Tabel 4. 93 Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan terhadap Pemodelan Gedung A pada Lantai 10	207
Tabel 4. 94 Kontrol Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma Pemodelan Gedung B.....	209
Tabel 4. 95 Kontrol Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma Pemodelan Gedung C.....	210
Tabel 4. 96 Kontrol Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma Pemodelan Gedung D	210
Tabel 4. 97 Kontrol Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma Pemodelan Gedung E.....	210
Tabel 4. 98 Rekapitulasi Kontrol Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma Setiap Pemodelan	211
Tabel 4. 99 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Pemodelan Gedung A	213
Tabel 4. 100 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Pemodelan Gedung B.....	215
Tabel 4. 101 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Pemodelan Gedung C.....	215
Tabel 4. 102 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Pemodelan Gedung D	216

Tabel 4. 103 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Pemodelan Gedung E	217
Tabel 4. 104 Rekapitulasi Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Setiap Pemodelan	218
Tabel 4. 105 Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan terhadap Pemodelan Gedung A pada Lantai 10	219
Tabel 4. 106 Kontrol Ketidakberaturan Berat/Massa Pemodelan Gedung A	221
Tabel 4. 107 Kontrol Ketidakberaturan Berat/Massa Pemodelan Gedung B	222
Tabel 4. 108 Kontrol Ketidakberaturan Berat/Massa Pemodelan Gedung C	222
Tabel 4. 109 Kontrol Ketidakberaturan Berat/Massa Pemodelan Gedung D	223
Tabel 4. 110 Kontrol Ketidakberaturan Berat/Massa Pemodelan Gedung E.....	223
Tabel 4. 111 Rekapitulasi Kontrol Ketidakberaturan Berat/Massa Setiap Pemodelan	224
Tabel 4. 112 Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Berat/Massa terhadap Pemodelan Gedung A pada Lantai 9	224
Tabel 4. 113 Kontrol Ketidakberaturan Geometri Vertikal Setiap Pemodelan	225
Tabel 4. 114 Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat Pemodelan Gedung A	229
Tabel 4. 115 Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat Pemodelan Gedung B	230
Tabel 4. 116 Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat Pemodelan Gedung C	230
Tabel 4. 117 Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat Pemodelan Gedung D	231
Tabel 4. 118 Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat Pemodelan Gedung E	232

Tabel 4. 119	Rekapitulasi Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat Setiap Pemodelan	233
Tabel 4. 120	Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat terhadap Pemodelan Gedung A pada Lantai 8	233
Tabel 4. 121	Rekapitulasi <i>Output</i> Gaya Dalam Balok Induk Pemodelan Gedung A	235
Tabel 4. 122	Rekapitulasi <i>Output</i> Gaya Dalam Balok Induk Pemodelan Gedung B	236
Tabel 4. 123	Rekapitulasi <i>Output</i> Gaya Dalam Balok Induk Pemodelan Gedung C	236
Tabel 4. 124	Rekapitulasi <i>Output</i> Gaya Dalam Balok Induk Pemodelan Gedung D	237
Tabel 4. 125	Rekapitulasi <i>Output</i> Gaya Dalam Balok Induk Pemodelan Gedung E	238
Tabel 4. 126	Profil Balok Induk Arah <i>X</i> BI X 1 Gedung A	239
Tabel 4. 127	Rekapitulasi Kontrol Lendutan Balok Induk Arah <i>X</i> Setiap Pemodelan	243
Tabel 4. 128	Rekapitulasi Kontrol Lendutan Balok Induk Arah <i>Y</i> Setiap Pemodelan	243
Tabel 4. 129	Rekapitulasi Kontrol Lentur Balok Induk Arah <i>X</i> Setiap Pemodelan	252
Tabel 4. 130	Rekapitulasi Kontrol Lentur Balok Induk Arah <i>Y</i> Setiap Pemodelan	252
Tabel 4. 131	Rekapitulasi Kontrol Geser Balok Induk Arah <i>X</i> Setiap Pemodelan	258
Tabel 4. 132	Rekapitulasi Kontrol Geser Balok Induk Arah <i>Y</i> Setiap Pemodelan	259
Tabel 4. 133	Rekapitulasi Kontrol Torsi Balok Induk Setiap Pemodelan	265
Tabel 4. 134	Rekapitulasi Tulangan Balok Induk Setiap Pemodelan	267
Tabel 4. 135	Rekapitulasi <i>Output</i> Gaya Dalam Balok Anak Pemodelan Gedung A	269
Tabel 4. 136	Rekapitulasi <i>Output</i> Gaya Dalam Balok Anak Pemodelan Gedung B	269
Tabel 4. 137	Rekapitulasi <i>Output</i> Gaya Dalam Balok Anak Pemodelan Gedung C	270
Tabel 4. 138	Rekapitulasi <i>Output</i> Gaya Dalam Balok Anak Pemodelan Gedung D	270
Tabel 4. 139	Rekapitulasi <i>Output</i> Gaya Dalam Balok Anak Pemodelan Gedung E	270

Tabel 4. 140 Profil Balok Anak BA 1 Gedung A.....	271
Tabel 4. 141 Rekapitulasi Kontrol Lendutan Balok Anak Setiap Pemodelan	274
Tabel 4. 142 Rekapitulasi Kontrol Lentur Balok Anak Setiap Pemodelan.....	281
Tabel 4. 143 Rekapitulasi Kontrol Geser Balok Anak Setiap Pemodelan	286
Tabel 4. 144 Rekapitulasi Kontrol Torsi Balok Anak Setiap Pemodelan	288
Tabel 4. 145 Rekapitulasi Tulangan Balok Anak Setiap Pemodelan	289
Tabel 4. 146 Rekapitulasi <i>Output</i> Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung A	291
Tabel 4. 147 Rekapitulasi <i>Output</i> Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung B	292
Tabel 4. 148 Rekapitulasi <i>Output</i> Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung C	292
Tabel 4. 149 Rekapitulasi <i>Output</i> Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung D	293
Tabel 4. 150 Rekapitulasi <i>Output</i> Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung E	294
Tabel 4. 151 Profil Kolom K1 Gedung A.....	295
Tabel 4. 152 Rekapitulasi Kontrol Lentur Kolom Setiap Pemodelan.....	296
Tabel 4. 153 Rekapitulasi <i>Output</i> Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung A Setelah Pengkalian.....	296
Tabel 4. 154 Rekapitulasi <i>Output</i> Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung B Setelah Pengkalian.....	297
Tabel 4. 155 Rekapitulasi <i>Output</i> Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung C Setelah Pengkalian.....	298
Tabel 4. 156 Rekapitulasi <i>Output</i> Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung D Setelah Pengkalian.....	298
Tabel 4. 157 Rekapitulasi <i>Output</i> Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung E Setelah Pengkalian.....	299
Tabel 4. 158 Rekapitulasi Kontrol Geser Kolom Setiap Pemodelan	303
Tabel 4. 159 Rekapitulasi Tulangan Kolom Setiap Pemodelan.....	304
Tabel 4. 160 Data Parameter Metode <i>Pushover</i> ATC-40 Arah <i>X</i> Pemodelan Gedung A	306
Tabel 4. 161 Data Parameter Metode <i>Pushover</i> ATC-40 Arah <i>Y</i> Pemodelan Gedung A	307
Tabel 4. 162 Rekapitulasi Data Parameter Metode <i>Pushover</i> ATC-40.....	309
Tabel 4. 163 Rekapitulasi Tingkat Kinerja Metode <i>Pushover</i> ATC-40	310
Tabel 4. 164 Data Parameter Metode <i>Pushover</i> FEMA 356 Arah <i>X</i> Pemodelan Gedung A.....	311
Tabel 4. 165 Data Parameter <i>Pushover</i> Metode FEMA 356 Arah <i>Y</i> Pemodelan Gedung A.....	312
Tabel 4. 166 Rekapitulasi Data Parameter Metode <i>Pushover</i> FEMA 356.....	313
Tabel 4. 167 Rekapitulasi Tingkat Kinerja Metode <i>Pushover</i> FEMA 356	314
Tabel 4. 168 Distribusi Sendi Plastis <i>Pushover</i> Pemodelan Gedung A Arah <i>X</i>	316

Tabel 4. 169 Distribusi Sendi Plastis <i>Pushover</i> Pemodelan Gedung A Arah Y.....	317
Tabel 4. 170 Distribusi Sendi Plastis <i>Pushover</i> Pemodelan Gedung B Arah X.....	319
Tabel 4. 171 Distribusi Sendi Plastis <i>Pushover</i> Pemodelan Gedung B Arah Y.....	321
Tabel 4. 172 Distribusi Sendi Plastis <i>Pushover</i> Pemodelan Gedung C Arah X.....	323
Tabel 4. 173 Distribusi Sendi Plastis <i>Pushover</i> Pemodelan Gedung C Arah Y.....	325
Tabel 4. 174 Distribusi Sendi Plastis <i>Pushover</i> Pemodelan Gedung D Arah X.....	327
Tabel 4. 175 Distribusi Sendi Plastis <i>Pushover</i> Pemodelan Gedung D Arah Y.....	328
Tabel 4. 176 Distribusi Sendi Plastis <i>Pushover</i> Pemodelan Gedung E Arah X.....	330
Tabel 4. 177 Distribusi Sendi Plastis <i>Pushover</i> Pemodelan Gedung E Arah Y.....	332
Tabel 4. 178 Rekapitulasi Daktilitas Setiap Pemodelan.....	333
Tabel 4. 179 Perbandingan Rasio Partisipasi Massa Struktur Bangunan.....	346
Tabel 4. 180 Perbandingan Periode Fundamental Struktur Bangunan.....	347
Tabel 4. 181 Perbandingan Level Kinerja Struktur Bangunan.....	370
Tabel 4. 182 Perbandingan Tingkat Daktilitas Struktur Bangunan.....	371

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Brosur Mutu Beton	L1
Lampiran 2. Brosur Baja Tulangan	L2
Lampiran 3. Tabel Perbandingan Simpangan Seluruh Pemodelan Gedung dengan Variasi Luas dan Letak <i>Void</i>	L5
Lampiran 4. Tabel Perbandingan Simpangan Antar Lantai Seluruh Pemodelan Gedung dengan Variasi Luas dan Letak <i>Void</i>	L6
Lampiran 5. Tabel Perbandingan Kontrol P-Delta Seluruh Pemodelan Gedung dengan Variasi Luas dan Letak <i>Void</i>	L7
Lampiran 6. Tabel Perbandingan Gaya Dalam Balok dan Kolom Seluruh Pemodelan Gedung dengan Variasi Luas dan Letak <i>Void</i>	L8
Lampiran 7. Bukti Nilai <i>Plagiarism</i>	L10
Lampiran 8. <i>Letter of Acceptance</i> (LoA) Jurnal	L11
Lampiran 9. Lembar Bimbingan dan Persetujuan Sidang Tugas Akhir	L12
Lampiran 10. Lembar Perintah Revisi Sidang Tugas Akhir	15
Lampiran 11. Syarat Rekomendasi Cetak Buku Tugas Akhir	18
Lampiran 12. Surat Rekomendasi Cetak Buku Tugas Akhir	20
Lampiran 13. Media Massa Tugas Akhir	21
Lampiran 14. Surat Tugas Panitia Prodi	23
Lampiran 15. Bukti Korespondensi Artikel Tugas Akhir	27
Lampiran 16. Kendala dan Solusi Penyelesaian Tugas Akhir	36

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

$\bar{N}_{ch}$	=	Tahanan penetrasi standar rata-rata tanah nonkohesif dalam lapisan 30 m paling atas
$\bar{S}_u$	=	Kuat geser niralir rata-rata di dalam lapisan 30 m paling atas
$\bar{V}_s$	=	Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada regangan geser yang kecil, di dalam lapisan 30 m teratas
ℓ_d	=	Panjang penyaluran tarik batang tulangan ulir, kawat ulir, tulangan kawat las polos dan ulir, atau strand pratarik, mm
ℓ_{dh}	=	Panjang penyaluran tarik batang tulangan ulir atau kawat ulir dengan kait standar, yang diukur dari penampang kritis ujung luar kait, mm
ℓ_n	=	Panjang bentang bersih yang diukur muka ke muka tumpuan, mm
ℓ_o	=	Panjang, yang diukur dari muka joint sepanjang sumbu komponen struktur, dimana transversal khusus tulangan harus disediakan, mm
$\bar{N}$	=	Tahanan penetrasi standar rata-rata dalam lapisan 30 m paling atas
$\hat{b}$	=	Faktor kecepatan hembusan angin dalam 3 detik
$\bar{b}$	=	Faktor kecepatan angin rata-rata per jam
$\hat{\alpha}$	=	Resiprokal dari α
$\bar{\alpha}$	=	Eksponen pangkat untuk kecepatan angin rata-rata per jam
$\bar{\epsilon}$	=	Eksponen pangkat untuk skala panjang integral
μ	=	Koefisien friksi
A_{cp}	=	Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton, mm ²
A_g	=	Luas bruto penampang beton, mm ²
A_{gi}	=	Jumlah luas permukaan bruto dari amplop bangunan gedung (dinding dan atap) tidak termasuk A_g , dalam ft ² (m ²)
A_j	=	Luas penampang efektif pada joint di bidang yang paralel terhadap bidang tulangan yang menimbulkan geser dalam joint, mm ²
A_o	=	Luas total bukaan pada suatu dinding yang menerima tekanan eksternal positif, dalam ft ² (m ²) (SNI 1727:2020)
A_o	=	Luas bruto yang dilingkupi oleh lintasan alir geser, mm ² (SNI 2847:2019)
A_{oi}	=	Jumlah luas bukaan pada amplop bangunan gedung (dinding dan atap) tidak termasuk A_o , dalam ft ² (m ²)
A_{st}	=	Luas total tulangan longitudinal nonprategang (batang tulangan atau profil baja), mm ²
A_t	=	Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan torsi dalam spasi s, mm ²

A_T	=	Luas tributari dalam ft^2 (m^2)
A_v	=	Luas tulangan geser dalam spasi s , mm^2
A_x	=	Faktor amplifikasi torsi
B	=	Dimensi horizontal bangunan gedung diukur tegak lurus terhadap arah angin, dalam ft (m)
b_t	=	Lebar bagian penampang yang mengandung sengkang tertutup yang menahan torsi, mm
b_w	=	Lebar badan, tebal dinding, atau diameter penampang lingkaran, mm
C_0	=	Faktor modifikasi yang digunakan untuk menghubungkan perpindahan spektral dengan perpindahan atap bangunan yang kemungkinan terjadi (FEMA 356)
C_1	=	Dimensi kolom persegi atau persegi ekuivalen, kepala kolom (capital), atau braket yang diukur dalam arah bentang dimana ditentukan, mm
C_1	=	Faktor modifikasi yang digunakan untuk menghubungkan perpindahan maksimum inelastis yang diharapkan dengan perpindahan yang dihitung berdasarkan respons elastis linier (FEMA 356)
C_2	=	Dimensi kolom persegi atau persegi ekuivalen, kepala kolom (capital), atau braket yang diukur dalam arah tegak lurus terhadap c_1, mm
C_2	=	Faktor modifikasi yang digunakan untuk merepresentasikan pengaruh bentuk histeresis terhadap respons perpindahan maksimum (FEMA 356)
C_3	=	Faktor modifikasi yang digunakan untuk merepresentasikan peningkatan perpindahan akibat pengaruh orde kedua (FEMA 356)
C_d	=	Faktor pembesaran simpangan lateral
C_p	=	Koefisien tekanan eksternal yang digunakan dalam penentuan beban angin untuk bangunan gedung
C_s	=	Koefisien respons seismik
C_u	=	Koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung
C_{Vx}	=	Faktor distribusi vertikal
D	=	Pengaruh dari beban mati
d	=	Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal, mm
d_b	=	Diameter nominal batang tulangan, kawat, atau strand prategang, mm
E_h	=	Pengaruh gaya seismik horizontal
E_v	=	Pengaruh gaya seismik vertikal
f'_c	=	Kekuatan tekan beton yang disyaratkan, MPa
F_a	=	Koefisien situs untuk periode pendek yaitu pada periode 0,2 detik
F_i	=	Bagian dari gaya geser dasar, V , pada tingkat- i

F_v	=	1 Koefisien situs untuk periode panjang (pada periode 1 detik)
F_x	=	Gaya seismik lateral (kN) di level-x
F_y	=	Kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan, MPa
F_{yt}	=	Kekuatan leleh tulangan transversal yang disyaratkan f_y , MPa
G	=	Faktor efek hembusan angin
GC_{pi}	=	Perkalian koefisien tekanan internal dan faktor efek hembusan angin yang digunakan dalam menentukan beban angin untuk bangunan gedung
H	=	Tebal lapisan tanah (m) (SNI 1726:2019)
H	=	Tinggi bukit atau tebing (SNI 1727:2020)
h	=	Tinggi rata-rata atap bangunan gedung atau tinggi struktur-struktur lain, kecuali tinggi bagian terbawah atap yang digunakan untuk sudut atap θ yang kurang dari atau sama dengan 10° , dalam ft (m) (SNI 1727:2020)
h	=	Tebal atau tinggi keseluruhan komponen struktur, mm (SNI 2847:2019)
h_i	=	Tinggi dari dasar sampai tingkat i
h_n	=	Batasan tinggi struktur
h_{sx}	=	Tinggi tingkat di bawah level-x
h_x	=	Tinggi dari dasar sampai tingkat x
I_e	=	Faktor keutamaan gempa 8
K_1	=	Pengali untuk memperoleh K_{zt}
K_d	=	Faktor arah angin
K_e	=	Faktor elevasi permukaan tanah
K_e	=	Nilai kekakuan bangunan dalam menahan gaya horizontal pada arah tertentu, dengan mempertimbangkan kondisi aktual struktur (FEMA 356)
K_i	=	Besarnya kekakuan bangunan dalam menahan gaya horizontal (lateral) pada arah tertentu saat struktur masih berperilaku elastis (FEMA 356)
K_{LL}	=	Faktor elemen beban hidup
K_z	=	Koefisien eksposur tekanan velositas pada ketinggian z
K_{zt}	=	Faktor topografi
L	=	Pengaruh beban hidup (SNI 1726:2019)
L	=	Dimensi horizontal dari suatu bangunan gedung yang diukur paralel terhadap arah angin, dalam ft (m)
ℓ	=	Faktor skala panjang integral

L_h	=	⁸ Jarak horizontal pada sisi angin datang dari puncak bukit atau tebing sampai setengah tinggi bukit atau tebing
L_o	=	Beban hidup desain tanpa reduksi per ft^2 (m^2) dari luasan yang didukung oleh komponen struktur
L_r	=	Pengaruh beban hidup di atap ¹
M	=	Momen yang bekerja pada penampang, N-mm
M_{max}	=	Momen maksimum terfaktor pada penampang akibat beban luar yang bekerja, N-mm
M_n	=	Kekuatan lentur nominal pada penampang, N-mm
M_{nb}	=	Kekuatan lentur nominal balok termasuk pelat bilamana tertarik, yang merangka ke dalam joint, N-mm
M_{nc}	=	Kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur yang terendah, N-mm
M_{pr}	=	Kekuatan lentur mungkin komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan properti komponen struktur pada muka joint yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit $1,25f_y$ dan faktor reduksi kekuatan ϕ sebesar 1,0, N-mm
M_u	=	Momen terfaktor pada penampang, N-mm
P_{cp}	=	Keliling luar penampang beton, mm
PF_1	=	Faktor partisipasi modal untuk mode getar alami pertama (ATC-40)
P_h	=	Keliling garis pusat tulangan torsi transversal tertutup terluar, mm
PI	=	Indeks plastisitas tanah
P_i	=	Beban dorong (<i>pushover load</i>) atau gaya lateral yang diterapkan pada struktur pada langkah ke- <i>i</i> .
P_u	=	Gaya aksial terfaktor; diambil sebagai positif untuk tekan dan negatif untuk tarik, N ⁸
P_x	=	Total beban rencana vertikal tidak terfaktor pada dan di atas tingkat-x ⁸
q	=	Tekanan velositas, dalam lb/ft^2 (N/m^2)
q_h	=	Tekanan velositas pada ketinggian $z = h$, dalam lb/ft^2 (N/m^2)
q_i	=	Tekanan velositas untuk menentukan tekanan internal, dalam lb/ft^2 (N/m^2)
q_u	=	Beban terfaktor per satuan luas, N/m^2
q_z	=	Tekanan velositas pada tinggi z di atas tanah, dalam lb/ft^2 (N/m^2)
R	=	Koefisien modifikasi respons, lihat Tabel 12, Tabel 23, Tabel 28, atau Tabel 29 (SNI 1726:2019)

4	
R	= Beban air hujan (SNI 1726:2019)
s	= Spasi pusat ke pusat suatu benda, misalnya tulangan longitudinal, tulangan transversal, tendon, kawat atau angkur prategang, mm
S_I	= Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5 persen
S_a	= Parameter percepatan spektral menunjukkan seberapa besar percepatan yang dialami struktur pada periode tertentu akibat gempa bumi (ATC-40)
S_{DI}	= Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik, redaman 5 persen
S_{DS}	= Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek, redaman 5 persen
S_{MI}	= Percepatan percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{MS}	= Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_S	= Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5 persen
T	= Periode fundamental bangunan
T_a	= Periode fundamental pendekatan
T_e	= Periode getar utama struktur yang efektif setelah memperhitungkan perilaku nonlinier (FEMA 356)
T_i	= Periode getar alami struktur dalam kondisi elastis, dinyatakan dalam detik, pada arah analisis yang sedang diperhitungkan (FEMA 356)
T_L	= Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 2.2
T_n	= Kekuatan momen torsi nominal, N mm
T_{th}	= Momen torsi threshold, N-mm
T_u	= Momen torsi terfaktor pada penampang, N-mm
V	= Geser desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau (SNI 1726:2019)
V	= Kecepatan angin dasar yang diperoleh dari Buku Peta Angin Indonesia, dalam mi/h (m/s) (SNI 1727:2020)
V	= Gaya lateral total (ATC-40)
V_c	= Kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton, N
V_e	= Gaya geser desain untuk kombinasi pembebanan termasuk pengaruh gempa, N
V_i	= Jumlah gaya geser horizontal yang terjadi di dasar struktur pada saat beban lateral (<i>pushover load</i>) telah meningkat sampai tahap ke- <i>i</i> .

V_n	= Kekuatan geser nominal, N
V_t	= Nilai desain dari gaya geser dasar akibat seismik
V_u	= Gaya geser terfaktor penampang, N
V_x	= Geser seismik desain di tingkat x
W	= Beban angin (SNI 1726:2019)
W	= Berat seismik efektif struktur Pasal 7.8.1 (SNI 1726:2019)
W	= Berat mati bangunan ditambah dengan beban hidup (ATC-40)
w	= Kadar air tanah (persen)
w_i	= Tributari berat sampai tingkat-i
w_i/g	= Massa yang diberikan pada tingkat ke-i (ATC-40)
w_x	= Bagian dari berat seismik efektif struktur di tingkat x
x	= Tingkat yang sedang ditinjau
Z_g	= Tinggi nominal lapisan batas atmosfer
z_{min}	= Konstan eksposur
α_1	= Koefisien massa modal untuk mode getar alami pertama (ATC-40)
Δ	= Simpangan antar tingkat desain
Δ_a	= Simpangan antar tingkat yang diinginkan
Δ_{roof}	= Perpindahan atap (V dan δ_{roof} yang terkait membentuk titik-titik pada kurva kapasitas) (ATC-40)
δ_x	= Defleksi pusat massa di tingkat x
δ_{xe}	= Defleksi pada lokasi yang ditentukan dengan analisis elastik
θ	= Koefisien stabilitas untuk pengaruh P-Delta
λ	= Faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton ringan, semuanya relatif terhadap beton normal dengan kekuatan tekan yang sama
ρ	= Rasio A_s terhadap b_d
ϕ	= Faktor reduksi kekuatan
ϕ_{i1}	= Amplitudo dari mode getar ke-1 pada tingkat ke-i (ATC-40)
Ω_0	= Faktor kuat lebih

DAFTAR RUMUS

Rumus Nilai S_{MS} (2.1)	27
Rumus Nilai S_{MI} (2.2)	27
Rumus Nilai S_{DS} (2.3).....	28
Rumus Nilai S_{DI} (2.4).....	28
Rumus Nilai S_a untuk Nilai Periode $< T_0$ (2.5).....	29
Rumus Nilai S_a untuk Nilai Periode $> T_s$ dan $< T_L$ (2.6)	29
Rumus Nilai S_a untuk Nilai Periode $> T_L$ (2.7)	29
Rumus Nilai T_0 (2.8)	29
Rumus Nilai T_s (2.9).....	29
Rumus Nilai T_a (2.10)	42
Rumus Nilai T_a untuk Bangunan Kurang Dari 12 Tingkat (2.11).....	43
Rumus Nilai C_s (2.12)	43
Rumus Nilai C_{smax} Kondisi Periode $T < T_L$ (2.13)	43
Rumus Nilai C_{smax} Kondisi Periode $T > T_L$ (2.14)	43
Rumus Nilai C_{smin} (2.15)	43
Rumus Nilai C_{smin} Kondisi $S_I \Rightarrow 0,6g$ (2.16)	43
Rumus Nilai V (2.17)	44
Rumus Nilai F_x (2.18)	44
Rumus Nilai C_{vx} (2.19).....	44
Rumus Nilai V_x (2.20)	44
Rumus Nilai δ_x (2.21).....	45
Rumus Nilai θ (2.22).....	45
Rumus Nilai θ_{max} (2.23).....	45
Rumus Nilai Reduksi Beban L_L (2.24)	53
Rumus Nilai q_z atau q_h dalam Satuan mi/h (2.25)	61
Rumus Nilai q_z atau q_h dalam Satuan m/s (2.26).....	61
Rumus Nilai p (2.27).....	63
Rumus Batasan $M_{(+)}$ Tulangan Longitudinal pada Balok SRPMK (2.28)	69
Rumus Batasan $M_{(-)}$ Tulangan Longitudinal pada Balok SRPMK (2.29)	69
Rumus Nilai V_e Balok SRPMK (2.30)	70
Rumus Batasan V_u Balok SRPMK (2.31)	71
Rumus Batasan V_u Balok SRPMK (2.32)	71
Rumus Keperluan Penggunaan Tulangan Torsi Balok SRPMK (2.33).....	71
Rumus Nilai ϕT_{cr} (2.34)	71
Rumus Batasan Penampang Balok SRPMK terhadap Torsi (2.35).....	72
Rumus Nilai T_n (2.36)	72

Rumus Nilai T_n (2.37).....	72
Rumus Batasan Tulangan Torsi Minimum Balok SRPMK (2.38).....	72
Rumus Batasan Tulangan Torsi Minimum Balok SRPMK (2.39).....	72
Rumus Nilai A_t (2.40)	72
Rumus Nilai A_{min} (2.41)	72
Rumus Nilai A_{min} (2.42)	73
Rumus Batasan Spasi Tulangan Torsi Balok SRPMK (2.43).....	73
Rumus Batasan Jarak Tulangan Torsi Balok SRPMK (2.44).....	73
Rumus Batasan Mutu Beton (2.45)	73
Rumus Batasan Mutu Baja Tulangan (2.46).....	73
Rumus Batasan Kekuatan Lentur Minimum Kolom SRPMK (2.47)	73
Rumus Nilai ℓ_{dh} (2.48).....	77
Rumus Nilai PF_l (2.49).....	86
Rumus Nilai α_l (2.50).....	86
Rumus S_a (2.51).....	86
Rumus S_d (2.52).....	86
Rumus S_{dl} (2.53).....	87
Rumus T_e (2.54).....	90
Rumus δ_t (2.55).....	90

¹ BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Antara tahun 2019 hingga 2023, Kabupaten Sidoarjo mengalami peningkatan jumlah penduduk yang cukup signifikan setiap tahunnya. Disebutkan bahwa Indeks Pelaksanaan Pembangunan mencapai angka 93,92 persen, capaian tersebut menempatkan Sidoarjo sebagai daerah dengan tingkat pelaksanaan pembangunan tertinggi kedua di Provinsi Jawa Timur. Pertumbuhan ini berdampak pada meningkatnya kebutuhan lahan, sehingga banyak lahan pertanian yang mengalami alih fungsi menjadi lahan nonpertanian. Perubahan fungsi tersebut menyebabkan berkurangnya luas lahan pertanian, karena sebagian besar lahan digunakan untuk bangunan vertikal seperti gedung apartemen, rumah susun, rumah sakit umum, serta berbagai fasilitas umum lainnya yang tersebar di wilayah Kabupaten Sidoarjo (Wulandari dkk., 2024). Meskipun demikian, pembangunan gedung bertingkat sering kali menghasilkan bentuk bangunan yang tidak beraturan. Kondisi ini dapat memengaruhi perilaku struktur, terutama dalam menghadapi beban gempa (Pangestuti dkk., 2025).

Salah satu permasalahan yang umum terjadi pada perencanaan gedung bertingkat adalah ketidakaturan akibat adanya bukaan lantai atau *void* pada setiap lantai. Jika tidak dirancang secara tepat, keberadaan *void* dapat mengubah kekakuan struktur, sehingga menurunkan kinerja bangunan saat terjadi gempa. Kabupaten Sidoarjo, yang menjadi lokasi perencanaan dalam penelitian ini, terletak di antara Sesar Surabaya dan Sesar Waru yang merupakan bagian dari Sesar Kendeng yang memiliki potensi mengalami gempa dengan kekuatan magnitudo 6,5 hingga 7,0, sehingga faktor keutamaan gempa menjadi pertimbangan penting dalam perencanaan bangunan meliputi penentuan fungsi bangunan, risiko kerusakan, dan dampak terhadap keselamatan. Gempa bumi menjadi faktor utama dalam perencanaan struktur gedung karena dapat menyebabkan deformasi elemen struktur yang menimbulkan beban tambahan bergantung pada percepatan seismik, kekakuan, tinggi, dan massa bangunan (Prasetya dkk., 2022 ; Triayaska & Trimurtiningrum, 2023). Oleh sebab itu, perencanaan struktur gedung bertingkat SRPMK harus menerapkan faktor keutamaan gempa agar bangunan mampu bersifat duktail dan mampu menahan gaya vertikal dan horizontal akibat beban gempa, termasuk pengaruh ketidakberaturan bentuk akibat *void* yang dapat memicu kegagalan struktur.

Struktur bangunan gedung harus memiliki konfigurasi dan kekakuan yang memadai agar mampu menahan beban lateral serta mengurangi terjadinya

simpangan, salah satunya dengan menggunakan plat lantai yang memiliki bentuk simetris. Plat lantai berfungsi sebagai elemen horizontal yang menyalurkan beban mati dan beban hidup ke balok serta kolom, kemudian diteruskan ke pondasi. Namun, dalam perancangan bangunan gedung sering kali diperlukan adanya *void* atau bukaan. *Void* merupakan area kosong yang dirancang untuk keperluan tertentu, seperti tangga, lift, eskalator, instalasi MEP, sirkulasi udara dan cahaya, maupun elemen estetika. Secara aspek struktural, posisi dan ukuran *void* dapat menyebabkan ketidaksimetrisan terhadap pusat massa bangunan, serta menimbulkan ketidakberaturan sistem struktur yang berpotensi menimbulkan efek torsi dan penyaluran gaya lateral yang tidak optimal. Selain itu, keberadaan *void* dapat memperlemah kekuatan plat karena terputusnya tulangan baja dan beton pada area bukaan, sehingga bagian struktur di sekitar *void* menjadi lebih lemah akibat eksentrisitas yang terjadi dan berpengaruh terhadap kinerja keseluruhan struktur. Namun, ketidakberaturan pada bangunan dapat memengaruhi pusat massa, kekakuan struktur, serta respons bangunan terhadap gaya gempa. Perpindahan pusat massa akan menimbulkan eksentrisitas yang memicu momen torsi, sedangkan kekakuan yang berlebihan menyebabkan periode struktur menjadi lebih pendek. Kondisi tersebut menghasilkan getaran yang cepat dan simpangan yang besar. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.2, struktur diklasifikasikan menjadi beraturan dan tidak beraturan. Sementara itu, Pasal 7.3.3 memberikan batasan dan persyaratan tambahan bagi bangunan yang memiliki ketidakberaturan secara horizontal maupun vertikal, guna menjamin keselamatan penghuni (Alow dkk., 2019 ; Pangestuti dkk., 2025).

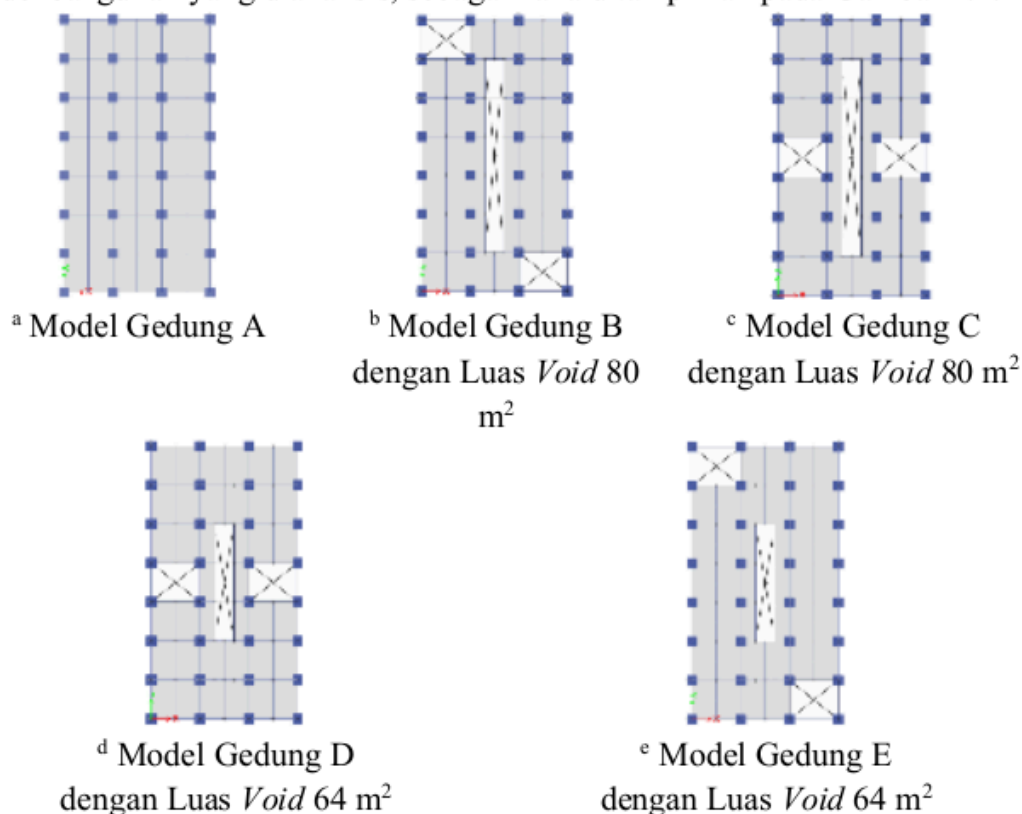
Dalam perencanaan pemodelan gedung bertingkat yang berada pada jalur gempa aktif, aspek ketidakberaturan vertikal dan horizontal perlu menjadi perhatian utama. Bangunan yang memiliki bentuk simetris dan beraturan cenderung mampu mendistribusikan gaya gempa secara merata ke seluruh elemen struktur, sehingga risiko terjadinya kerusakan menjadi lebih rendah. Sebaliknya, bangunan yang tidak beraturan memiliki distribusi gaya gempa yang tidak merata dan berpotensi lebih tinggi mengalami keruntuhan (S. B. Wulandari & Sutriyono, 2023). Pemilihan sistem struktur harus disesuaikan dengan tingkat risiko gempa di wilayah setempat. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) diterapkan pada daerah dengan risiko gempa rendah, sedangkan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) digunakan untuk wilayah dengan tingkat risiko sedang. Untuk daerah yang memiliki intensitas gempa tinggi, digunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sistem SRPMK dirancang agar mampu menahan gaya lentur dan aksial serta memiliki tingkat daktilitas yang tinggi, sehingga struktur tetap stabil meskipun mengalami deformasi inelastis.

Sebuah struktur dapat dikategorikan sebagai SRPMK apabila memenuhi sejumlah parameter utama, antara lain dengan mempertimbangkan faktor keutamaan gempa, faktor reduksi gempa, serta tingkat daktilitas atau kekakuan struktur yang sesuai dengan ketentuan perencanaan bangunan tahan gempa (Ramadhan dkk., 2024). Berdasarkan SNI 1726:2002 Pasal 4.2, struktur gedung SRPMK 10 lantai yang digunakan dalam penelitian ini, dengan tinggi antar lantai 4 meter dan tinggi total bangunan 40 meter, termasuk dalam kategori struktur tidak beraturan. Hal ini disebabkan karena bangunan tersebut tidak memenuhi kriteria yang tercantum pada SNI 1726:2002 Pasal 4.2.1, yang menyatakan bahwa tinggi struktur gedung yang diukur dari taraf penjepitan lateral dibatasi hingga maksimum 10 tingkat atau 40 meter. Sehingga, bangunan yang ditinjau berada pada batas ketentuan tersebut sehingga diklasifikasikan sebagai struktur tidak beraturan. Tinggi bangunan dalam penelitian ini juga disesuaikan dengan ketentuan yang berlaku di lokasi penelitian. Berdasarkan Peraturan Daerah Kabupaten Sidoarjo Nomor 4 Tahun 2024 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Tahun 2024–2044, Pasal 81 ayat 1b, disebutkan bahwa pada Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP), bangunan yang berada di bawah permukaan horizontal luar dibatasi dengan ketinggian maksimum 150 meter dari elevasi landas pacu Bandar Udara Juanda.

Peninjauan struktur secara lebih mendalam perlu dilakukan terkait keberadaan *void* pada bangunan. Namun, letak dan luas *void* dapat menimbulkan permasalahan terhadap perilaku serta kekuatan struktur bangunan. Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan hal ini. Penelitian dari Pangestuti dkk., (2025) menguji enam model struktur, terdiri atas satu model tanpa *void* dan lima model dengan variasi *void*, yaitu tipe 1 berukuran 3 x 3 meter di tengah struktur, tipe 2 berukuran 4,5 x 4,5 meter di tengah struktur, tipe 3 berukuran 6 x 6 meter di tengah struktur, tipe 4 berukuran 6 x 6 meter di tepi sudut struktur, dan tipe 5 berukuran 6 x 6 meter di tepi lantai struktur menggunakan bantuan *software* SAP2000. Hasil penelitian menunjukkan bahwa analisis perilaku struktur, variasi ukuran, dan penempatan *void* terbukti memengaruhi respons seismik bangunan. Dalam analisis gaya geser antar lantai, peningkatan ukuran *void* menyebabkan penurunan gaya geser, baik pada arah X maupun Y. Selain itu, simpangan antar lantai juga dipengaruhi oleh ukuran *void*, di mana semakin besar *void*, simpangan yang terjadi justru semakin kecil. Penempatan *void* di sudut bangunan menghasilkan simpangan terkecil dibandingkan dengan posisi lainnya. Untuk menghitung respons struktur terhadap beban gempa, salah satu pendekatan yang digunakan adalah analisis *pushover*. Metode ini bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana struktur mampu menahan beban lateral serta memastikan agar

kerusakan tidak terjadi pada elemen struktural utama. Prinsip dasar bangunan tahan gempa adalah memperbolehkan kerusakan terbatas pada komponen nonstruktural, namun elemen strukturnya harus tetap utuh.

Berdasarkan Data Olahan variasi ukuran dan penempatan *void* oleh Pangestuti dkk., (2025), analisis yang dilakukan hanya mencakup aspek perilaku dan kekuatan struktur. Penelitian ini melengkapi Data Olahan tersebut dengan menambahkan pengaruh letak dan luas *void* terhadap kinerja struktur menggunakan analisis *pushover* sesuai dengan standar ATC-40 dan FEMA 356 tentang kinerja bangunan, serta mengacu pada peraturan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan SNI 2847:2019 menggunakan *software* ETABS 22. Studi kasus pada penelitian ini berfokus pada perencanaan struktur gedung 10 lantai dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang memiliki variasi letak dan luas *void*, berlokasi di Kabupaten Sidoarjo. Agar penelitian ini memiliki perbandingan yang sepadan, maka *preliminary design* diseragamkan, mencakup elemen-elemen struktur seperti balok, kolom, pelat, pembebanan, fungsi bangunan, serta parameter-parameter lainnya. Penelitian ini mencakup lima model bangunan yang dianalisis, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Pemodelan Struktur Gedung SRPMK dengan Variasi Luas dan Letak *Void* yang Diteliti

(Sumber : Olahan Peneliti, 2026)

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh letak dan luas *void* pada pelat lantai terhadap perilaku, kekuatan, dan kinerja struktur gedung bertingkat. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat menjadi acuan dalam menentukan ukuran dan penempatan *void* yang tepat pada desain bangunan bertingkat.

4

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi letak dan luas *void* terhadap gaya dalam serta kekuatan struktur yang terjadi pada balok, kolom, dan hubungan antara balok dan kolom pada struktur SRPMK model gedung A, B, C, D, E sepuluh lantai?
2. Bagaimana pengaruh variasi letak dan luas *void* terhadap simpangan, periode, gaya geser, *story drift*, dan P-Delta pada struktur SRPMK model gedung A, B, C, D, E sepuluh lantai?
3. Bagaimana perbandingan tingkat kinerja struktur SRPMK model gedung A, B, C, D, E sepuluh lantai akibat adanya variasi letak dan luas *void* berdasarkan aturan ATC-40 dan FEMA 356?

4

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian rumusan masalah, maka tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi letak dan luas *void* terhadap gaya dalam serta kekuatan struktur yang terjadi pada balok, kolom, dan hubungan antara balok dan kolom pada struktur SRPMK model gedung A, B, C, D, E sepuluh lantai.
2. Mengetahui pengaruh variasi letak dan luas *void* terhadap simpangan, periode, gaya geser, *story drift*, dan P-Delta pada struktur SRPMK model gedung A, B, C, D, E sepuluh lantai.
3. Membandingkan tingkat kinerja struktur SRPMK model gedung A, B, C, D, E sepuluh lantai akibat adanya variasi letak dan luas *void* berdasarkan aturan ATC-40 dan FEMA 356.

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, agar tidak terjadi perluasan pembahasan. Maka batasan-batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Struktur yang di tinjau adalah struktur SRPMK bangunan gedung 10 lantai.
2. Tidak meninjau perencanaan pondasi.
3. Tidak meninjau perencanaan anggaran biaya.
4. Tidak mencantumkan *output* gambar desain.
5. Beban yang dianalisa meliputi beban mati, hidup, angin, dan gempa.

1.5 Manfaat Penelitian

Penulisan laporan ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Manfaat untuk Mahasiswa
 - 1) Menyediakan referensi ilmiah yang dapat dijadikan acuan dalam penyusunan tugas akhir dengan topik penelitian sejenis.
 - 2) Memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai perencanaan dan analisis struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada bangunan gedung beton bertulang dengan variasi letak serta luas *void*.
2. Manfaat untuk Institusi Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
 - 1) Memperkaya karya ilmiah dan literatur di lingkungan Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, khususnya pada Program Studi Teknik Sipil.
 - 2) Menjadi rujukan dalam pengembangan kurikulum Program Studi Teknik Sipil, terutama pada Data Olahan mengenai pengaruh variasi letak dan luas *void* terhadap struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada bangunan gedung beton bertulang.
3. Manfaat untuk Penelitian Selanjutnya
 - 1) Menjadi dasar acuan bagi penelitian lanjutan yang membahas variasi letak dan luas *void* pada struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) bangunan gedung beton bertulang.
 - 2) Memberikan gambaran awal mengenai pengaruh *void* terhadap perilaku, kekuatan, dan kinerja struktur, sehingga dapat dikembangkan lebih lanjut dengan variabel maupun metode analisis yang berbeda.
 - 3) Mendorong penelitian lanjutan untuk mengeksplorasi penerapan variasi *void* pada tipe struktur, material, maupun kondisi pembebanan yang lebih kompleks.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan Data Olahan terhadap hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan memiliki keterkaitan langsung dengan topik yang sedang diteliti. Tinjauan ini bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai perkembangan penelitian pada bidang yang relevan, mengidentifikasi temuan-temuan penting, serta menemukan celah penelitian atau *research gap* yang belum terjawab secara menyeluruh. Melalui Data Olahan terhadap penelitian terdahulu, peneliti dapat memperkuat landasan teoritis, merumuskan masalah dan tujuan penelitian secara lebih terarah, serta menegaskan posisi penelitian ini sebagai bentuk pengembangan dari studi-studi sebelumnya. Berikut ini merupakan penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang sedang dilakukan saat ini.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti / Tahun	Judul Penelitian	Metode	Hasil
1	Pramesta Armanisag Pangestuti, Agustinus Sungsang Nana Patria, Ilham Putra Sholikin / 2025	Pengaruh Variasi Ukuran dan Penempatan Void Plat Lantai Terhadap Perilaku dan Kekuatan Gedung Bertingkat	Analisis menggunakan <i>software</i> ETABS	Variasi ukuran <i>void</i> memengaruhi periode getar, di mana semakin besar ukuran <i>void</i> maka nilai periode semakin kecil, yaitu 1,213 detik pada arah X dan Y Model 4. Penempatan <i>void</i> di sudut dan tepi lantai bangunan menghasilkan deformasi lebih besar pada arah X, Y, dan Z pada Model 4 dan 6 dibandingkan <i>void</i> di tengah bangunan. Variasi ukuran <i>void</i> juga berpengaruh terhadap simpangan antar lantai, semakin besar <i>void</i> maka

(Sumber : Kajian Peneliti, 2026)

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No	Nama Peneliti / Tahun	Judul Penelitian	Metode	Hasil
				simpangan semakin kecil, dengan nilai 23,743 mm pada arah X dan Y Model 4 dan 6. Penempatan <i>void</i> di sudut menunjukkan simpangan terkecil sebesar 23,72 mm pada arah X dan Y Model 5, dengan selisih 0,023 mm hingga 0,699 mm.
2	Grace Ruth Alow, Steenie E. Wallah, Servie O. Dapas / 2019	Studi Mengenai Pengaruh Penempatan dan Luasan <i>Void</i> Terhadap Struktur Bangunan Tahan Gempa Yang Memiliki Dinding Geser Simetris	Analisis menggunakan <i>software</i> ETABS	Variasi luasan <i>void</i> memengaruhi ragam gerak struktur, di mana semakin besar <i>void</i> maka periode semakin kecil. Model 5 memiliki simpangan dan periode paling kecil dengan selisih periode 0,019–0,030 detik serta selisih simpangan 0,648–0,941 mm. Penempatan <i>void</i> di dekat pusat massa dan kekakuan juga lebih efektif mengurangi efek torsional dibandingkan penempatan di sudut atau tepi struktur.
3	Mahega Adi Prasetya, Ibnu sina Wirakusuma, Gede Sarya /	Kinerja Struktur Gedung Perkuliahan 10 Lantai	Analisis menggunakan <i>software</i> SAP2000 v.21.0.0	Hasil analisis <i>pushover</i> menunjukkan bahwa gaya geser maksimum pada arah X sebesar 1.616.120,47 kg dengan

(Sumber : Kajian Peneliti, 2026)

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No	Nama Peneliti / Tahun	Judul Penelitian	Metode	Hasil
	2022	³⁶ Berdasarkan Analisis <i>Nonlinier Pushover</i> dan ATC-40 (Studi Kasus : Graha Wiyata UNTAG Surabaya)		perpindahan 0,399 m, sedangkan pada arah Y sebesar 6.036.499,16 kg dengan perpindahan 0,115 m. Pola keruntuhan dimulai dari balok dan seluruh sendi plastis berakhir pada kategori <i>Immediate Occupancy</i> (IO) dengan nilai <i>drift ratio</i> 0,007 pada arah X dan 0,002 pada arah Y.
4	Shinta Berlinda Wulandari, Bantot Sutriyono / 2023	Evaluasi Struktur SRPM Gedung 10 Lantai Sesuai Peraturan Gempa SNI 1726:2019 Menggunakan Metode Inelastik <i>Non- Linier Time History Analysis</i>	Analisis menggunakan <i>software</i> SAP2000 v.22.0.0	Hasil <i>Time History Analysis</i> menunjukkan <i>displacement</i> arah X dengan SNI 1726:2019 lebih besar, yaitu 1,315–2,675 mm dibandingkan SNI 1726:2012, sedangkan arah Y lebih kecil. Nilai <i>drift</i> pada kedua arah tetap berada dalam batas izin.
5	Syaiful Anam, Bantot Sutriyono, Retno Trimurtiningrum / 2020	Studi Perbandingan Kinerja Gedung Beton	Analisis menggunakan <i>software</i> SAP2000	Analisis <i>pushover</i> dan <i>time history</i> menunjukkan sendi plastis pertama terjadi pada balok dengan

(Sumber : Kajian Peneliti, 2026)

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No	Nama Peneliti / Tahun	Judul Penelitian	Metode	Hasil
		⁶⁶ Bertulang SRPMK 6 Lantai Dengan Menggunakan Metode <i>Pushover</i> dan <i>Nonlinear</i> <i>Time History</i> <i>Analysis</i>		mekanisme <i>Strong Column Weak Beam</i> (SCWB). Level kinerja struktur berada pada kategori <i>Immediate Occupancy</i> (IO) dengan target <i>displacement</i> ⁴¹ <i>pushover</i> 0,092 m arah X dan 0,096 m arah Y, serta <i>displacement time history</i> 0,012869 m (arah X, beban Kobe) dan 0,000214 m (arah Y, beban San Fernando).
6	Jaka Propika, Yanisfa Septiarsilia, Eka Susanti, Agus Edy Prasetyo / 2024	⁷⁷ <i>Analisis Pushover Terhadap Struktur Gedung Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Menggunakan Metode Precast</i>	Analisis menggunakan <i>software</i> SAP2000	Periode fundamental struktur modifikasi sebesar 1,6059 detik, sedangkan existing 1,2349 detik, dan keduanya masih dalam batas aman. Berdasarkan analisis FEMA 440, level kinerja existing 0,00593 (arah X) dan 0,00641 (arah Y), sedangkan modifikasi 0,00305 (arah X) dan 0,00499 (arah Y). Dengan demikian, keduanya termasuk dalam kategori <i>Immediate Occupancy</i> (IO).

(Sumber : Kajian Peneliti, 2026)

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No	Nama Peneliti / Tahun	Judul Penelitian	Metode	Hasil
7	M. Fathin Ramadhan, Nurul Rochmah, Bantot Sutriyono / 2024	Perbandingan Kinerja dan Harga Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Ganda Gedung 12 Lantai	Analisis menggunakan <i>software</i> ETABS dan Autodesk Revit	Berdasarkan analisis FEMA 440, level kinerja gedung 10 lantai pada SRPMK maupun Sistem Ganda berada pada kategori <i>Immediate Occupancy</i> (IO). Dari sisi biaya, struktur SRPMK lebih mahal 25,43% dibandingkan Sistem Ganda.
8	Aviska Triayaska, Retno Trimurtiningrum / 2023	Analisa Perbandingan Level Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai Berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 Menggunakan Metode <i>Pushover</i>	Analisis menggunakan <i>software</i> SAP2000 v.22.0.0	Perbandingan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 menunjukkan peningkatan respons spektrum 5,35% serta partisipasi massa sebesar 0,4% pada arah X dan 0,2% pada arah Y. Nilai gaya dalam balok arah X berkisar 17,4%–18,7% dan arah Y 14,9%–16,9%, sedangkan pada kolom arah X sebesar 16,2%–19,6% dan arah Y 12,2%–16,4%. Perbedaan

(Sumber : Kajian Peneliti, 2026)

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No	Nama Peneliti / Tahun	Judul Penelitian	Metode	Hasil
				gaya geser dasar meningkat 17,72% pada arah X dan 16,81% pada arah Y. Demikian pula simpangan antar lantai meningkat sebesar 0,0583% hingga 0,0920%.
9	Marzuqi Usman, Sudarso, Ikhwanuddin / 2025	Struktur Tahan Gempa terhadap Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal Gedung Pendidikan Terpadu Agribisnis Politeknik Negeri Jember	Analisis menggunakan <i>software</i> SAP2000 v.22.0.0	Gedung Pendidikan Terpadu Agribisnis Politeknik Negeri Jember memiliki ketidakberaturan horizontal tipe H.2 dan vertikal tipe 2 (massa) pada lantai atap sesuai SNI 1726:2019. Analisis <i>pushover</i> menunjukkan sendi plastis pertama muncul pada Step 1 dengan gaya dorong 10.213,48 kN arah X dan 6.524,85 kN arah Y, serta maksimum 14.286,09 kN arah X dan 8.336,20 kN arah Y. Beberapa kolom dasar mencapai kondisi <i>Life Safety</i> dan

(Sumber : Kajian Peneliti, 2026)

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No	Nama Peneliti / Tahun	Judul Penelitian	Metode	Hasil
				<i>Collapse Prevention</i> , sedangkan simpangan atap maksimum 0,007 arah X dan 0,008 arah Y masih dalam batas <i>Damage Control</i> .
10	Dewi Nur Fitri Utami, Eka Susanti, Heri Istiono / 2024	Evaluasi Kinerja Struktur Beton Gedung Fakultas Perikanan dan Kelautan Unair Surabaya Dengan Metode <i>Pushover Analysis</i>	Analisis menggunakan <i>software</i> SAP2000 v.22.0.0	Analisis <i>pushover</i> pada Gedung FPK menghasilkan <i>displacement</i> 0,231 m dengan <i>drift</i> maksimum 0,00546 dan <i>inelastic drift</i> 0,005, yang termasuk kategori <i>Immediate Occupancy</i> (IO). Struktur dinyatakan aman, dapat langsung digunakan pascagempa, serta memiliki daktilitas tingkat 1 (elastis) dengan faktor daktilitas 1,0.

(Sumber : Kajian Peneliti, 2026)

Pramesta Armanisag Pangestuti, Agustinus Sungsang Nana Patria, dan Ilham Putra Sholikin (2025) melalui penelitian berjudul “*Pengaruh Variasi Ukuran dan Penempatan Void Plat Lantai Terhadap Perilaku dan Kekuatan Gedung Bertingkat*”. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis permodelan struktur menggunakan bantuan *software* ETABS dengan tujuan menganalisis periode getar, deformasi, simpangan antar lantai, serta gaya dalam elemen struktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model tanpa *void* memiliki periode terbesar 1,258 detik akibat massa lebih besar. Deformasi terbesar terdapat pada Model 2 sebesar 76,14% arah X dan Y, sedangkan rotasi terbesar pada Model 1 sebesar 76,11% arah Z. Simpangan terbesar terjadi pada struktur tanpa *void* sebesar 24,64 mm arah X dan Y di lantai 4, sedangkan simpangan terkecil pada Model 5 sebesar 23,72 mm dengan *void* di sudut. Semakin besar ukuran *void*, gaya geser dasar dan simpangan antar lantai semakin kecil, sementara *void* di

tengah menghasilkan simpangan lebih besar dibanding *void* di tepi dan sudut. Analisis gaya dalam menunjukkan momen terbesar balok pada Model 1 sebesar 119,4843 kNm, gaya geser terbesar balok pada Model 2 sebesar 132,6867 kN, momen kolom terbesar pada Model 2 sebesar 110,7637 kNm, gaya geser kolom terbesar pada Model 2 sebesar 60,8593 kN, serta gaya aksial terbesar pada Model 5 sebesar 262,6851 kN. Hal ini membuktikan variasi ukuran dan penempatan *void* berpengaruh signifikan terhadap kekakuan, simpangan, dan gaya dalam pada balok maupun kolom (Pangestuti dkk., 2025).

Grace Ruth Alow, Steenie E. Wallah, dan Servie O. Dapas (2019) melalui penelitian berjudul “*Studi Mengenai Pengaruh Penempatan dan Luasan Void Terhadap Struktur Bangunan Tahan Gempa Yang Memiliki Dinding Geser Simetris*”. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis permodelan struktur menggunakan bantuan *software* ETABS dengan tujuan menganalisis simpangan antar lantai dan efek torsional yang terjadi sehingga dapat mengetahui respon akibat variasi dari *void*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Model 1 menghasilkan simpangan terbesar 39,4 mm arah X dan 11,82 mm arah Y, menandakan struktur tanpa *void* lebih responsif terhadap gempa. Pada Model 3, perpindahan terjadi pada dua arah sekaligus dengan nilai terbesar 0,102 mm pada sumbu X, yang memperlihatkan adanya efek torsional akibat pergeseran titik berat. Model 5 memiliki simpangan terkecil karena *void* mendekati 50% luas lantai, sehingga massa struktur berkurang. Analisis Model 4 dan 5 menunjukkan selisih perpindahan kecil, yaitu 0,005 mm arah X dan 0,029 mm arah Y akibat gempa X, serta 0,001 mm arah X dan 0,096 mm arah Y akibat gempa Y. Hal ini membuktikan bahwa penempatan *void* sebaiknya dekat pusat massa dan pusat kekakuan untuk mengurangi efek torsional, serta semakin besar *void* maka simpangan semakin kecil (Alow dkk., 2019).

Mahega Adi Prasetya, Ibnuusina Wirakusuma, dan Gede Sarya (2022) melalui penelitian berjudul “*Kinerja Struktur Gedung Perkuliahan 10 Lantai Berdasarkan Analisis Nonlinier Pushover dan ATC-40*”. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis *nonlinier Pushover* berbasis ATC-40 menggunakan bantuan *software* SAP2000 dengan tujuan menganalisis level kinerja bangunan Gedung Graha Wiyata UNTAG Surabaya dengan beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas maksimum arah X sebesar 1.616.120,47 kg dengan perpindahan 0,399 m, sedangkan arah Y sebesar 6.036.499,16 kg dengan perpindahan 0,115 m. Sendi plastis pertama muncul pada balok di Step 5 untuk arah X dan Step 7 untuk arah Y, kemudian berkembang hingga *performance point* dan seluruhnya berada pada kategori *Immediate Occupancy* (IO). Analisis *capacity spectrum method*

menunjukkan target *displacement* 0,276 m arah X dan 0,106 m arah Y dengan *drift ratio* $< 0,01$. Hal ini membuktikan gedung berada pada level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) sehingga tetap aman dan dapat difungsikan kembali pascagempa (Prasetya dkk., 2022).

Shinta Berlinda Wulandari dan Bantot Sutriyono (2023) melalui penelitian berjudul “*Evaluasi Struktur SRPM Gedung 10 Lantai Sesuai Peraturan Gempa SNI 1726:2019 Menggunakan Metode Inelastik Non- Linier Time History Analysis*”. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis inelastik *nonlinier Time History* menggunakan bantuan *software* SAP2000 dengan tujuan mengevaluasi kinerja struktur berdasarkan perbandingan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019, khususnya terhadap *displacement* dan *drift* akibat beban gempa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *displacement* arah X lebih besar pada SNI 1726:2019, misalnya di lantai 10 meningkat dari 50,802 mm menjadi 80,675 mm, sedangkan arah Y lebih kecil, dari 55,999 mm menjadi 36,918 mm. Analisis *drift* memperlihatkan bahwa nilai pada kedua peraturan tetap di bawah batas izin, seperti di lantai 10 *drift* arah X sebesar 18,487 mm dan 32,552 mm dibandingkan batas 52,31 mm, sedangkan arah Y sebesar 34,521 mm dan 22,698 mm juga masih aman. Analisis *drift ratio* menunjukkan nilai $< 0,01$ pada kedua arah. Hal ini membuktikan bahwa gedung 10 lantai dengan struktur SRPM tetap berada pada level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) sehingga dapat langsung difungsikan kembali pascagempa (Wulandari & Sutriyono, 2023).

Syaiful Anam, Bantot Sutriyono, dan Retno Trimurtiningrum (2020) melalui penelitian berjudul “*Studi Perbandingan Kinerja Gedung Beton Bertulang SRPMK 6 Lantai Dengan Menggunakan Metode Pushover dan Nonlinear Time History Analysis*”. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis *nonlinier Pushover* dan *Time History* menggunakan bantuan *software* SAP2000 dengan tujuan membandingkan hasil kinerja gedung beton bertulang 6 lantai dengan sistem struktur SRPMK menggunakan analisa *pushover* dan analisa *time history*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa simpangan antar lantai arah X dan Y masih di bawah batas izin SNI 1726:2019 dengan target perpindahan 0,092 m arah X dan 0,096 m arah Y. Nilai *total drift* 0,0038 dan $0,0041 < 0,01$ sehingga struktur berada pada kategori *Immediate Occupancy* (IO). Analisis *time history* memperlihatkan sendi plastis pertama terbentuk pada balok, menandakan mekanisme *Strong Column Weak Beam*. *Drift* maksimum tercatat 12,869 mm pada arah X akibat *ground motion* scaled Kobe dan 5,134 mm pada arah Y akibat *ground motion* scaled San Fernando, dengan *drift ratio* masing-masing 0,00054 dan 0,000214, jauh di bawah batas 0,01. Hal ini membuktikan

bahwa struktur tetap aman dan berada pada level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) (Anam dkk., 2020).

Jaka Propika, Yanisfa Septiarsilia, Eka Susanti, dan Agus Edy Prasetyo (2024) melalui penelitian berjudul “*Analisis Pushover Terhadap Struktur Gedung Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Menggunakan Metode Precast*”. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis nonlinier Pushover menggunakan bantuan software SAP2000 dengan tujuan menganalisis kekuatan momen nominal balok dan kolom rencana serta kinerja struktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa periode fundamental struktur modifikasi 1,6059 detik dan existing 1,2349 detik, keduanya masih dalam batas SNI 1726:2019. Analisis FEMA 440 menghasilkan level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) pada kedua struktur. Drift ratio arah X sebesar 0,00593 (existing) dan 0,00305 (modifikasi), sedangkan arah Y sebesar 0,00641 (existing) dan 0,00499 (modifikasi). Hal ini membuktikan struktur baik existing maupun modifikasi tetap mampu menahan beban gempa dengan kerusakan minimal dan dapat langsung difungsikan kembali pascagempa (Propika dkk., 2024).

M. Fathin Ramadhan, Nurul Rochmah, dan Bantot Sutriyono (2024) melalui penelitian berjudul “*Perbandingan Kinerja dan Harga Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Ganda Gedung 12 Lantai*”. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis nonlinier Pushover terhadap kinerja dan biaya menggunakan bantuan software ETABS dan Autodesk Revit dengan tujuan membandingkan level kinerja struktur serta biaya yang ada pada struktur SRPMK dan struktur Sistem Ganda 12 lantai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur SRPMK displacement maksimum 288,031 mm dengan gaya geser 71.038,86 kN arah X, dan 310,926 mm dengan gaya geser 91.217,22 kN arah Y. Pada struktur sistem ganda displacement lebih besar, yaitu 398,158 mm dengan gaya geser 80.861,54 kN arah X, serta 528,592 mm dengan gaya geser 135.571,2 kN arah Y. Hal ini menandakan sistem ganda lebih daktail, dibuktikan dengan ductility ratio arah X sebesar 4,46 dan arah Y 5,88, lebih tinggi dibanding SRPMK arah X sebesar 3,92 dan arah Y sebesar 3,55. Drift ratio keduanya tetap masuk kategori *Immediate Occupancy* (IO) sesuai ATC-40. Dari sisi biaya, SRPMK memerlukan 6.395,58 m³ beton dan 1.407.930 kg baja tulangan dengan total Rp 39,61 miliar, sedangkan sistem ganda hanya 4.606,35 m³ beton dan 1.063.096 kg baja tulangan dengan Rp 29,53 miliar. Hal ini membuktikan meskipun keduanya sama-sama berlevel *Immediate Occupancy* (IO), sistem ganda lebih efisien secara biaya hingga 25,43% dibanding SRPMK (Ramadhan dkk., 2024).

Aviska Triayaska, dan Retno Trimurtiningrum (2023) melalui penelitian berjudul “*Analisa Perbandingan Level Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai Berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 Menggunakan Metode Pushover*”. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis nonlinier Pushover menggunakan bantuan software SAP2000 dengan tujuan mengevaluasi kinerja struktur berdasarkan perbandingan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019, khususnya seberapa besar perbedaan partisipasi massa, gaya geser dasar, serta simpangan struktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa partisipasi massa meningkat 0,4% pada arah X dan 0,2% pada arah Y. Nilai gaya dalam balok arah X rata-rata gaya normal 18,7%, geser 17,4%, dan momen 18,4%, sedangkan arah Y masing-masing 14,9%, 15,8%, dan 16,9%. Untuk kolom, arah X menunjukkan rata-rata gaya normal 16,2%, geser 19,5%, dan momen 19,6%, sementara arah Y masing-masing 12,2%, 16,4%, dan 16,3%. Gaya geser dasar meningkat 17,72% pada arah X dan 16,81% pada arah Y. Semua model memenuhi batas simpangan antar lantai, meskipun terdapat peningkatan 0,0583 % – 0,0920 %. Analisis drift ratio memperlihatkan nilai kurang dari 0,01. Hal ini membuktikan bahwa penerapan SNI 1726:2019 menghasilkan respons struktur lebih besar dibandingkan SNI 1726:2012, baik pada partisipasi massa, gaya dalam, maupun simpangan, namun tetap berada pada level kinerja Immediate Occupancy (IO) (Triayaska & Trimurtiningrum, 2023).

Marzuqi Usman, Sudarso, dan Ikhwanuddin (2025) melalui penelitian berjudul “*Struktur Tahan Gempa terhadap Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal Gedung Pendidikan Terpadu Agribisnis Politeknik Negeri Jember*”. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis nonlinier Pushover menggunakan bantuan software SAP2000 dengan tujuan mengevaluasi kinerja struktur bangunan tahan gempa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur gedung tidak mengalami ketidakberaturan horizontal (H.1a–H.5) maupun vertikal (V.1a–V.5b). Sendi plastis pertama terbentuk pada kolom lantai dasar sejak step 1 dan berkembang hingga step 6. Pada tahap awal, kinerja struktur berada pada kategori Immediate Occupancy (IO), namun dengan bertambahnya beban lateral sebagian elemen masuk kategori Life Safety (LS) hingga Collapse Prevention (CP). Kapasitas gaya geser maksimum tercatat 14.286,09 kN dengan perpindahan 0,20 m pada arah X dan 8.336,20 kN dengan perpindahan 0,21 m pada arah Y. Simpangan total dan simpangan inelastis masing-masing sebesar 0,007 arah X dan 0,008 arah Y, keduanya berada dalam batas Damage Control (0,01–0,02). Hal ini membuktikan bahwa struktur memiliki kinerja seismik memadai, dengan deformasi plastis terbatas dan fungsi bangunan tetap aman pascagempa (Usman dkk., 2025).

Dewi Nur Fitri Utami, Eka Susanti, dan Heri Istiono (2024) melalui penelitian berjudul “*Evaluasi Kinerja Struktur Beton Gedung Fakultas Perikanan dan Kelautan Unair Surabaya Dengan Metode Pushover Analysis*”. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis *nonlinier Pushover* menggunakan bantuan *software* SAP2000 dengan tujuan mengetahui kriteria level struktur yang mengacu pada ATC-40. Hasil penelitian menunjukkan bahwa respons spektrum menunjukkan bahwa $V_{dinamik}$ arah X sebesar 554.769,72 kg dan arah Y sebesar 554.755,25 kg, keduanya memenuhi syarat lebih besar dari $0,85 \times V_{statik}$ sebesar 554.750,82 kg. Analisis *pushover* menghasilkan gaya geser dasar maksimum 87.763,58 kN dengan perpindahan 0,231 m. *Drift ratio* maksimum sebesar 0,00546 dan drift inelastis 0,005, keduanya jauh di bawah ambang batas 0,01–0,02 sehingga struktur berada pada level *Immediate Occupancy* (IO). Perbandingan simpangan maksimum kondisi keruntuhan (δ_m) dengan simpangan saat pelelehan (δ_y) menghasilkan $\mu = 1,2$, yang termasuk daktilitas tingkat 1. Hal ini membuktikan bahwa struktur memiliki kinerja baik terhadap gempa, dengan respon dinamik memenuhi standar, simpangan antar lantai dalam batas aman, dan kinerja tetap pada level *Immediate Occupancy* (IO) (Utami dkk., 2024).

2.2 Pengaruh Void Pada Ketidakberaturan Struktur Bangunan Gedung

Void merupakan ruang kosong atau bukaan yang sengaja dibuat pada struktur bangunan, baik secara vertikal maupun horizontal, dengan tujuan memperlancar sirkulasi udara, memaksimalkan pencahayaan alami, serta memberikan nilai estetika dan kenyamanan visual. Pada penerepannya, *void* sering digunakan untuk area seperti tangga darurat, lift, atau elemen arsitektural lainnya. Namun, dari sisi rekayasa struktur, keberadaan *void* memiliki pengaruh signifikan terhadap distribusi massa dan kekakuan bangunan. Jika penempatan dan luasan *void* tidak direncanakan dengan baik, dapat menyebabkan ketidakteraturan atau ketidaksimetrisan struktur yang berpotensi memengaruhi respons bangunan terhadap beban gempa. Berdasarkan SNI 1726:2019, ketidakberaturan berupa diskontinuitas diafragma atau perubahan kekakuan yang tiba-tiba dapat terjadi apabila bagian struktur memiliki bukaan atau potongan lebih dari 50% dari luas total diafragma, atau terjadi perbedaan kekakuan efektif antar tingkat lebih dari 50% (Alow dkk., 2019). Pembahasan lebih lanjut mengenai pengaruh *void* terhadap ketidakteraturan struktur bangunan gedung diuraikan pada Sub-bab 2.5.9, dengan mengacu pada peraturan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.

2.3 Pengaruh Gempa Bumi Terhadap Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

Gempa bumi merupakan peristiwa pelepasan energi secara tiba-tiba dari dalam bumi yang menyebabkan getaran pada permukaannya akibat patahnya lapisan batuan di kerak bumi. Energi tersebut timbul akibat pergerakan lempeng yang menghasilkan gelombang seismik dan menyebar ke segala arah hingga terasa di permukaan. Selama terjadinya gempa, bangunan akan mengalami getaran baik secara vertikal maupun horizontal. Gaya inersia yang muncul akibat gerakan tersebut dikenal sebagai gaya gempa, di mana gaya vertikal hanya sedikit memengaruhi gaya gravitasi karena struktur umumnya telah dirancang dengan faktor keamanan yang memadai terhadap beban vertikal. Namun, gaya gempa horizontal memiliki pengaruh yang lebih besar karena dapat menyerang titik-titik lemah struktur sehingga berpotensi menyebabkan kegagalan atau keruntuhan. (Triayaska & Trimurtiningrum, 2023). Pembahasan lebih lanjut mengenai pengaruh gempa bumi terhadap perencanaan bangunan tahan gempa diuraikan pada Sub-bab 2.5.1 hingga 2.5.14, dengan mengacu pada peraturan SNI 1726:2019.

2.3.1 Faktor Gempa Bumi Pada Bangunan Gedung

Gempa bumi merupakan salah satu faktor krusial yang sangat berpengaruh terhadap perencanaan serta perilaku struktur bangunan, terutama di wilayah dengan tingkat seismisitas tinggi seperti Indonesia. Berdasarkan SNI 1726:2019, perancangan struktur tahan gempa bertujuan untuk memastikan bangunan memiliki tingkat kinerja tertentu yang sesuai dengan besaran gempa rencana. Respons bangunan terhadap gempa dipengaruhi oleh berbagai aspek, seperti kondisi tanah dasar, distribusi massa dan kekakuan struktur, sistem penahan gaya lateral, bentuk serta ketidakteraturan bangunan, dan periode getar alami struktur. Selain itu, letak geografis Indonesia yang berada di pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik yang turut meningkatkan potensi aktivitas dengan skala yang besar (Triayaska & Trimurtiningrum, 2023).

2.3.2 Parameter Gempa Bumi

Parameter gempa bumi merupakan acuan yang digunakan untuk menggambarkan besaran serta lokasi terjadinya suatu gempa. Besaran gempa sendiri merupakan ukuran kekuatan gempa yang diperoleh dari hasil pencatatan alat seismograf (BMKG, 2021). Adapun beberapa parameter utama gempa bumi meliputi:

1. Waktu kejadian gempa, merupakan saat pertama kali terjadi pelepasan energi pada zona tektonik akibat tekanan, tumbukan, atau gesekan antar lempeng bumi. Waktu ini dinyatakan dalam format hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit, dan detik berdasarkan satuan *Universal Time Coordinated* (UTC).
2. Hiposenter, merupakan titik sumber gempa yang terletak di dalam permukaan bumi. Meskipun sering dianggap sebagai satu titik tunggal untuk kemudahan analisis, sebenarnya hiposenter mencakup suatu bidang dengan luas yang bergantung pada besarnya energi yang dilepaskan saat gempa terjadi.
3. Episenter, merupakan titik di permukaan bumi yang berada tepat di atas hiposenter secara vertikal. Lokasinya dinyatakan dalam koordinat geografis, yaitu derajat lintang dan bujur, atau dalam sistem koordinat bola bumi.
4. Magnitudo, merupakan ukuran energi yang dilepaskan dari sumber gempa. Nilai ini bersifat tetap di semua lokasi pengukuran, meskipun intensitas getarannya dapat berbeda di setiap tempat. Skala yang umum digunakan untuk mengukur magnitudo adalah Skala Richter.
5. Kedalaman sumber gempa, merupakan jarak vertikal antara hiposenter dan permukaan bumi, biasanya dinyatakan dalam satuan kilometer. Parameter ini juga membantu menunjukkan arah datangnya gelombang gempa terhadap permukaan bumi.
6. Percepatan tanah, merupakan percepatan yang dialami permukaan tanah atau batuan dasar akibat getaran gempa bumi.
7. Faktor amplifikasi, merupakan faktor yang menggambarkan besarnya peningkatan percepatan gempa di permukaan tanah, yang dipengaruhi oleh kondisi dan jenis tanah setempat.

2.4 Beton Bertulang Sebagai Material Struktur Bangunan Gedung ³

Beton merupakan bahan buatan yang terdiri atas campuran agregat halus dan kasar, seperti pasir, batu pecah, atau bahan sejenis lainnya, dengan penambahan bahan perekat berupa semen serta air sebagai bahan pembantu untuk keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan berlangsung. Kekuatan dan daya tahan beton bergantung pada banyak faktor, di antaranya proporsi campuran dan mutu bahan penyusun, metode pelaksanaan pengecoran, suhu, serta kondisi perawatan selama proses pengerasan. Dalam penggunaannya sebagai komponen struktural bangunan, beton umumnya diperkuat dengan tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerja sama untuk mengatasi kelemahan beton, terutama pada bagian yang menahan gaya tarik. Komponen struktur beton dengan kerja sama

semacam ini disebut beton bertulangan baja, atau lebih dikenal dengan beton bertulang (Dipohusodo, 1994).

2.4.1 Definisi Beton Bertulang

Beton bertulang merupakan metode konstruksi yang menggabungkan dua material dengan sifat mekanik yang berbeda, yaitu beton dan baja, untuk menciptakan elemen struktur yang optimal dalam hal kekuatan dan durabilitas. Beton, sebagai material utama dalam kombinasi komposit ini, memiliki kekuatan tekan yang sangat tinggi. Namun, meskipun beton dapat menahan tekanan dengan baik, ia memiliki kelemahan signifikan dalam hal kekuatan tarik, yang membuatnya tidak efektif untuk menahan beban tarik secara mandiri. Oleh karena itu, untuk mengatasi kelemahan ini, baja tulangan ditambahkan ke dalam campuran beton untuk menangani gaya tarik yang bekerja pada struktur (Irwansyah, 2024).

Beton bertulang telah menjadi material utama dalam konstruksi modern karena pengaplikasiannya yang luas. Salah satu aplikasi utama beton bertulang adalah dalam pembangunan gedung bertingkat. Gedung-gedung ini memerlukan kekuatan tekan yang tinggi untuk menahan beban vertikal dari lantai dan struktur di atasnya, serta kekuatan tarik untuk menahan beban lateral seperti angin dan gempa bumi. Beton bertulang dapat diandalkan karena kemampuannya untuk menahan beban berat serta daya tahannya terhadap berbagai kondisi lingkungan. Struktur yang dibangun dengan beton bertulang dapat bertahan lama dan memberikan perlindungan yang efektif terhadap elemen eksternal yang dapat merusak material lainnya (Irwansyah, 2024).

2.4.2 Keunggulan dan Kekurangan Beton Bertulang

Dalam pembangunan gedung, jenis struktur yang paling sering digunakan adalah baja dan beton bertulang, yang memiliki perbedaan dalam karakteristik material, metode konstruksi, kekuatan, serta biaya. Pemilihan jenis struktur menjadi aspek penting dalam proyek, karena keputusan yang tepat dapat meningkatkan efisiensi biaya dan waktu pelaksanaan (Dewanti & Windari, 2024). Keunggulan dan kekurangan beton bertulang menjadi salah satu dasar pertimbangan dalam pemilihan material pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut.

a) Keunggulan Beton Bertulang:

1. Struktur beton bertulang lebih masif dan memiliki kekakuan lebih tinggi, sehingga lebih tahan terhadap beban statis.

2. Struktur beton bertulang mudah didapatkan dengan biaya yang relatif lebih murah.
 3. Struktur beton bertulang memiliki daya tahan yang tinggi terhadap suhu tinggi seperti kebakaran.
 4. Struktur beton bertulang memiliki fleksibilitas dalam bentuk dan ukuran desain yang inovatif.
- b) Kekurangan Beton Bertulang:
1. Struktur beton bertulang memiliki berat sendiri yang tinggi, sehingga mengakibatkan beban berlebihan pada struktur bangunan.
 2. Struktur beton bertulang memerlukan waktu pengerjaan yang lama dan perawatan untuk memenuhi kekuatan maksimal.
 3. Struktur beton bertulang menghasilkan emisi karbo yang cukup tinggi, sehingga berdampak pada permasalahan material yang tidak ramah lingkungan.

2.5 Ketentuan Umum Bangunan Tahan Gempa

Bangunan tahan gempa adalah struktur yang dirancang agar tidak runtuh saat gempa, namun masih diperbolehkan mengalami kerusakan selama memenuhi batas aman sesuai ketentuan yang berlaku.

2.5.1 Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Dalam penentuan kategori risiko bangunan berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2 Tabel 3, setiap jenis risiko pada struktur gedung maupun nongedung harus memperhitungkan pengaruh gempa rencana dengan mengalikan faktor keutamaan gempa I_e sesuai SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2 Tabel 4.

Tabel 2. 2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan	I

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 2. 2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa (Lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
26 - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 13	III

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 2. 2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa (Lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
1 Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 2. 3 Faktor Keutamaan Gempa

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

(Sumber : SNI 1726:2019)

2.5.2 Klasifikasi Situs

Dalam penentuan klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 5.3 Tabel 5, prosedur penetapan suatu situs untuk menentukan kriteria desain seismik berupa faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam penyusunan kriteria desain seismik, baik pada bangunan di atas permukaan tanah maupun dalam menentukan besarnya amplifikasi percepatan gempa dari batuan dasar hingga ke permukaan tanah, situs tersebut wajib diklasifikasikan terlebih dahulu. Adapun profil tanah pada situs dikategorikan sesuai dengan Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/dtk)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 2. 4 Klasifikasi Situs (Lanjutan)

Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/dtk)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
	- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa		

(Sumber : SNI 1726:2019)

Keterangan:

$\bar{V}_s$ = Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada regangan geser yang kecil, di dalam lapisan 30 m paling atas

$\bar{N}$ = Tahanan penetrasi standar rata-rata dalam lapisan 30 m paling atas

$\bar{N}_{ch}$ = Tahanan penetrasi standar rata-rata tanah nonkohesif dalam lapisan 30 m paling atas

$\bar{S}_u$ = Kuat geser niralir rata-rata di dalam lapisan 30 m paling atas

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai.

2.5.3 Faktor Respons Gempa

Dalam menentukan faktor respons gempa sesuai SNI 1726:2019 Pasal 6.2, nilai parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_l (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus diperoleh dari nilai respons spektral percepatan (T) pada periode 0,2 detik dan 1 detik yang tercantum dalam peta bahaya gempa pada pasal terkait, dengan kemungkinan terlampaui 2% dalam 50 tahun (MCE_R). Kedua parameter tersebut dinyatakan dalam bentuk desimal terhadap percepatan gravitasi. Apabila $S_l \leq 0,04g$ dan $S_s \leq 0,15g$, maka bangunan dapat diklasifikasikan dalam kategori desain seismik A dan dianggap telah memenuhi ketentuan.

2.5.4 Koefisien Situs dan Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum

Dalam menentukan respons spektral percepatan gempa MCE_R pada permukaan tanah berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.2 Tabel 6 dan Tabel 7, diperlukan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik serta 1 detik. Faktor amplifikasi ini terdiri atas faktor amplifikasi getaran untuk percepatan pada periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi percepatan untuk periode 1 detik (F_v). Nilai parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) maupun periode 1 detik (S_{M1}), yang telah disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_S \dots\dots\dots (2.1)$$

$$S_{MI} = F_v S_I \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

S_{MS} = Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek

S_{MI} = Percepatan percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik

F_a = Koefisien situs untuk periode pendek yaitu pada periode 0,2 detik

S_S = Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek

F_v = Koefisien situs untuk periode panjang (pada periode 1 detik)

S_I = Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik

Koefisien situs F_a dan F_v ditetapkan berdasarkan Tabel 2.5 dan Tabel 2.6. Apabila kelas situs SE dipilih sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 6.1, maka nilai F_a tidak boleh lebih kecil dari 1,2. Namun, jika prosedur desain yang digunakan mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal 8.1.1, maka nilai F_a harus ditentukan sesuai dengan nilai F_a pada Pasal 8.1.1, sedangkan nilai F_v , S_{MS} , dan S_{MI} tidak perlu ditentukan.

Tabel 2. 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	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 2. 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

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 2. 6 Koefisien Situs, F_v (Lanjutan)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S_I					
32	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

(Sumber : SNI 1726:2019)

CATATAN:

^aSS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

2.5.5 Parameter Percepatan Spektral Desain

3

Dalam penetapan dan perhitungan parameter percepatan spektral desain berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.3, nilai percepatan spektral pada periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{DI}) dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

S_{DS} = Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek

S_{DI} = Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik

Apabila digunakan metode desain sederhana sesuai ketentuan Pasal 8, maka nilai S_{DS} harus ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2019 Persamaan 82, sedangkan S_{DI} tidak perlu ditentukan.

2.5.6 Spektrum Respon Desain

19

Dalam penetapan dan perhitungan spektrum respons desain berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.4, apabila diperlukan spektrum respons desain dan analisis gerakan tanah spesifik-situs tidak diterapkan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu pada Gambar 2.1 serta mengikuti ketentuan di bawah ini:

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari Persamaan 2.5.

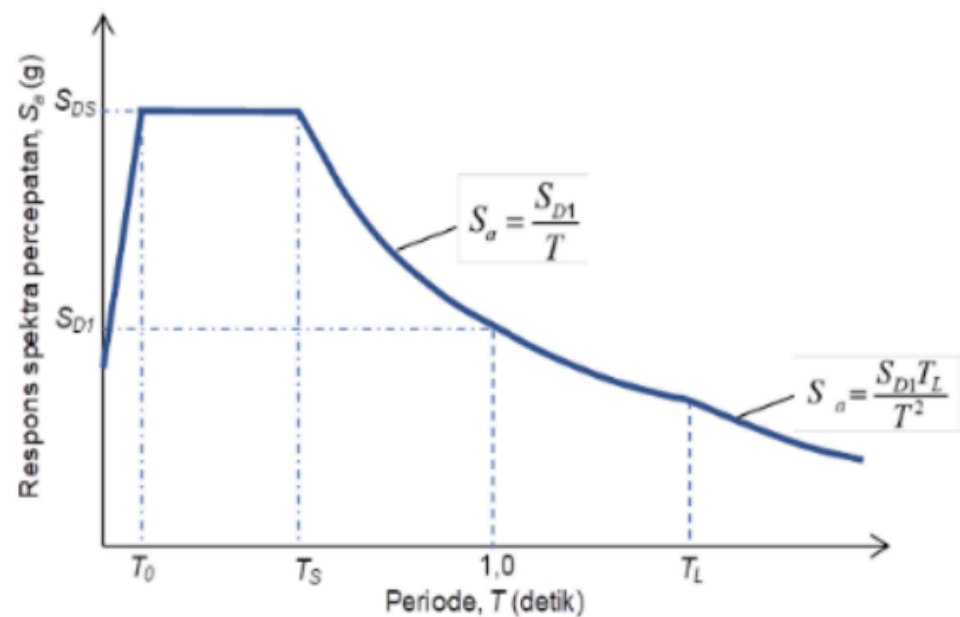
$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots \dots \dots (2.5)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS}
3. Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan Persamaan 2.6.

$$S_a = \left(\frac{S_{D1}}{T} \right) \dots \dots \dots (2.6)$$

4. Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan Persamaan 2.7.

$$S_a = \left(\frac{S_{D1} T_L}{T^2} \right) \dots \dots \dots (2.7)$$



Gambar 2. 1 Spektrum Respon Desain
(Sumber : SNI 1726:2019)

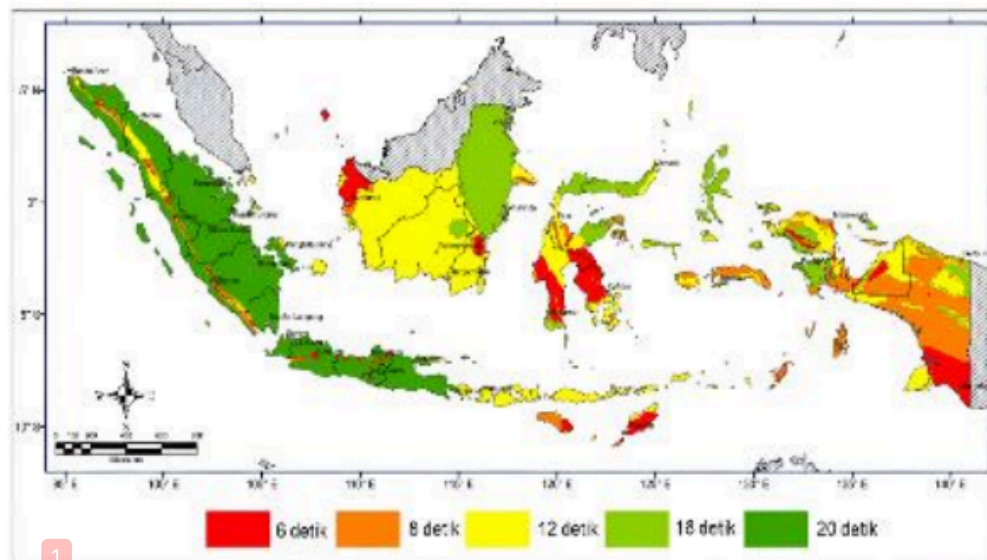
$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots \dots \dots (2.9)$$

T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 yang nilainya diambil dari Gambar 2.2

Keterangan:

T = Periode getar fundamental struktur



Gambar 2. 2 Peta Transisi Periode Panjang, T_L , Wilayah Indonesia
(Sumber : SNI 1726:2019)

2.5.7 Kategori Desain Seismik

Dalam penetapan kategori desain seismik berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.5, setiap struktur harus ditentukan kategori desain seismiknya mengikuti aturan yang berlaku. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berada pada wilayah dengan parameter respons spektral percepatan terpetakan periode 1 detik, S_I , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 ditetapkan sebagai kategori desain seismik E. Sementara itu, struktur dengan kategori risiko IV pada lokasi dengan nilai S_I lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus digolongkan ke dalam kategori desain seismik F. Untuk struktur lainnya, penentuan kategori desain seismik dilakukan berdasarkan kategori risiko serta nilai parameter respons spektral percepatan desain, yaitu S_{DS} dan S_{DI} , sesuai pasal yang berlaku. Setiap bangunan atau struktur wajib dimasukkan pada kategori desain seismik yang lebih parah sebagaimana tercantum dalam Tabel 2.7 dan Tabel 2.8, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur, T .

Apabila nilai S_I lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismik dapat ditentukan hanya mengacu pada Tabel 2.7 dengan syarat sebagai berikut:

1. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perkiraan periode fundamental struktur, T_a , yang ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2019 Persamaan 36 adalah kurang dari $0,8T_s$, di mana T_s ditentukan sesuai dengan Persamaan 2.9.

2. Pada masing-masing dua arah ortogonal, periode fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar tingkat adalah kurang dari T_s .
3. Persamaan 2.10 digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik, C_s .
4. Diafragma struktural adalah kaku sebagaimana disebutkan di SNI 1726:2019 Pasal 7.3.1.2 atau untuk diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen-elemen vertikal pemikul gaya seismik tidak melebihi 12 m.

Jika prosedur desain sederhana sebagaimana dijelaskan dalam pasal terkait digunakan, maka kategori desain seismik dapat ditentukan dengan mengacu pada Tabel 2.7 menggunakan nilai S_{DS} yang dihitung berdasarkan ketentuan tersebut.

Tabel 2. 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 2. 8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

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

(Sumber : SNI 1726:2019)

Setelah menentukan nilai S_{DS} dan S_{DI} , maka nilai tersebut dapat dijadikan sebagai acuan untuk dikategorikan ke dalam tingkat risiko gempa dan kategori desain gempa sebagaimana tercantum pada Tabel 2.9.

Tabel 2. 9 Tingkat Risiko Kegempaan dan Kategori Desain Gempa

Kode	Tingkat Risiko Kegempaan		
	Rendah	Menengah	Tinggi
	SNI 1726:2019 KDG A, B SRPMB/M/K	KDG C SRPMM/K	KDG D, E, F SRPMK

(Sumber: SNI 1726:2019)

Prosedur analisis yang dapat digunakan setelah tingkat risiko gempa serta kategori desain seismik ditetapkan tercantum dalam Tabel 2.10.

Tabel 2. 10 Prosedur Analisis Yang Diizinkan

Kategori Desain Seismik	Karakteristik Struktur	Analisis Gaya Lateral Ekuivalen Pasal 7.8	Analisis Spektrum Respons Ragam Pasal 7.9	Prosedur Respons Riwayat Waktu Seismik Pasal 11
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggianya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

(Sumber : SNI 1726:2019)

CATATAN:

I : Diizinkan dan TI : Tidak Diizinkan

2.5.8 Kombinasi Sistem Struktur Dalam Arah Yang Berbeda

Dalam penentuan sistem pemikul gaya seismik berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.2.2 Tabel 12, diperbolehkan penggunaan sistem pemikul gaya seismik yang berbeda untuk masing-masing arah pada dua sumbu ortogonal struktur. Jika digunakan sistem yang berbeda, maka setiap nilai R , C_d , dan Ω_0 harus diterapkan sesuai dengan sistem yang digunakan, termasuk batasan-batasan sistem struktur sebagaimana tercantum dalam Tabel 2.11.

Tabel 2. 11 Faktor R , C_d , dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons R^a	Faktor Kuat Lebih Sistem Ω_0^b	Faktor Pembesaran Defleksi C_d^c	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur h_n				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
C. Sistem Rangka Pemikul Momen								
Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Menengah	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI

(Sumber : SNI 1726:2019)

CATATAN:^a TB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Diizinkan.

2.5.9 Fleksibilitas Diafragma, Ketidakberaturan Konfigurasi, dan Redundansi Struktur

Dalam perencanaan fleksibilitas diafragma, ketidakberaturan konfigurasi, dan redundansi struktur berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.3, Tabel 13 hingga Tabel 15, dan Gambar 4 hingga Gambar 6, dalam analisis struktur, perlu diperhitungkan kekakuan relatif antara diafragma dan elemen vertikal dari sistem pemikul gaya seismik. Kecuali apabila diafragma dapat dianggap sepenuhnya fleksibel atau kaku sesuai dengan ketentuan pada pasal terkait, maka analisis struktur harus mencakup perhitungan kekakuan diafragma secara eksplisit.

Struktur perlu diklasifikasikan sebagai beraturan atau tidak beraturan berdasarkan kriteria yang diatur dalam pasal ini. Penentuan klasifikasi tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan konfigurasi horizontal maupun vertikal dari struktur. Apabila suatu struktur memiliki satu atau lebih jenis ketidakberaturan sebagaimana tercantum pada Tabel 2.12, maka struktur tersebut dikategorikan memiliki ketidakberaturan horizontal. Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik sesuai Tabel 2.12 wajib memenuhi ketentuan yang tercantum pada pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut.

Tabel 2. 12 Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur

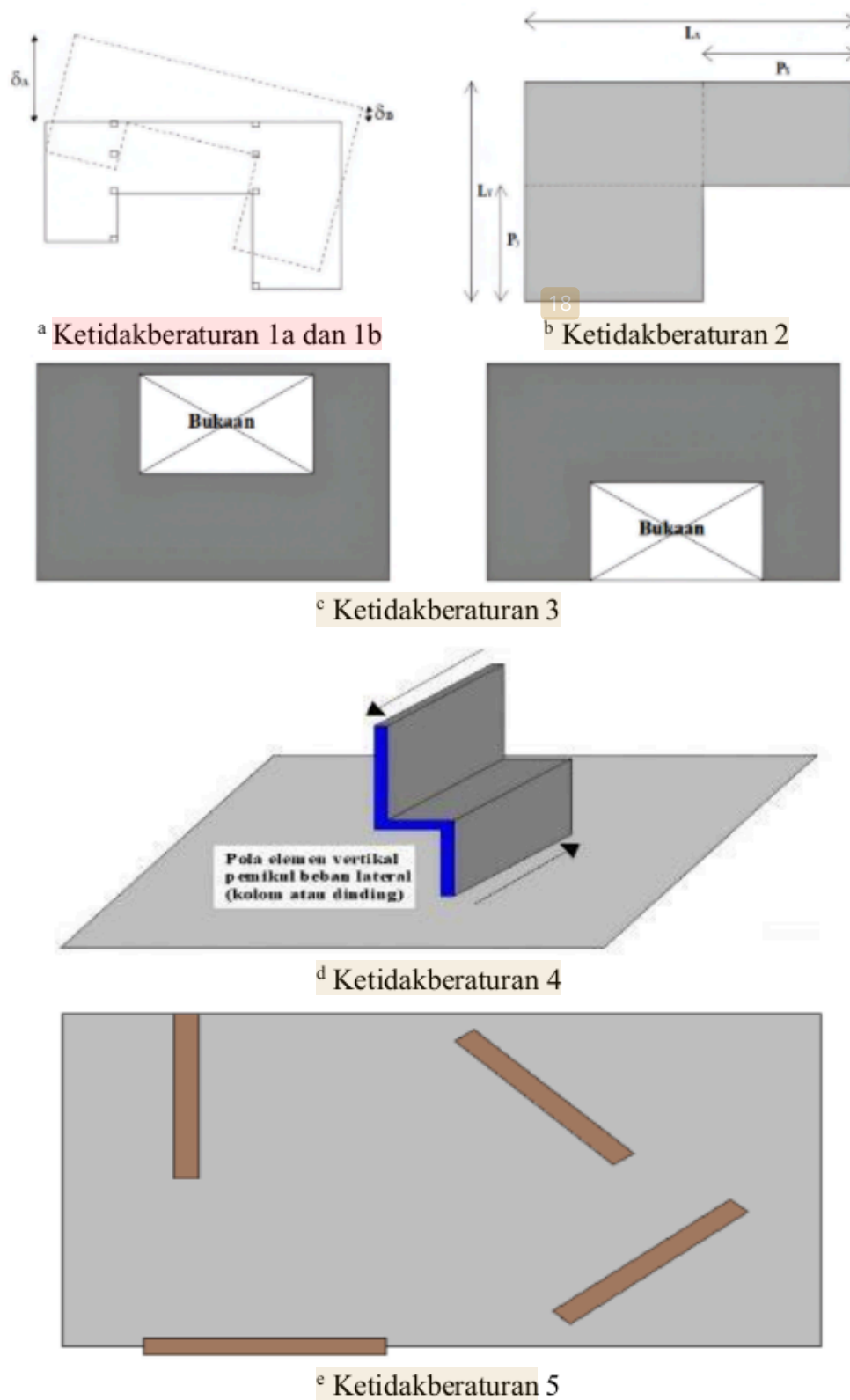
	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
1a.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk	7.3.3.1 7.3.3.4 7.7.3	E dan F D B, C, dan D

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 2. 12 Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur (Lanjutan)

	akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F 13
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 16 12.2	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	7.5.3 7.7.3 Tabel 16 12.2.2	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

(Sumber : SNI 1726:2019)



Gambar 2. 3 Ketidakberaturan Horizontal
(Sumber : SNI 1726:2019)

Demikian pula, struktur yang memiliki satu atau lebih bentuk **ketidakberaturan** sebagaimana tercantum pada Tabel 2.13 diklasifikasikan sebagai struktur dengan ketidakberaturan vertikal. Struktur yang termasuk dalam kategori desain seismik sebagaimana diatur dalam Tabel 2.13 harus memenuhi seluruh persyaratan yang disebutkan pada pasal-pasal acuan di dalam tabel tersebut.

Tabel 2. 13 Ketidakberaturan Vertikal Pada Struktur

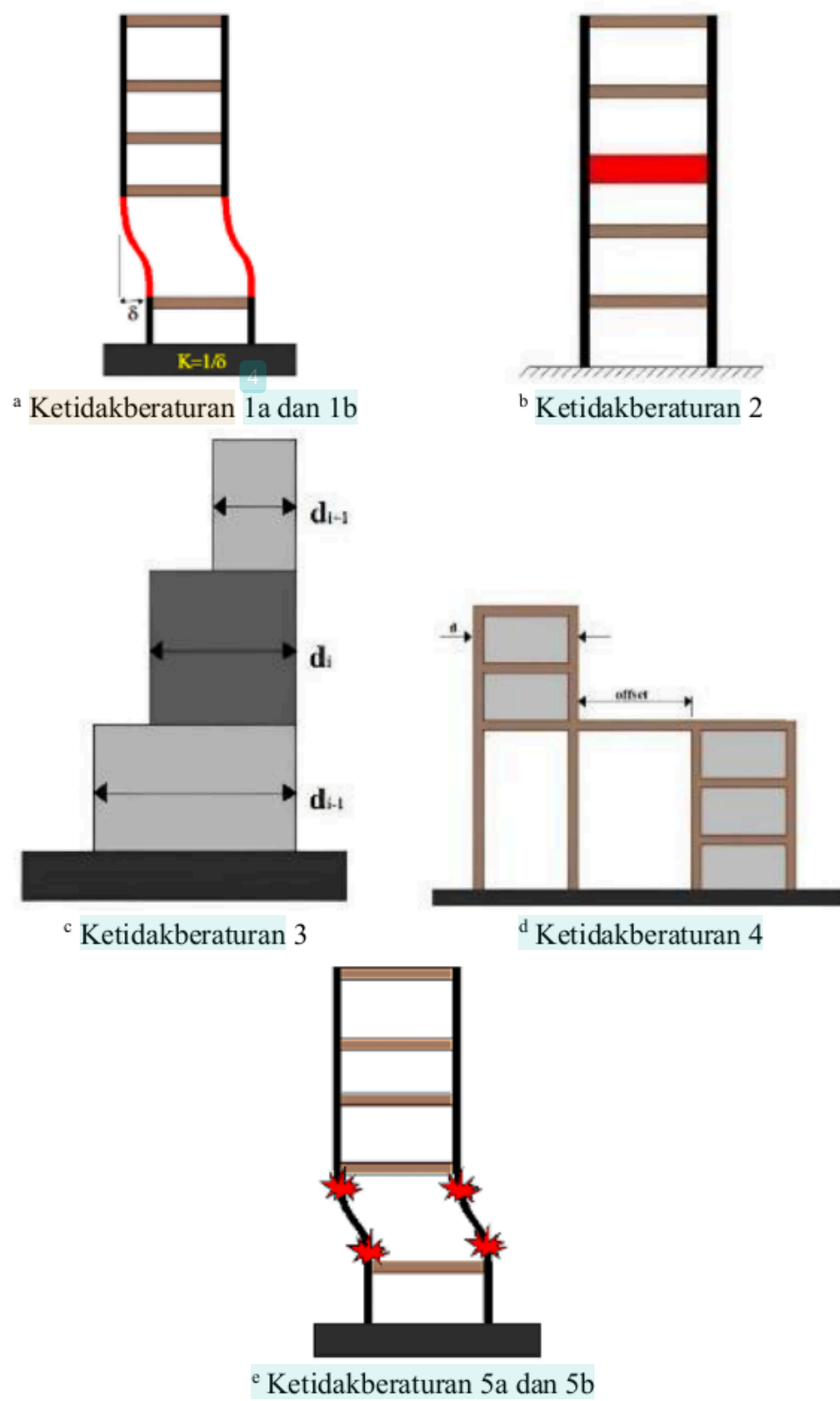
	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
1a.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 16	D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	7.3.3.1 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
2	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 16	D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F

(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 2. 13 Ketidakberaturan Vertikal Pada Struktur (Lanjutan)

	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
18			
4.	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	7.3.3.1 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
5b.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

(Sumber : SNI 1726:2019)



Gambar 2. 4 Ketidakberaturan Vertikal
(Sumber : SNI 1726:2019)

Faktor redundansi (ρ) harus diterapkan pada masing-masing arah ortogonal untuk seluruh sistem struktur pemikul gaya seismik. Nilai ρ dapat diambil sebesar 1,0 pada kondisi berikut:

1. Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik B atau C;
2. Perhitungan simpangan antar tingkat maupun efek P-delta;
3. Perencanaan elemen nonstruktural;
4. Desain struktur nongedung yang tidak menyerupai bangunan gedung;
5. Perencanaan elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungan yang mempertimbangkan kombinasi beban seismik dengan faktor kuat lebih sesuai ketentuan pada pasal terkait;
6. Desain elemen struktur atau sambungan yang memperhitungkan kombinasi beban seismik dengan faktor kuat lebih sebagaimana diatur pada pasal terkait;
7. Penentuan beban diafragma menggunakan SNI 1726:2019 Persamaan 51 beserta batasan dari Persamaan 52 dan 53;
8. Struktur yang menggunakan sistem peredam sesuai ketentuan pasal terkait;
9. Perencanaan dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.

Untuk struktur dengan kategori desain seismik D yang memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan sebagaimana tercantum pada Tabel 13 tipe 1b, nilai ρ harus ditetapkan sebesar 1,3. Struktur dengan kategori desain seismik E dan F tidak diperbolehkan memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan.

Sedangkan untuk struktur dengan kategori desain seismik D, E, atau F yang tidak memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan, nilai ρ ditetapkan sebesar 1,3, kecuali jika salah satu dari dua kondisi berikut terpenuhi sehingga ρ dapat diambil sebesar 1,0:

1. Setiap tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar pada arah yang ditinjau memenuhi ketentuan dalam SNI 1726:2019 Tabel 15; atau
2. Struktur memiliki denah beraturan di seluruh tingkat, dengan sistem pemikul gaya seismik yang terdiri atas minimal dua bentang perimeter pada setiap sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar. Untuk dinding geser, jumlah bentang dihitung dari rasio panjang dinding terhadap tinggi tingkat, atau dua kali panjang dinding terhadap tinggi tingkat (h_{sx}) untuk konstruksi rangka ringan.

3

Tabel 2. 14 Persyaratan Untuk Masing-Masing Tingkat Yang Menahan Lebih Dari 35 % Gaya Geser Dasar

Elemen Pemikul Gaya Lateral	Persyaratan
Rangka dengan bresing	Penghilangan suatu bresing individu, atau sambungan yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33 %, dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b).
Rangka pemikul momen	Kehilangan tahanan momen di sambungan balok-kolom di kedua ujung suatu balok tunggal tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33 %, dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b).
Dinding geser atau pilar dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0	Penghilangan suatu dinding geser atau pilar dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0 di sebarang tingkat, atau sambungan kolektor yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33 %, dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b).
Kolom kantilever	Kehilangan tahanan momen di sambungan dasar pada sebarang kolom kantilever tunggal tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33 %, dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b).
Lainnya	Tidak ada persyaratan.

(Sumber : SNI 1726:2019)

2.5.10 Periode Fundamental Pendekatan

5

Dalam perhitungan periode fundamental pendekatan berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2.1, periode fundamental struktur, T , pada arah yang dianalisis harus diperoleh berdasarkan karakteristik struktur serta sifat deformasi elemen pemikul beban melalui analisis yang telah diverifikasi. Nilai T tidak diperbolehkan melebihi hasil perkalian antara koefisien batas

atas periode (C_u) dari Tabel 2.15 dan periode fundamental pendekatan T_a yang dihitung menggunakan Persamaan 2.10.

$$T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

h_n = ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan

x = Ditentukan dari Tabel 2.16

Tabel 2. 15 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain Pada 1 Detik, S_{DI}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber : SNI 1726:2019)

Adapun parameter berdasarkan tipe struktur yang digunakan untuk menentukan koefisien C_t dan x pada Tabel 2.16.

Tabel 2. 16 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)

96

Sebagai opsi lain, periode fundamental pendekatan (T_a) dalam satuan detik dapat ditentukan menggunakan Persamaan 2.11 tertentu untuk bangunan dengan jumlah lantai tidak lebih dari 12 tingkat. Ketentuan ini berlaku untuk struktur yang sistem pemikul gaya seismiknya berupa rangka

1 pemikul momen yang sepenuhnya terbuat dari beton atau baja, dengan tinggi rata-rata tiap lantai minimal 3 meter.

$$T_a = 0,1N \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

N = Jumlah Tingkat

2.5.11 Koefisien Respons Seismik

Dalam perhitungan koefisien respons seismik berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1.1, nilai koefisien respons seismik (C_s) harus dihitung menggunakan Persamaan 2.12.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

S_{DS} = Parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek

R = Koefisien modifikasi respons

I_e = Faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan Persamaan 2.12 tidak perlu melebihi Persamaan 2.13 dan 2.14 ini:

1 Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.13)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.14)$$

15 Nilai C_s harus tidak kurang dari Persamaan 2.15.

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots (2.15)$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_I sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari persamaan 2.16 ini:

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan:

32

S_{DI} = Parameter percepatan respons spektral desain pada periode sebesar 1,0 detik

T = Periode fundamental struktur (detik)

S_I = Parameter percepatan respons spektral maksimum

2.5.12 Gaya Geser Dasar Seismik

Dalam perhitungan gaya geser dasar seismik berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1, gaya geser dasar akibat gempa, V , pada arah yang ditinjau harus dihitung menggunakan Persamaan 2.17 yang telah ditetapkan berikut ini:

$$V = C_s W \dots\dots\dots (2.17)$$

24

Gaya seismik lateral, F_x di sebarang tingkat harus ditentukan dari Persamaan 2.18 dan Persamaan 2.19 berikut:

$$F_x = C_{vx} V \dots\dots\dots (2.18)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots\dots\dots (2.19)$$

24

Adapun geser tingkat desain seismik di semua tingkat, V_x , harus ditentukan dari Persamaan 2.20 berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \dots\dots\dots (2.20)$$

6

Geser tingkat desain seismik, V_x , harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal sistem pemikul gaya seismik di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen pemikul vertikal dan diafragma.

2.5.13 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

1

Dalam penentuan simpangan antar tingkat berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6, perhitungan simpangan antar tingkat desain (Δ) dilakukan dengan menentukan selisih antara simpangan pusat massa pada tingkat di atas dan di bawah tingkat yang dianalisis. Jika posisi pusat massa tidak berada pada satu garis vertikal, maka simpangan pada dasar tingkat dapat dihitung berdasarkan proyeksi vertikal pusat massa dari tingkat di atasnya. Dalam hal perencanaan menggunakan metode tegangan izin, nilai Δ harus diperoleh dari gaya seismik desain sebagaimana diatur dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.7.4 tanpa dilakukan reduksi terhadap desain tegangan izin.

Simpangan pusat massa di tingkat- x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 2.21 berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots \dots \dots (2.21)$$

Simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) seperti didapatkan dari Tabel 2. 17 untuk semua tingkat.

Tabel 2. 17 Simpangan Antar Tingkat, $\Delta_a^{a,b}$

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

(Sumber : SNI 1726:2019)

2.5.14 Pengaruh P-Delta

Dalam perhitungan pengaruh P-Delta berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.7, pengaruh P-delta terhadap geser tingkat, momen, serta gaya dan momen pada elemen struktur, termasuk simpangan antar tingkat yang ditimbulkannya, tidak wajib diperhitungkan apabila koefisien stabilitas (θ), yang ditentukan menggunakan persamaan berikut, memiliki nilai sama dengan atau kurang dari 0,10.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \dots \dots \dots (2.22)$$

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi θ_{max} yang ditentukan sebagai berikut:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} < 0,25 \dots \dots \dots (2.23)$$

Dimana β merupakan perbandingan antara kebutuhan geser dan kapasitas geser pada tingkat antara lantai ke- x dan lantai ke- $(x - 1)$, yang secara konservatif dapat diambil sebesar 1,0. Apabila nilai koefisien stabilitas (θ) melebihi 0,10 namun tidak lebih besar dari θ_{max} , maka faktor peningkatan akibat pengaruh P-delta terhadap perpindahan serta gaya elemen struktur harus ditentukan melalui analisis yang rasional. Sebagai pilihan lain, nilai perpindahan dan gaya elemen struktur dapat dikalikan dengan faktor $1,0/(1 - \theta)$. Namun, jika θ lebih besar dari θ_{max} , struktur dianggap berpotensi tidak

stabil sehingga perlu dilakukan perancangan ulang. Apabila efek P-delta dimasukkan dalam analisis otomatis, Persamaan 2.23 tetap wajib dipenuhi. Akan tetapi, nilai θ yang diperoleh dari Persamaan 2.22 berdasarkan hasil analisis P-delta dapat dibagi dengan $(1 + \theta)$ sebelum dilakukan pemeriksaan menggunakan persamaan 2.23.

4

2.6 Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur merupakan salah satu aspek krusial dalam perancangan bangunan. Beban yang bekerja pada suatu struktur muncul akibat adanya pengaruh gaya, baik yang berasal dari alam maupun aktivitas manusia. Dengan kata lain, terdapat berbagai jenis beban utama yang harus diperhitungkan, seperti beban yang ditimbulkan oleh manusia, gaya gravitasi, kondisi cuaca dan suhu, serta beban akibat pengaruh gempa bumi.

5

2.6.1 Beban Mati

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 3.1.1, beban mati merupakan berat *keseluruhan* dari material konstruksi bangunan yang telah terpasang, meliputi elemen seperti dinding, lantai, atap, plafon, tangga, partisi permanen, lapisan finishing, pelapis luar (*cladding*), serta komponen arsitektural dan struktural lainnya. Selain itu, beban mati juga mencakup berat peralatan layanan tetap, termasuk sistem derek dan alat pengangkut material. Beban dari setiap material konstruksi yang terpasang tersebut mengacu pada ketentuan dalam PPIUG 1983.

Tabel 2. 18 Beban Mati Untuk Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

Bahan Bangunan	
Baja	7850 kg/m ³
Batu alam	2600 kg/m ³
Batu belah, batu bulat, batu gunung	1500 kg/m ³
Batu karang (berat tumpuk)	700 kg/m ³
Besi tuang	7250 kg/m ³
Beton	2200 kg/m ³
Beton bertulang	2400 kg/m ³
Kayu	1000 kg/m ³
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1650 kg/m ³
Pasangan bata merah	1700 kg/m ³
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200 kg/m ³
Pasangan batu cetak	2200 kg/m ³
Pasangan batu karang	1450 kg/m ³

(Sumber : PPIUG, 1983)

Tabel 2. 18 Beban Mati Untuk Bahan Bangunan dan Komponen Gedung
(Lanjutan)

Bahan Bangunan	
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600 kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1800 kg/m ³
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1700 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2000 kg/m ³
Timah hitam (timbel)	11400 kg/m ³
Komponen Gedung	
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14 kg/m ²
Adukan finishing lantai, per cm	21 kg/m ²
Dinding pasangan bata merah	
- Satu bata	450 kg/m ²
- Setengah bata	250 kg/m ²
Dinding pasangan batako:	
Berlubang:	
- Tebal dinding 20 cm (HB 20)	200 kg/m ²
- Tebal dinding 10 cm (HB 10)	120 kg/m ²
Tanpa lubang:	
- Tebal dinding 15 cm	300 kg/m ²
- Tebal dinding 10 cm	200 kg/m ²
Instalasi MEP	40 kg/m ²
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari:	
- Semen asbes (eternity dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11 kg/m ²
- Kaca, dengan tebal 3 - 5 mm	10 kg/m ²
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40 kg/m ²
Penggantung langit-langit (dari kayu) dengan bentang maksimum 5 m dari jarak s.k.s. minimum 0,80 m	7 kg/m ²
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	50 kg/m ²

(Sumber : PPIUG, 1983)

Tabel 2. 18 Beban Mati Untuk Bahan Bangunan dan Komponen Gedung
(Lanjutan)

Komponen Gedung	
Penggantung langit-langit (dari kayu) dengan bentang maksimum 5 m dari jarak s.k.s. minimum 0,80 m	7 kg/m ²
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	50 kg/m ²
Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	40 kg/m ²
Penutup atap gelombang (BWG 24) tanpa gording	10 kg/m ²
Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso, dan beton tanpa adukan, per cm tebal	24 kg/m ²
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 kg/m ²
Plumbing	10 kg/m ²
Sanitasi	20 kg/m ²
Spesi	42 kg/m ²

(Sumber : PPIUG, 1983)

2.6.2 **Beban Hidup**

Beban hidup merupakan seluruh beban yang timbul akibat aktivitas penghuni atau penggunaan suatu bangunan, termasuk beban pada lantai yang berasal dari benda-benda yang dapat dipindahkan, seperti perabot, mesin, maupun peralatan yang tidak menjadi bagian permanen dari struktur bangunan. Karena sifatnya yang berubah-ubah dan sulit diprediksi, beban hidup memiliki tingkat ketidakpastian yang lebih tinggi dibandingkan dengan beban mati. Beban dari setiap komponen atau kegunaan bangunan yang ada tersebut mengacu pada ketentuan dalam SNI 1727:2020.

Tabel 2. 19 Beban Hidup Pada Komponen atau Penggunaan Gedung

Hunian atau Penggunaan	Merata	Terpusat
	Psf (kN/m²)	Lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
- Ruang kantor	50 (2,4)	2000 (8,9)
- Ruang komputer	100 (4,79)	2000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)	
Ruang pertemuan		
- Kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	
- Lobi	100 (4,79)	

(Sumber : SNI 1727:2020)

Tabel 2. 19 Beban Hidup Pada Komponen atau Penggunaan Gedung
(Lanjutan)

1	Hunian atau Penggunaan	Merata	Terpusat
		Psf (kN/m ²)	Lb (kN)
-	Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	
-	Panggung pertemuan	100 (4,79)	
-	Lantai podium	150 (7,18)	
-	Tribun penonton	100 (4,79)	
-	Stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	
-	Ruang pertemuan lainnya	100 (4,79)	
	Balkon dan dek	<100 psf (4,79)	
	Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
	Koridor	100 (4,79)	
1	Lantai pertama		
	Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	
Hunian (lihat rumah tinggal)			
	Dudukan mesin elevator (pada area 2 in.x 2 in. [50 mm x 50 mm])		300 (1,33)
	Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada area 1 in.x 1 in. [25 mm x 25 mm])		200 (0,89)
	Jalur penyelamatan saat kebakaran	100 (4,79)	
-	Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	
	Tangga permanen		300 (1,33)
	Garasi/Parkir		
-	Mobil penumpang saja	40 (1,92)	2250 (10)
	Pegangan tangga dan pagar pengaman	50 (0,73)	200 (0,89)
-	Batang pegangan		250 (1,11)
Helipad			
-	Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 3.000 lb (13,35 kN) atau kurang	40 (1,92)	3000 (13,35)
-	Helikopter dengan berat lepas landas Lebih dari 3.000 lb (13,35 kN)	60 (2,87)	3000 (13,35)
16			
Rumah sakit			
	Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	1000 (4,45)
-	Ruang pasien	40 (1,92)	1000 (4,45)
-	Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)

(Sumber : SNI 1727:2020)

Tabel 2. 19 Beban Hidup Pada Komponen atau Penggunaan Gedung
(Lanjutan)

Hunian atau Penggunaan	Merata	Terpusat
	Psf (kN/m ²)	Lb (kN)
Perpustakaan		16
- Ruang baca	60 (2,87)	1000 (4,45)
- Ruang penyimpanan	150 (7,18)	1000 (4,45)
- Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
Pabrik		
- Ringan	125 (6,00)	2000 (8,90)
- Berat	250 (11,97)	3000 (13,35)
Gedung perkantoran		
- Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian		
- Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	2000 (8,90)
- Kantor	50 (2,40)	2000 (8,90)
- Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	2000 (8,90)
Lembaga hukum		
- Blok sel	40 (1,92)	
- Koridor	100 (4,79)	
Tempat rekreasi		
- Tempat bowling, billiard, dan penggunaan sejenis	75 (3,59)	
- Ruang dansa dan ballroom	100 (4,79)	
- Gimnasium	100 (4,79)	
Rumah tinggal		
Hunian satu dan dua keluarga:		
- Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	10 (0,48)	
- Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	20 (0,96)	
- Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	30 (1,44)	
- Semua ruang kecuali tangga	40 (1,92)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya:		
- Ruang pribadi dan koridornya	40 (1,92)	
- Ruang publik	100 (4,79)	

(Sumber : SNI 1727:2020)

Tabel 2. 19 Beban Hidup Pada Komponen atau Penggunaan Gedung
(Lanjutan)

Hunian atau Penggunaan	Merata	Terpusat
	Psf (kN/m ²)	Lb (kN)
- Koridor ruang publik	100 (4,79)	
Atap ¹		
- Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)	
- Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan penggunaan yang dilayani	
- Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,70)	
Atap vegetatif dan atap lansekap:		
- Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	
- Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	
- Atap untuk penggunaan lainnya	Sama dengan penggunaan yang dilayani	
Awning dan kanopi:		
- Atap konstruksi fabric yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24)	
- Rangka penumpu layar penutup	5 (0,24)	
	Berdasarkan area tributari dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka	
¹³ Semua konstruksi lainnya		
- Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja	20 (0,96)	2000 (8,90)
Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap diatas pabrik, gudang penyimpanan dan pekerjaanya, dan garasi bengkel		

(Sumber : SNI 1727:2020)

Tabel 2. 19 Beban Hidup Pada Komponen atau Penggunaan Gedung
(Lanjutan)

Hunian atau Penggunaan	Merata	Terpusat
	Psf (kN/m ²)	Lb (kN)
12 - Semua komponen struktur atap utama lainnya		300 (1,33)
5 - Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		300 (1,33)
Sekolah		
- Ruang kelas	40 (1,92)	1000 (4,45)
- Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
- Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1000 (4,45)
<i>Scuttles</i> , rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses		200 (0,89)
Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	8.000 (35,60)
Tangga dan jalan keluar		
- Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	100 (4,79) 40 (1,92)	300 (1,33) 300 (1,33)
Gudang diatas langit-langit	20 (0,96)	
Gudang penyimpanan dan pekerja (harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan)		
- Ringan	125 (6,00)	
- Berat	250 (11,97)	
Toko		
Eceran:		
- Lantai pertama	100 (4,79)	1000 (4,45)
- Lantai diatasnya	75 (3,59)	1000 (4,45)
Grosir, di semua lantai	125 (6,00)	1000 (4,45)
Penghalang kendaraan		6000 (26,70)
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	

(Sumber : SNI 1727:2020)

Adapun reduksi beban hidup berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 4.7, pengecualian untuk beban hidup yang merata pada atap, seluruh beban hidup merata minimum lainnya, o_L sebagaimana tercantum dalam SNI 1727:2020 Tabel 4.3-1, dapat dikurangi sesuai dengan ketentuan yang dijelaskan pada SNI 1727:2020 Pasal 4.7.2 hingga Pasal 4.7.6. Dengan memperhatikan ketentuan pada SNI 1727:2020 Pasal 4.7.3 hingga Pasal 4.7.6, elemen struktur yang memiliki nilai $T_{LL}A_K$ sebesar 400 ft² (37,16 m²) atau lebih diperbolehkan untuk direncanakan menggunakan beban hidup yang telah direduksi berdasarkan Persamaan 2.24 berikut:

$$L = L_o \left(0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{K_{LL}A_T}} \right) \dots\dots\dots (2.24)$$

Nilai L tidak boleh lebih kecil dari 0,50 L_o untuk elemen struktur yang menahan satu lantai, dan tidak boleh kurang dari 0,40 L_o untuk elemen struktur yang menopang dua lantai atau lebih.

2.6.3

Beban Angin

Beban angin adalah gaya yang bekerja pada bangunan atau bagian tertentu dari bangunan akibat tekanan udara. Beban ini perlu diperhitungkan karena hembusan angin yang kuat dapat memberikan tekanan signifikan pada struktur. Untuk setiap arah angin yang dianalisis, kondisi eksposur terhadap arah datangnya angin ditentukan berdasarkan tingkat kekasaran permukaan tanah, yang dipengaruhi oleh topografi alami, vegetasi, serta bangunan atau fasilitas di sekitarnya. Adapun tahapan penentuan beban angin mengacu pada ketentuan dalam SNI 1727:2020 sebagai berikut:

Langkah 1: Menentukan Kategori Risiko Bangunan

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 1.5 Tabel 1.5.1, setiap bangunan dan struktur wajib diklasifikasikan menurut tingkat risiko terhadap keselamatan jiwa, kesehatan, serta kesejahteraan manusia yang dapat timbul akibat potensi kerusakan atau kegagalannya, sesuai dengan jenis hunian maupun fungsi penggunaannya.

12

Tabel 2. 20 Kategori Risiko Bangunan dan Struktur Lainnya Untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa, dan Es

Penggunaan atau Pemanfaatan Fungsi Bangunan Gedung dan Struktur	Kategori Risiko
Bangunan gedung dan struktur lain yang merupakan risiko rendah untuk kehidupan manusia dalam kejadian kegagalan	I

(Sumber : SNI 1727:2020)

12

Tabel 2. 20 Kategori Risiko Bangunan dan Struktur Lainnya Untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa, dan Es (Lanjutan)

7 Penggunaan atau Pemanfaatan Fungsi Bangunan Gedung dan Struktur	Kategori Risiko
Semua bangunan gedung dan struktur lain kecuali mereka terdaftar dalam kategori risiko I, III, dan IV	II
Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan risiko besar bagi kehidupan manusia. Bangunan gedung dan struktur lain, tidak termasuk dalam kategori risiko IV, dengan potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi substansial dan/atau gangguan massa dari hari ke hari kehidupan sipil pada saat terjadi kegagalan. Bangunan gedung dan struktur lain tidak termasuk dalam risiko kategori IV (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang manufaktur, proses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat seperti bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan peledak) yang mengandung zat beracun atau mudah meledak di mana kuantitas material melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup untuk menimbulkan suatu ancaman kepada publik jika dirilis ^a	III
Bangunan gedung dan struktur lain yang dianggap sebagai fasilitas penting. Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan bahaya besar bagi masyarakat. Bangunan gedung dan struktur lain (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang memproduksi, memproses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya) yang berisi jumlah yang cukup dari zat yang sangat beracun di mana kuantitas melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup menimbulkan ancaman bagi masyarakat jika dirilis. Bangunan gedung dan struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi dari kategori risiko IV struktur lainnya.	IV

(Sumber : SNI 1727:2020)

2

Langkah 2: Menentukan Kecepatan Angin Dasar

Arah datangnya angin harus dianggap berasal dari seluruh arah horizontal. Apabila terdapat data atau pengalaman yang menunjukkan bahwa kecepatan angin di suatu lokasi melebihi nilai yang tercantum dalam Buku Peta Angin Indonesia, maka nilai kecepatan angin dasar perlu disesuaikan menjadi lebih tinggi. Informasi mengenai kecepatan dan arah angin dasar dapat diperoleh melalui situs resmi lembaga atau instansi pemerintah yang berwenang menyediakan data kecepatan angin tahunan.

2

Langkah 3: Menentukan Faktor Arah Angin (K_d)

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 26.6 Tabel 26.6.1, pengaruh arah angin dalam perhitungan beban angin sebagaimana diatur pada Pasal 31 harus ditentukan melalui analisis yang rasional, dengan mempertimbangkan kecepatan angin yang memenuhi ketentuan dalam Pasal 26.5.3 serta Pasal 31.4.3.

6

Tabel 2. 21 Faktor Arah Angin, K_d

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K_d
Bangunan gedung	
- Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU)	0,85
- Komponen dan Klading (K&K)	0,85
Atap lengkung	0,85
Kubah berbentuk bundar	1,0 ^a
Cerobong, tangki, dan struktur serupa	
- Persegi	0,90
- Segi enam	0,95
- Segi delapan	1,0 ^a
- Bundar	1,0 ^a
Dinding solid yang berdiri bebas, peralatan bagian atap, dan panel petunjuk solid yang berdiri bebas serta panel petunjuk terikat	0,85
Panel petunjuk terbuka dan rangka terbuka bidang tunggal	0,85
Rangka batang menara	
- Segitiga, persegi, atau persegi panjang	0,85
- Semua penampang lainnya	0,95

(Sumber : SNI 1727:2020)

CATATAN:

^aFaktor arah angin $K_d = 0,95$ diizinkan untuk struktur bundar atau struktur segi delapan dengan sistem struktur non-asimetris.

Langkah 4: Menentukan Kategori Eksposur

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 26.7.3, dalam setiap arah angin yang dianalisis, kondisi eksposur terhadap arah datangnya angin ditentukan berdasarkan kekasaran permukaan tanah, yang dipengaruhi oleh topografi alami, vegetasi, serta keberadaan fasilitas atau bangunan di sekitarnya. Jenis eksposur tersebut dikategorikan menjadi beberapa tipe, antara lain:

- a. Eksposur B, berlaku apabila kondisi kekasaran permukaan tanah sesuai dengan kategori Kekasaran Permukaan B terdapat pada arah datangnya angin dengan jarak melebihi 1.500 ft (457 m). Untuk bangunan atau struktur dengan tinggi atap rata-rata lebih dari 30 ft (9,1 m), eksposur ini digunakan jika Kekasaran Permukaan B terdapat pada arah angin dengan jarak lebih dari 2.600 ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan/struktur, tergantung nilai yang lebih besar di antara keduanya.
- b. Eksposur C, berlaku untuk semua kasus di mana Eksposur B atau Eksposur D tidak berlaku.
- c. Eksposur D, berlaku apabila kondisi kekasaran permukaan tanah sesuai dengan kategori Kekasaran Permukaan D terdapat pada arah datangnya angin dengan jarak melebihi 5.000 ft (1.524 m) atau 20 kali tinggi bangunan atau struktur, tergantung mana yang lebih besar. Eksposur ini juga berlaku jika area sekitar lokasi memiliki kekasaran permukaan kategori B atau C, dan lokasi tersebut berada dalam jarak kurang dari 600 ft (183 m) atau 20 kali tinggi bangunan/struktur, tergantung nilai yang lebih besar di antara keduanya.

Langkah 5: Menentukan Faktor Topografi (K_z)

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 26.8.1, pengaruh peningkatan kecepatan angin akibat keberadaan bukit, punggung, atau tebing curam yang terisolasi yang dapat menyebabkan perubahan topografi secara signifikan harus diperhitungkan dalam analisis beban angin. Ketentuan ini berlaku untuk semua kategori eksposur, apabila kondisi dan lokasi bangunan atau struktur memenuhi seluruh persyaratan yang ditetapkan berikut:

1. Bukit, punggung, atau tebing curam yang berdiri sendiri dan tidak terhalang oleh bentuk topografi serupa dengan ketinggian sebanding pada arah datangnya angin, untuk jarak sejauh 100 kali tinggi fitur topografi

($100H$) atau 2 mil (3,22 km), dipilih nilai yang lebih kecil. Jarak tersebut diukur secara horizontal dari titik di mana tinggi H dari bukit, punggung, atau tebing ditetapkan.

2. Bukit, punggung, atau tebing curam yang menjulang setidaknya dua kali lebih tinggi dibandingkan elevasi dataran di arah datangnya angin dalam radius 2 mil (3,22 km) di setiap kuadran.
3. Bangunan atau struktur yang terletak, sebagaimana ditunjukkan pada SNI 1727:2020 Gambar 26.8-1, berada pada setengah bagian atas lereng bukit atau punggung, atau di dekat puncak tebing.
4. $H/L_h \geq 0,2$
5. Nilai H harus minimal 15 ft (4,5 m) untuk Eksposur C dan D, serta minimal 60 ft (18 m) untuk Eksposur B.

Tabel 2. 22 Parameter Untuk Peningkatan Kecepatan Di Atas Bukit dan Tebing

Bentuk Bukit	$K_l/(H/L_h)$			γ	μ	
	Eksposur				Sisi Angin Datang Dari Puncak	Sisi Angin Pergi Dari Puncak
	B	C	D			
Bukit memanjang 2-dimensi (atau lembah dengan negatif H dalam $K_l/(H/L_h)$)	1,30	1,5	1,55	3	1,5	1,5
Tebing 2-dimensi	0,75	0,85	0,95	2,5	1,5	4
Bukit simetris 3-dimensi	0,95	1,05	1,15	4	1,5	1,5

(Sumber : SNI 1727:2020)

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 26.8.2, apabila kondisi lokasi dan situasi bangunan atau struktur tidak memenuhi seluruh persyaratan yang tercantum dalam Pasal 26.8.1, maka nilai K_z dianggap sama dengan 1,0.

Langkah 6: Menentukan Efek Hembusan Angin (G)

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 26.11, nilai faktor pengaruh hembusan angin pada bangunan atau struktur yang tergolong kaku dapat diasumsikan sebesar 0,85.

Langkah 7: Klasifikasi Ketertutupan dan Koefisien Tekanan Internal

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 26.12, dalam menentukan koefisien tekanan internal, setiap bangunan wajib dikategorikan sebagai

tertutup, tertutup sebagian, terbuka sebagian, atau terbuka, sesuai dengan ketentuan yang tercantum pada Pasal 26.2.

Tabel 2. 23 Sistem Penahan Gaya Angin Utama dan Komponen dan Klading

Klasifikasi Ketertutupan	Kriteria Untuk Klasifikasi Ketertutupan	Tekanan Internal	Koefisien Tekanan Internal, (GC_{pi})
Bangunan tertutup	A_o kurang dari terkecil $0,01A_g$ atau 4 ft^2 ($0,37 \text{ m}^2$) dan $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	Sedang	-0,18 -0,18
Bangunan tertutup sebagian	$A_o > 1,1A_{oi}$ dan $A_o >$ terkecil dari $0,01A_g$ atau 4 ft^2 ($0,37 \text{ m}^2$) dan $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	Tinggi	-0,55 -0,55
Bangunan terbuka sebagian	Bangunan yang tidak sesuai dengan Klasifikasi tertutup, tertutup sebagian, atau klasifikasi terbuka	Sedang	-0,18 -0,18
Bangunan terbuka	Setiap dinding minimal terbuka 80 %	Diabaikan	0,00

(Sumber : SNI 1727:2020)

CATATAN:

1. Tanda plus dan minus menandakan tekanan yang bekerja ke arah dan menjauh dari permukaan dalam, masing-masing.
2. Nilai (GC_{pi}) harus digunakan dengan q_z atau q_h seperti yang disyaratkan.
3. Dua kasus harus diperhitungkan untuk menentukan persyaratan beban kritis untuk kondisi yang sesuai:
 - a. Nilai positif (GC_{pi}) diterapkan pada semua permukaan dalam, atau
 - b. Nilai negatif (GC_{pi}) diterapkan pada semua permukaan dalam.

PENGECEUALIAN:

Metode pengujian lainnya dan/atau kriteria kinerja diizinkan digunakan bila disetujui.

Langkah 8: Menentukan Koefisien Eksposur Tekanan Velositas (K_z atau K_d)

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 26.10.1, kategori eksposur sebagaimana dijelaskan pada Pasal 26.7.3 memiliki koefisien eksposur tekanan kecepatan, K_z atau K_h , yang harus ditentukan berdasarkan Tabel 2.26.

Untuk area yang berada pada zona transisi antara dua kategori eksposur dengan perubahan kekasaran permukaan tanah, diperbolehkan menggunakan nilai rata-rata dari K_z atau K_h dalam tabel tersebut, selama penentuannya dilakukan melalui metode analisis rasional yang diakui dalam literatur teknis.

Tabel 2. 24 Faktor Elevasi Permukaan Tanah, K_e

Elevasi tanah di atas permukaan laut (Sea Level)		Faktor elevasi permukaan tanah
ft	m	K_e
< 0	< 0	Lihat catatan 2
0	0	1,00
1000	305	0,96
2000	610	0,93
3000	914	0,90
4000	1219	0,86
5000	1524	0,83
6000	1829	0,80
> 6000	> 1829	Lihat catatan 2

(Sumber : SNI 1727:2020)

CATATAN:

1. Perkiraan konservatif, boleh diambil $K_e = 1,00$ dalam semua kasus.
2. Faktor K_e harus ditentukan dari tabel di atas dengan menggunakan interpolasi atau dari rumus berikut untuk semua elevasi:

$$K_e = e^{-0,0000362z_g} \quad (z_g = \text{elevasi tanah di atas permukaan laut dalam ft}).$$

$$K_e = e^{-0,0000362z_g} \quad (z_g = \text{elevasi tanah di atas permukaan laut dalam m}).$$

3. Dalam semua kasus K_e boleh diambil sebesar 1,00.

Tabel 2. 25 Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan, K_h dan K_z

Ketinggian Di Atas Permukaan Tanah		Eksposur		
ft	m	B	C	D
0 – 15	0 – 4,6	0,57 (0,70) ^a	0,85	1,03
20	6,1	0,62 (0,70) ^a	0,90	1,08
25	7,6	0,66 (0,70) ^a	0,94	1,12
30	9,1	0,70	0,98	1,16
40	12,2	0,76	1,04	1,12
50	15,2	0,81	1,09	1,27
60	18,0	0,85	1,13	1,31

(Sumber : SNI 1727:2020)

13

Tabel 2. 25 Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan, K_h dan K_z (Lanjutan)

Ketinggian Di Atas Permukaan Tanah		Eksposur		
ft	m	B	C	D
70	21,3	0,89	1,17	1,34
80	24,4	0,93	1,21	1,38
90	30,5	0,96	1,24	1,40
100	36,6	0,99	1,26	1,43
120	36,6	1,04	1,31	1,48
140	42,7	1,09	1,36	1,52
160	48,8	1,13	1,39	1,55
180	54,9	1,17	1,43	1,58
200	61,0	1,20	1,46	1,61
250	76,2	1,28	1,53	1,68
300	91,4	1,35	1,59	1,73
350	106,7	1,41	1,64	1,78
400	121,9	1,47	1,69	1,82
450	137,2	1,52	1,73	1,86
500	152,4	1,56	1,77	1,89

(Sumber : SNI 1727:2020)

CATATAN:

- ^aGunakan 0,70 pada Pasal 28, Eksposur B, apabila $z < 30$ ft (9,1 m).
- Koefisien eksposur tekanan kecepatan K_z dapat ditentukan dari rumus berikut:
 Untuk $15 \text{ ft (4,6 m)} \leq z \leq z_g$ $K_z = 2,01(z/z_g)^{2/\alpha}$
 Untuk $z < 15 \text{ ft (4,6 m)}$ $K_z = 2,01(15/z_g)^{2/\alpha}$
- α dan z_g ditabulasi dalam Tabel 26.11-1. 3.
- Interpolasi linier untuk nilai menengah dari tinggi z boleh dilakukan.
- Kategori eksposur didefinisikan pada Pasal 26.7.

Tabel 2. 26 Konstanta Eksposur Dataran

Eksposur	α	Z_g (m)	$\hat{a}$	$\hat{b}$	$\bar{\alpha}$	$\bar{b}$	c	ℓ (m)	$\bar{\epsilon}$	z_{min} (m) ^a
B	7	365,76	1/7	0,8	1/4,0	0,5	0,3	97,54	1/3,0	9,14
C	9,5	274,32	1/9,5	1	1/6,5	0,7	0,2	152,4	1/5,0	4,57
D	12	213,36	1/11,5	1,1	1/9,0	0,8	0,2	198,1	1/8,0	2,13

(Sumber : SNI 1727:2020)

CATATAN:

^a z_{min} $\bar{z}$ tinggi minimum yang dapat menjamin tinggi ekuivalenz yang lebih besar dari $0,6h$ atau z_{min} . Untuk bangunan gedung atau struktur lain dengan $h \leq z_{min}$, $\bar{z}$ harus diambil sebesar z_{min} .

Langkah 9: Menentukan Tekanan Velositas (q_z atau q_h)

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 26.10.2, nilai tekanan kecepatan (q_z) yang dihitung pada ketinggian z di atas permukaan tanah harus ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$q_z = 0,00256 K_z K_{zt} K_d K_e V^2 \text{ (lb/ft}^2\text{); } V \text{ dalam mi/h} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d K_e V^2 \text{ (N/m}^2\text{); } V \text{ dalam m/s} \dots\dots\dots (2.26)$$

Keterangan:

K_z = Koefisien eksposur tekanan kecepatan

K_{zt} = Faktor topografi

K_d = Faktor arah angin

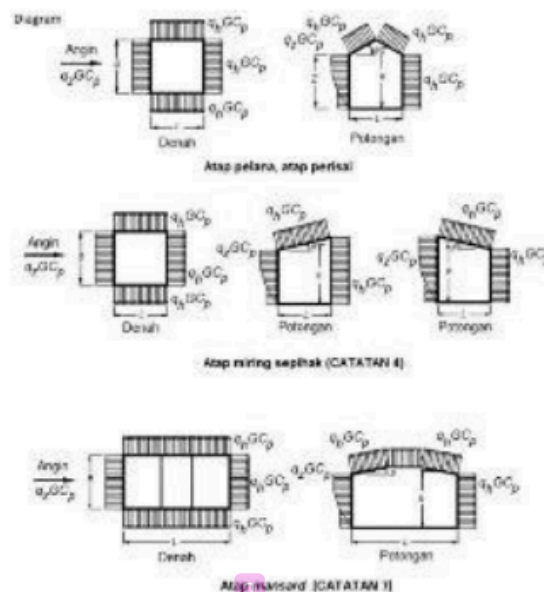
K_e = Faktor elevasi permukaan tanah

V = Kecepatan angin dasar

q_z = Tekanan kecepatan pada ketinggian z

Langkah 10: Menentukan Koefisien Tekanan Eksternal

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 27.3 Gambar 27.3-1, penentuan koefisien tekanan eksternal dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 Koefisien Tekanan Eksternal, C_p , Untuk Bangunan Tertutup dan Bangunan Tertutup Sebagian Dinding dan Atap
(Sumber : SNI 1727:2020)

Dalam menentukan koefisien tekanan dinding (C_p), parameter yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2. 27 berikut.

Tabel 2. 27 Koefisien Tekanan Dinding, C_p

Permukaan	L/B	C_p	Digunakan Dengan
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai 0 – 1	0,8 -0,5	q_z q_h
Dinding di sisi angin pergi	2 ≥ 4	-0,3 -0,2	q_h q_h
Dinding tepi	Seluruh nilai	-0,7	q_h

(Sumber : SNI 1727:2020)

Tabel 2. 28 Koefisien Tekanan Atap, C_p , Untuk Digunakan Dengan q_h

Arah Angin	Di Sisi Angin Datang									Di Sisi Angin Pergi		
	Sudut, θ (derajat)									Sudut, θ (derajat)		
	h/L	10	15	20	25	30	35	45	$\geq 60^\circ$	10	15	≥ 20
Tegak lurus terhadap bubungan untuk $\theta \leq 10^\circ$	$\leq 0,25$	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	0,0 ^a			-0,3	-0,5	-0,6
		-0,18	0,0 ^a	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,010			
	0,5	-0,9	-0,7	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	0,0 ^a		-0,5	-0,5	-0,6
		-0,18	-0,18	0,0 ^a	0,2	0,2	0,3	0,4	0,010			
	$\geq 1,0$	-1,3 ^b	-1	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	0,0 ^a		-0,7	-0,6	-0,6
		-0,18	-0,18	-0,18	0,0 ^a	0,2	0,2	0,4	0,010			
Arah Angin	h/L	Jarak Horizontal Dari Tepi Sisi Angin Datang								C_p		
Tegak lurus terhadap bubungan untuk $\theta < 100$ sejajar bubungan untuk semua θ	$\leq 0,5$	0 sampai dengan $h/2$ $h/2$ sampai dengan h h sampai dengan $2h$ $> 2h$								-0,9, -0,18 -0,9, -0,18 -0,5, -0,18 -0,3, -0,18		
	$\geq 1,0$	0 sampai dengan $h/2$ $> h/2$								-1,3 ^b , -0,18 -0,7, -0,18		

Luas (ft^2)	Luas (m^2)	Faktor Reduksi
≤ 100	$\leq 9,3$	1,0
250	23,2	0,9
≥ 1000	$\geq 92,9$	0,8

(Sumber : SNI 1727:2020)

CATAN:

^a Nilai disediakan untuk keperluan interpolasi.

^b Nilai dapat direduksi secara linier dengan luas yang sesuai berikut ini:

^c Untuk kemiringan atap lebih besar dari 80° , gunakan $C_p = 0,8$

Langkah 11: Tekanan Angin

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 27.3.1, tekanan angin rencana untuk SPGAU bangunan gedung pada berbagai ketinggian, dalam satuan lb/ft^2 (N/m^2), harus dihitung menggunakan Persamaan 2.27 berikut.

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \dots\dots\dots (2.27)$$

2.6.4 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban statis ekuivalen yang bekerja pada bangunan akibat getaran tanah saat gempa. Besarnya simpangan horizontal bergantung pada kekakuan struktur. Semakin kaku struktur, maka nilai simpangan semakin kecil. Nilai beban gempa dipengaruhi oleh probabilitas terjadinya gempa, tingkat daktilitas, dan kekuatan lebih struktur. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 4.1.1, beban gempa rencana yang digunakan adalah gempa rencana sedang, dengan kemungkinan terlampaui sebesar 2% selama umur bangunan 50 tahun.

2.6.5 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 4.2.2, kombinasi beban *ultimate* yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
5. $0,9D + 1,0W$
6. $1,2D + E_v + E_h + L$
7. $0,9D - E_v + E_h$

2.7 Sistem Struktur Bangunan Tahan Gempa

Struktur bangunan tahan gempa adalah jenis struktur yang dirancang agar mampu bertahan tanpa mengalami keruntuhan langsung saat terjadi gempa bumi. Dengan tingginya aktivitas seismik di Indonesia, konsep perencanaannya berfokus pada pengendalian pola kerusakan melalui pemanfaatan detail struktur secara maksimal. Struktur semacam ini diharapkan tetap berdiri dan tidak mengalami kerusakan berat ketika menerima guncangan gempa, bukan hanya sekadar hasil perhitungan terhadap beban gempa dalam tahap perencanaan. Adapun beberapa prinsip penting dalam perencanaan dan pelaksanaan struktur beton bertulang tahan gempa, antara lain:

1. Pada saat terjadi gempa kecil yang sering muncul, struktur utama bangunan harus tetap utuh dan berfungsi dengan baik, meskipun kerusakan ringan pada elemen non-struktural masih dapat diterima.
2. Pada saat terjadi gempa sedang yang relatif jarang, struktur utama boleh mengalami retak atau kerusakan ringan yang masih bisa diperbaiki, sedangkan elemen non-struktural dapat rusak dan perlu diganti.
3. Pada saat terjadi gempa besar yang jarang terjadi, bangunan dapat mengalami kerusakan, namun tidak diperbolehkan mengalami keruntuhan total.

Selain memperhatikan prinsip-prinsip penting struktur bangunan tahan gempa, besarnya gaya gempa yang bekerja pada suatu struktur bangunan juga dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu karakteristik gempa, kondisi tanah di lokasi bangunan, serta karakteristik struktur seperti bentuk, massa, kekakuan, dan beban gravitasi yang bekerja. Dalam perencanaan bangunan bertingkat, faktor-faktor tersebut harus diperhatikan dengan cermat. Denah bangunan yang paling efektif untuk menahan gempa adalah yang sederhana, simetris, dan tidak terlalu memanjang. Desain massa bangunan dengan banyak lekukan sebaiknya dihindari, dan jika bentuk bangunan tidak memungkinkan dibuat simetris, maka bagian yang menonjol lebih baik dipisahkan dari struktur utama. Kekakuan vertikal bangunan juga perlu dijaga agar seragam dan menerus tanpa perubahan mendadak. Selain itu, semakin besar massa bangunan, semakin besar pula gaya inersia yang timbul saat gempa, sehingga penggunaan elemen arsitektural yang memiliki massa berat sebaiknya diminimalkan agar beban gempa yang diterima struktur dapat dikurangi.

2.7.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18, Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) merupakan sistem struktur yang dirancang untuk menahan beban gravitasi maupun beban lateral. Sistem ini terdiri dari kombinasi antara kolom dan balok yang dihubungkan secara kaku (jepit penuh), sehingga gaya gravitasi dan gaya lateral akibat gempa dapat ditransfer melalui sambungan balok-kolom dalam bentuk gaya dalam seperti momen lentur, gaya geser, dan gaya normal.

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18, Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah sistem rangka beton bertulang yang dirancang agar memiliki daktilitas penuh, di mana kapasitas deformasi plastis struktur dapat dimanfaatkan secara maksimal. Dengan menggunakan ketentuan perencanaan dan pendetailan sesuai SRPMK, faktor reduksi gempa (ϕ) dapat diambil sebesar 8,5, yang berarti gaya gempa rencana hanya sekitar

59

1/8 dari gaya gempa elastis. Tujuan utama dari sistem ini adalah agar struktur memiliki kemampuan daktilitas tinggi sehingga tetap dapat berperilaku aman saat mengalami respons inelastis akibat beban gempa. Prinsip dasar SRPMK meliputi tiga hal penting, yaitu konsep Strong Column Weak Beam agar kerusakan terjadi pada balok, bukan kolom, pencegahan kegagalan geser pada balok, kolom, maupun sambungan, dan pendetailan elemen struktur untuk menjamin perilaku daktil. Seluruh ketentuan teknis dalam perencanaan dan pendetailan SRPMK harus mengacu pada SNI 2847:2019 Pasal 18.2.3 hingga Pasal 18.2.8 berikut ini:

6

1. Pengangkur beton berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.2.3, angkur yang dipasang setelah pengecoran dan belum memenuhi syarat pada beton retak hanya boleh digunakan pada area yang tidak mengalami retakan. Angkur masih berfungsi dengan baik pada lebar retak hingga 0,3 mm, namun apabila melebihi batas tersebut perlu ditambahkan tulangan pengekang untuk menjaga lebar retak tetap sekitar 0,3 mm.
2. Faktor reduksi kekuatan berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.2.4, nilai faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk setiap jenis kegagalan pada beton polos dianggap sama.

1
Tabel 2. 29 Faktor Reduksi Kekuatan, ϕ

Gaya atau Elemen Struktur		ϕ
a)	Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 - 0,90
b)	Geser	0,75
c)	Torsi	0,75
d)	Tumpu (<i>bearing</i>)	0,65
e)	Zona angkur pascatarik (<i>post-tension</i>)	0,85
f)	<i>Bracket</i> dan korbél	0,75
g)	<i>Strut, ties</i> , zona nodal, dan daerah tumpuan yang dirancang dengan <i>strut-and-tie</i> di Pasal 23	0,75
h)	Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik	0,90
i)	Beton polos	0,60
j)	Angkur dalam elemen beton	0,45 - 0,75

(Sumber : SNI 2847:2019)

3. Kuat tekan beton berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.2.5, pada sistem SRPMK dan dinding struktural khusus, beton ringan dibatasi memiliki kuat tekan maksimum 35 MPa untuk perhitungan desain struktural.
4. Tulangan longitudinal pada sistem SRPMK berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.2.6, penggunaan baja tulangan dengan kekuatan melebihi yang direncanakan dapat meningkatkan tegangan geser dan lekatan saat momen leleh, sehingga menimbulkan sifat getas. Oleh karena itu, digunakan baja tulangan mutu 420 MPa dan 550 MPa.
5. Sambungan mekanis pada sistem SRPMK berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.2.7, sambungan mekanis boleh tidak dipasang secara selang-seling, namun pemasangan selang-seling lebih disarankan agar tersedia ruang yang cukup di sekitar sambungan.
6. Sambungan las pada sistem SRPMK berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.2.8, sambungan las pada tulangan yang menahan gaya gempa harus mampu menahan gaya tarik dan tekan minimum sebesar 1,25 kali kekuatan leleh tulangan, f_y . Sambungan tersebut tidak boleh dipasang dalam jarak dua kali tinggi elemen struktur dari muka kolom atau balok.
7. Balok SRPMK berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6, panjang bentang bersih balok, l_n , minimal $4d$ dengan lebar penampang, b_w , tidak kurang dari nilai terkecil antara $0,3h$ dan 250 mm. Lebar balok yang melampaui kolom tidak dianjurkan melebihi nilai terkecil antara c_2 dan $0,75c_1$ di setiap sisi kolom. Setiap balok harus memiliki minimal dua batang tulangan menerus di bagian atas dan bawah dengan rasio tulangan, ρ , maksimum 0,025.
8. Kolom SRPMK berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7, ukuran penampang terkecil kolom minimal 300 mm, dengan rasio antara dimensi terkecil dan tegak lurus tidak kurang dari 0,4. Kolom harus memiliki minimal enam batang tulangan longitudinal dengan sengkang bundar, sedangkan tulangan transversal dipasang pada panjang sepertiga tinggi bersih kolom, l_o , atau 450 mm, dipilih yang lebih kecil.
9. Joint SRPMK berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8, gaya pada tulangan longitudinal balok di depan sambungan dihitung dengan asumsi tegangan tarik sebesar $1,25 f_y$. Jika tulangan diteruskan melewati sambungan balok-kolom, maka rasio minimum kedalaman kolom terhadap diameter tulangan longitudinal balok ditetapkan 20 untuk beton normal dan 26 untuk beton ringan.

2.7.2 Kriteria Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019, perencanaan merupakan hasil dari analisis serta perhitungan struktur yang telah dilakukan sebelumnya. Pada struktur beton bertulang, proses desain mencakup pemilihan dimensi elemen dan perhitungan jumlah tulangan yang diperlukan agar penampang mampu menahan beban baik pada kondisi layan (*service load*) maupun kondisi batas (*ultimate load*). Dalam aspek struktural, hal penting yang harus diperhatikan agar bangunan tahan terhadap gempa adalah penerapan konsep *capacity design*. Adapun prinsip utama perencanaan bangunan tahan gempa mencakup dua hal, yaitu:

1. Mencegah terjadinya korban jiwa akibat runtuhnya bangunan saat gempa kuat terjadi.
2. Membatasi tingkat kerusakan bangunan akibat gempa ringan hingga sedang agar tetap dapat diperbaiki.

Adapun prinsip-prinsip pendukung perencanaan bangunan tahan gempa diantaranya:

1. Sistem struktur yang dipilih harus disesuaikan dengan tingkat potensi gempa di wilayah tempat bangunan tersebut didirikan.
2. Aspek kontinuitas dan integritas struktur perlu diperhatikan dengan seksama. Pada tahap pendetailan penulangan maupun sambungan, setiap elemen struktur harus saling terhubung secara efektif agar membentuk satu kesatuan yang kokoh dan meningkatkan kinerja struktur secara keseluruhan.
3. Konsistensi antara sistem struktur yang direncanakan dalam desain dan yang diterapkan di lapangan harus tetap terjaga.
4. Material beton yang digunakan wajib memiliki ketahanan tinggi terhadap kondisi lingkungan sekitar agar umur layan struktur lebih panjang.
5. Proses pelaksanaan konstruksi, termasuk penerapan *quality control* dan *quality assurance*, harus dilakukan secara tepat dan sesuai dengan standar serta prosedur yang berlaku.

Salah satu indikator kinerja struktur yang harus dipenuhi adalah batas simpangan izin. Struktur yang mampu bertahan tanpa runtuh ketika mengalami gempa dan tetap ekonomis dapat dicapai dengan sistem yang memiliki sifat daktail. Sifat daktilitas ini diperoleh melalui prosedur desain kapasitas, di mana elemen-elemen struktur yang berperan dalam menyerap energi gempa melalui deformasi plastis direncanakan secara tepat lokasi dan

mekanismenya. Terdapat dua jenis mekanisme kelelahan atau pembentukan sendi plastis pada struktur portal, yaitu:

1. Mekanisme kelelahan pada balok, yaitu kondisi ketika sendi plastis terbentuk pada elemen balok suatu struktur akibat penggunaan kolom yang relatif lebih kuat (*Strong Column Weak Beam*).
2. Mekanisme kelelahan pada kolom, yaitu kondisi di mana sendi plastis muncul pada elemen kolom di satu tingkat bangunan akibat penggunaan balok yang lebih kaku dan kuat (*Strong Beam Weak Column*).

2.7.3 Syarat dan Pengecekan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

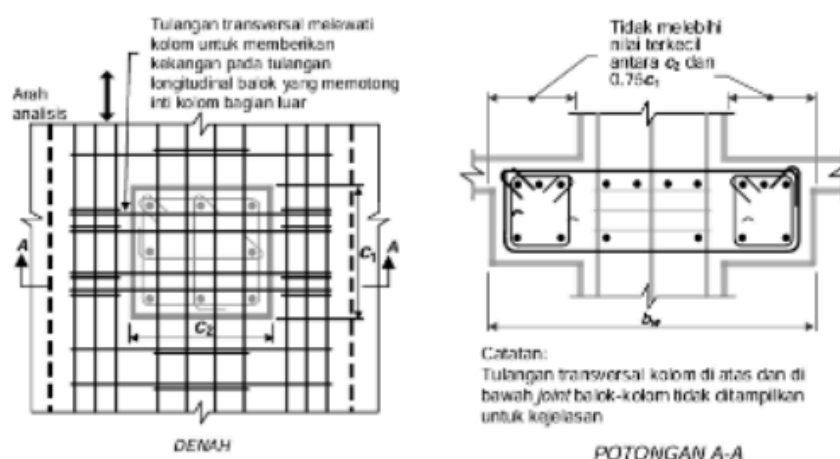
Berdasarkan SNI 2847:2019, struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) memiliki beberapa ketentuan yang harus dipenuhi, antara lain:

1. Balok

a. Perencanaan Tulangan Balok

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2, balok sistem SRPMK harus dirancang dengan ketentuan sebagai berikut:

- Panjang bentang bersih, l_n , harus memiliki nilai minimal $4d$.
- Lebar penampang balok (b_w) tidak boleh kurang dari nilai terkecil antara $0,3h$ atau 250 mm.
- Lebar proyeksi balok yang melebihi lebar kolom penopang tidak diperkenankan melampaui nilai terkecil antara c_2 dan $0,75c_1$ pada masing-masing sisi kolom.



Gambar 2. 6 Lebar Efektif Maksimum Balok Lebar dan Persyaratan Tulangan Transversal
(Sumber : SNI 2847:2019)

b. Tulangan Longitudinal

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3, perencanaan tulangan longitudinal pada balok sistem SRPMK harus memenuhi ketentuan berikut:

- Setiap balok wajib memiliki minimal dua batang tulangan menerus pada sisi atas dan bawah penampang. Jumlah tulangan pada setiap penampang tidak boleh kurang dari yang diatur dalam SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2, dan rasio tulangan (ρ) tidak diperbolehkan melebihi 0,025 baik untuk tulangan atas maupun bawah.
- Di area muka *joint*, kapasitas momen positif harus mencapai minimal setengah dari kapasitas momen negatif. Selain itu, pada setiap penampang sepanjang bentang balok, nilai momen positif dan negatif tidak boleh kurang dari seperempat momen maksimum pada kedua muka *joint*.

$$M_{(+)} \geq \frac{1}{2} \dots \dots \dots (2.28)$$

$$M_{(+)} \text{ atau } M_{(-)} \geq \frac{1}{4} M_{max} \dots \dots \dots (2.29)$$

- Sambungan lewatan pada tulangan longitudinal diperbolehkan jika sepanjang daerah sambungan tersebut dipasang sengkang pengekan atau spiral. Jarak antar tulangan transversal pada bagian sambungan tidak boleh melebihi nilai terkecil antara $d/4$ atau 100 mm.

24 c. Tulangan Transversal

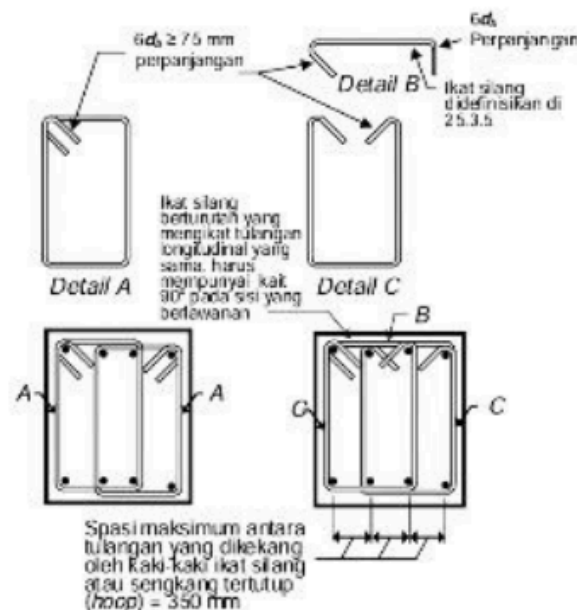
Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4, sengkang pengekan wajib dipasang pada balok sistem SRPMK di beberapa area, yaitu:

- Pada bagian sepanjang dua kali tinggi balok yang diukur dari muka kolom penumpu menuju tengah bentang di kedua ujung balok.
- Pada bagian balok dengan panjang dua kali tinggi balok di kedua sisi penampang yang berpotensi mengalami pelelehan lentur akibat deformasi lateral melebihi batas elastis.

Sengkang pertama harus dipasang dengan jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka kolom penumpu. Jarak antar sengkang pengekan tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:

- $d/4$
- Enam kali diameter batang tulangan lentur utama terkecil
- 150 mm.

Pada balok yang menerima gaya tekan aksial terfaktor lebih dari $A_g f'_c / 10$, spasi sengkang pengekuat dibatasi pada nilai terkecil antara enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil dan 150 mm.



Gambar 2. 7 Sengkang Tertutup (*hoop*) Yang Dipasang Bertumpuk dan Ilustrasi Batasan Maksimum Spasi Horizontal Penumpu Batang Longitudinal

(Sumber : SNI 2847:2019)

2

d. Kekuatan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5, persyaratan nilai gaya geser rencana pada balok sistem SRPMK dapat dihitung pada Persamaan 2.30 berikut:

$$V_e = \frac{Q_u l_n}{2} \pm \frac{M_{pr^-} + M_{pr^+}}{l_n} \dots \dots \dots (2.30)$$

2

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.2, persyaratan nilai V_c rencana harus memenuhi syarat sebagai berikut:

3

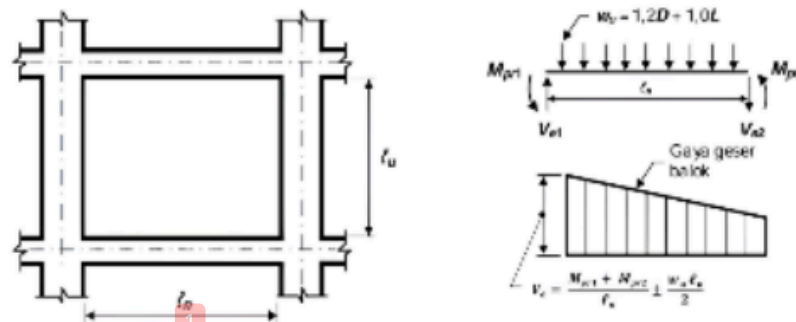
- Nilai gaya geser, V_c , dianggap nol apabila gaya geser maksimum yang ditimbulkan oleh gempa melebihi total gaya geser, sehingga perhitungannya harus dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2.31 berikut:

$$V_{u(gempa)} \geq \frac{1}{2} V_u \dots \dots \dots (2.31)$$

6

- Nilai gaya geser, V_c , dianggap sama dengan nol apabila gaya geser maksimum akibat gempa melebihi total gaya geser, sehingga perhitungannya perlu dilakukan menggunakan Persamaan 2.32 berikut:

$$P_u \leq \frac{A_g f'_c}{20} \dots \dots \dots (2.32)$$



Gambar 2. 8 Geser Desain Untuk Balok

(Sumber : SNI 2847:2019)

2. Torsi

a. Ketentuan Umum

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.1, pengaruh torsi pada penampang balok dapat diabaikan ($T_u = 0$) apabila memenuhi kondisi berikut:

$$\phi T_{cr} \geq T_u \dots \dots \dots (2.33)$$

Nilai batas torsi ini disebut sebagai T_{th} , yang dihitung menggunakan Persamaan 2.34 yang tercantum dalam SNI 2847:2019 Pasal 22.7.4.1 berikut:

$$\phi T_{cr} = 0,083 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \dots \dots \dots (2.34)$$

b. Batasan Penampang Balok Terhadap Torsi

Penampang balok yang menerima pengaruh gaya torsi harus dipastikan memiliki kapasitas yang memadai untuk menahannya. Ketentuan ini tercantum dalam SNI 2847:2019 Pasal 22.7.7.1 melalui Persamaan 2.35 berikut:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh^2}}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'c}\right) \dots\dots\dots (2.35)$$

Dengan syarat bahwa nilai $d \geq 0,8h$, di mana h merupakan tinggi penampang balok. Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi, maka dimensi penampang perlu disesuaikan.

c. Kuat Nominal Torsi (T_n)

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.6.1, nilai kuat nominal torsi (T_n) pada balok ditentukan dengan mengambil nilai terkecil dari dua persamaan yang telah ditetapkan berikut:

$$T_n = \left(\frac{2A_o A_t f_{yt}}{s}\right) \cot \theta \dots\dots\dots (2.36)$$

$$T_n = \left(\frac{2A_o A_t f_y}{P_h}\right) \cot \theta \dots\dots\dots (2.37)$$

d. Tulangan Torsi Minimum

- Tulangan Transversal pada Torsi

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.4.2, luas minimum tulangan transversal harus lebih besar dari nilai yang diperoleh melalui persamaan berikut:

$$\frac{(A_v 2A_t)_{min}}{s} \geq 0,062 \sqrt{f'c} \frac{b_w}{f_{yt}} \dots\dots\dots (2.38)$$

$$\frac{(A_v 2A_t)_{min}}{s} \geq 0,035 \frac{b_w}{f_{yt}} \dots\dots\dots (2.39)$$

Nilai A_v pada perhitungan ini merupakan luas tulangan geser yang dihitung berdasarkan analisis gaya geser, dengan Persamaan 2.40 untuk mencari nilai A_t berikut:

$$A_t = \frac{T_u s}{\phi 2A_o f_{yt}} \dots\dots\dots (2.40)$$

- Tulangan Longitudinal pada Torsi

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.4.3, luas minimum tulangan longitudinal ($A_{t \text{ min}}$) untuk menahan torsi harus diambil berdasarkan nilai terkecil yang diperoleh dari persamaan berikut:

$$A_{t \text{ min}} = 0,42 \sqrt{f'c} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{A_t}{s}\right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y} \dots\dots\dots (2.41)$$

$$A_{t \min} = 0,42 \sqrt{f'c} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{0,175b_w}{f_{yt}} \right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y} \dots\dots\dots (2.42)$$

2

e. Spasi Tulangan Torsi

- Batasan Spasi Tulangan Longitudinal

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.7.6.3.2, tulangan longitudinal wajib diteruskan dengan jarak minimum tertentu sekurang-kurangnya melalui Persamaan 2.43 berikut:

$$s \geq (b_t + d) \dots\dots\dots (2.43)$$

2

- Batasan Jarak Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.7.6.3.2, jarak maksimum antar tulangan transversal dibatasi sesuai dengan Persamaan 2.44 berikut:

$$s \leq \frac{P_h}{8} \leq 300 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.44)$$

3

f. Batasan Mutu Material

- Mutu Beton

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.2.1, nilai mutu beton yang digunakan harus memenuhi persyaratan minimum sesuai Persamaan 2.45 berikut:

$$\sqrt{f'c} \leq 8,3 \text{ MPa} \dots\dots\dots (2.45)$$

- Mutu Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.2.2, nilai mutu baja tulangan yang digunakan harus memenuhi ketentuan sesuai Persamaan 2.46 berikut:

$$f_y \text{ atau } f_{yt} \leq 420 \text{ MPa} \dots\dots\dots (2.46)$$

3. Kolom

a. Batasan Dimensi

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1, dalam perencanaan elemen kolom sistem SRPMK terdapat beberapa ketentuan yang harus dipenuhi, yaitu:

3

- Dimensi penampang terkecil kolom tidak boleh kurang dari 300 mm.
- Perbandingan antara dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak boleh kurang dari 0,4.

b. Kekuatan Lentur Minimum Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2, kolom sistem SRPMK wajib memenuhi ketentuan kekuatan lentur minimum sesuai dengan Persamaan 2.47 berikut:

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \dots \dots \dots (2.47)$$

c. Tulangan Longitudinal

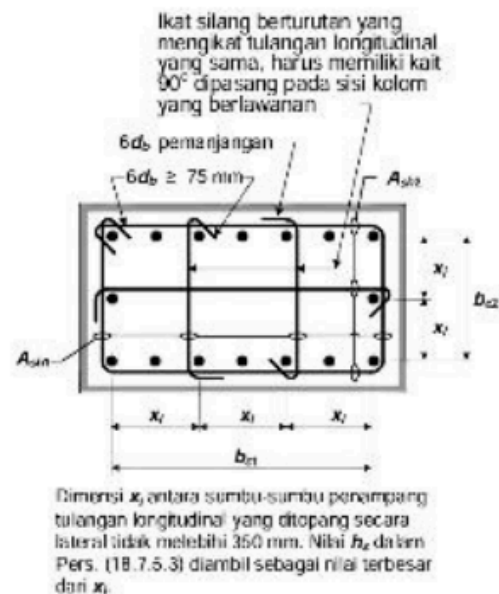
Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4, tulangan longitudinal kolom sistem SRPMK terdapat beberapa ketentuan yang harus dipenuhi, yaitu:

- Luas tulangan longitudinal (A_{st}) harus berada dalam batas antara $0,01 A_g$ hingga $0,06 A_g$.
- Apabila kolom menggunakan sengkang bundar, maka jumlah minimum tulangan longitudinal yang harus digunakan adalah enam batang.
- Sambungan mekanis harus memenuhi 18.2.7 dan sambungan las 18.2.8. Sambungan lewatan diizinkan hanya dalam daerah tengah tinggi kolom dan harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dilingkupi tulangan transversal yang memenuhi 18.7.5.2 dan 18.7.5.3.

d. Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.2, tulangan transversal wajib dipasang sepanjang jarak l_o dari muka sambungan (*joint*) serta pada kedua sisi penampang di mana kemungkinan terjadinya pelelehan lentur akibat perpindahan lateral melebihi batas elastis. Panjang l_o tidak boleh kurang dari nilai terbesar di antara:

- Jarak dari muka sambungan kolom atau penampang dengan potensi pelelehan lentur
- $1/6$ dari tinggi bersih kolom
- 450 mm.



Gambar 2. 9 Penulangan Transversal Pada Kolom
(Sumber : SNI 2847:2019)

4. Hubungan Balok dan Kolom (HBK)

a. Ketentuan Umum

4

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.2, terdapat beberapa ketentuan hubungan balok kolom sistem SRPMK yang harus dipenuhi, yaitu:

3

- Gaya pada tulangan longitudinal balok di muka sambungan (*joint*) harus dihitung dengan mengasumsikan tegangan tarik lentur sebesar $1,25 f_y$.
- Apabila tulangan longitudinal balok melewati sambungan antara balok dan kolom, maka ukuran kolom yang sejajar dengan arah tulangan tersebut harus memiliki dimensi minimum sebesar 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar pada balok untuk beton normal. Sedangkan untuk beton ringan, dimensi kolom minimum yang disyaratkan adalah 26 kali diameter tulangan longitudinal terbesar.
- Tinggi *joint* (*h*) harus memiliki nilai minimal setengah dari tinggi balok yang terhubung pada *joint* tersebut dan berperan dalam menahan gaya geser akibat beban seismik pada sistem struktur.

b. Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.3, tulangan transversal hubungan balok kolom sistem SRPMK terdapat beberapa ketentuan yang harus dipenuhi, yaitu:

- Apabila keempat sisi *joint* dihubungkan oleh balok, dan lebar setiap balok tersebut minimal $\frac{3}{4}$ dari lebar kolom, maka jumlah tulangan transversal yang disyaratkan dapat dikurangi hingga 50%. Selain itu, jarak antar tulangan dapat diperbesar hingga 150 mm, dengan acuan pada tinggi balok (h) terkecil yang terhubung pada *joint* tersebut.
- Bila tulangan momen negatif balok menggunakan batang berkepala (*headed deformed bar*) yang berakhir di dalam *joint*, maka tulangan kolom bagian atas wajib diteruskan ke atas *joint* dengan panjang minimum setinggi h .

c. Kekuatan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4, persyaratan nilai gaya geser nominal hubungan balok dan kolom sistem SRPMK terdapat beberapa ketentuan yang harus dipenuhi, yaitu::

- Pada sambungan antara balok dan kolom, nilai kekuatan geser nominal (V_n) harus mengikuti ketentuan yang tercantum dalam Tabel 2.30.

Tabel 2. 30 Kekuatan Geser Nominal *Joint*, V_n

Konfigurasi <i>Joint</i>	V_n
Untuk <i>joint</i> yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya ^[1]	$1,7\lambda\sqrt{f'c}A_j^{[2]}$
Untuk <i>joint</i> yang terkekang oleh balok-balok pada tiga sisinya atau dua sisi berlawanan ^[1]	$1,2\lambda\sqrt{f'c}A_j^{[2]}$
Untuk kasus-kasus lainnya	$1,0\lambda\sqrt{f'c}A_j^{[2]}$

(Sumber : SNI 2847:2019)

- Dalam tabel tersebut, suatu sisi *joint* dianggap memiliki kekangan dari balok jika lebar balok paling sedikit $\frac{3}{4}$ dari lebar efektif *joint*. Balok yang melintasi muka *joint* dengan panjang sekurang-kurangnya sama dengan tinggi balok (h) juga dapat diasumsikan memberikan kekangan tambahan pada *joint*.
- Luas penampang efektif *joint* (A_j) dihitung sebagai hasil kali antara tinggi dan lebar efektif *joint*. Tinggi *joint* sama dengan

lebar kolom (h). Apabila terdapat balok yang menumpu pada kolom dengan lebar lebih besar, maka lebar efektif *joint* tidak boleh melebihi nilai terkecil dari lebar balok ditambah tinggi *joint*, serta dua kali jarak tegak lurus terkecil antara sumbu longitudinal balok terhadap sisi kolom.



Gambar 2. 10 Luas *Joint* Efektif

(Sumber : SNI 2847:2019)

d. Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

79

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.5, panjang penyaluran tulangan tarik hubungan balok kolom sistem SRPMK terdapat beberapa ketentuan yang harus dipenuhi, yaitu:

- Untuk beton normal, panjang penyaluran l_{dh} tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara $8d_b$ dan 150 mm. Sementara untuk beton ringan, nilainya tidak boleh lebih kecil dari nilai terbesar antara $10d_b$ dan 190 mm. Faktor koreksi, λ , yang digunakan bernilai 1,0 untuk beton normal dan 0,75 untuk beton ringan. Panjang penyaluran (l_{dh}) dihitung menggunakan Persamaan 2.48 berikut:

$$\ell_{dh} = \frac{2 f_y d_b}{5,4 \lambda \sqrt{f'c}} \dots \dots \dots (2.48)$$

- Panjang penyaluran tulangan tarik (l_d) pada batang lurus tidak boleh kurang dari nilai terbesar antara 2,5 kali jika tinggi

pengecoran beton di bawah tulangan tidak melebihi 300 mm, dan 3,25 kali apabila tinggi pengecoran beton di bawah batang tulangan melebihi 300 mm.

- Untuk tulangan lurus yang berakhir pada joint, batang tulangan harus melewati area inti yang terkekang oleh kolom atau elemen batas. Bagian panjang penyaluran (l_d) yang berada di luar inti terkekang wajib diperpanjang sebesar 1,6 kali dari panjang aslinya.

2.8 Struktur Tahan Gempa Berdasarkan Tingkat Daktilitas

Berdasarkan SNI 1726:2002 Pasal 3.1.3, daktilitas merupakan kemampuan suatu struktur bangunan untuk menahan simpangan pasca-elastis yang besar secara berulang dan bolak-balik akibat beban gempa yang melebihi beban saat pelepasan awal terjadi, sambil tetap mempertahankan kekuatan serta kekakuan yang memadai. Dengan demikian, meskipun struktur telah berada pada kondisi mendekati keruntuhan, bangunan masih mampu berdiri dan tidak mengalami kegagalan total. Tingkat daktilitas pada bangunan tahan gempa dibedakan menjadi tiga kategori, yaitu:

1. Daktail penuh merupakan tingkat daktilitas struktur gedung yang mana struktur gedung tersebut mampu mengalami simpangan pasca elastik disaat bangunan mencapai kondisi diambang keruntuhan yang paling besar. Adapun jika dihitung, nilai faktor daktail penuh hingga mencapai nilai daktilitas sebesar 5.3.
2. Daktail parsial merupakan tingkat daktilitas struktur gedung yang memiliki nilai faktor daktilitas sebesar 1.5 untuk struktur gedung elastik penuh. Adapun untuk tipe struktur gedung dengan daktail penuh memiliki nilai faktor sebesar 5.
3. Elastik penuh merupakan tingkat daktilitas struktur gedung yang memiliki nilai faktor daktilitas lebih rendah dari tingkatan daktail parsial. Biasanya bangunan dengan tingkatan elastik penuh memiliki nilai faktor daktilitas sebesar 1.

Tabel 2. 31 Parameter Daktilitas Struktur Gedung

Taraf Kinerja Struktur Gedung	μ	R
Elastik Penuh	1,0	1,6
Daktail Parsial	1,5	2,4
	2,0	3,2
	2,5	4,0

(Sumber : SNI 1726:2002)

Tabel 2. 31 Parameter Daktilitas Struktur Gedung (Lanjutan)

Taraf Kinerja Struktur Gedung	μ	R
Daktil Parsial	3,0	4,8
	3,5	5,6
	4,0	6,4
	4,5	7,2
	5,0	8,0
Daktil Penuh	5,3	8,5

(Sumber : SNI 1726:2002)

2.9 Metode Analisis Gaya Gempa

Dalam menganalisis pengaruh gaya gempa terhadap perilaku struktur bangunan, digunakan metode analisis nonlinier yang terbagi menjadi dua jenis, yaitu analisis statik dan analisis dinamik. Semakin tinggi tingkat ketelitian analisis yang dilakukan pada struktur bangunan, maka hasil perencanaannya akan semakin efisien dan ekonomis.

2.9.1 Analisa Statik

Analisis statik adalah metode yang digunakan untuk memahami perilaku struktur, khususnya dalam menilai potensi keruntuhan dan deformasi yang mungkin terjadi (A. Y. Ramadhan & Istiono, 2020). Secara umum, analisis statik dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

1. Analisis Statik Linier

Analisis statik linier merupakan metode analisis di mana struktur dianggap berperilaku linear elastis, artinya respons struktur terhadap beban berbanding lurus dengan besar beban yang diterapkan. Pengaruh waktu dan dinamika beban diabaikan, sehingga seluruh beban dianggap konstan selama proses analisis dan menghasilkan distribusi tegangan serta deformasi pada elemen struktur. Tujuan dari analisis linear statik adalah untuk menentukan respons struktur terhadap beban statis seperti beban gravitasi, angin, atau beban tetap lainnya yang tidak berubah terhadap waktu. Selain itu, metode ini digunakan untuk menilai perilaku struktur, membentuk kekakuan tambahan akibat efek P-Delta setelah analisis linear, memahami mekanisme keruntuhan struktur akibat beban gempa, serta mengevaluasi kinerja, keamanan, dan efisiensi desain dari struktur tersebut (Ghozi & Ifani Rizaldhy, 2023 ; Hafiz & Anggraini, 2025).

2. Analisis Statik Non-Linier

Analisis statik non-linier merupakan metode analisis untuk menyelesaikan permasalahan pada struktur atau sistem yang menunjukkan perilaku nonlinier. Ketidaklinearan ini dapat muncul akibat berbagai faktor seperti deformasi besar, perilaku material yang mengalami kerusakan atau kegagalan, serta kondisi batas yang kompleks. Dalam analisis ini, struktur dibagi menjadi elemen-elemen kecil sebagaimana pada analisis linear, namun sifat mekanik setiap elemen dihitung dengan mempertimbangkan karakteristik nonlinier material. Beban serta kondisi batas yang diterapkan harus diperhatikan secara teliti karena efek nonlinier dapat memengaruhi respons struktur terhadap beban tersebut. Analisis statik nonlinier menghitung secara langsung redistribusi gaya dan deformasi yang terjadi saat struktur mengalami perilaku inelastis, sehingga hasilnya lebih akurat dibandingkan analisis statik linear. Meski demikian, metode ini kurang efektif digunakan untuk menganalisis struktur bangunan tinggi yang bersifat fleksibel, sehingga diperlukan analisis dinamik nonlinier untuk bangunan dengan ketidakaturan vertikal yang signifikan. Tujuan dari analisis nonlinier adalah memberikan gambaran distribusi tegangan dan deformasi yang lebih realistis karena memperhitungkan efek serta sifat nonlinier material yang digunakan (Ghozi & Ifani Rizaldhy, 2023 ; Hafiz & Anggraini, 2025).

2.9.2 Analisa Dinamik

Analisis dinamik adalah metode analisis struktur yang dilakukan dengan membagi gaya geser akibat gempa serta memperhitungkan pengaruh gerakan tanah secara dinamis terhadap respons struktur (A. Y. Ramadhan & Istiono, 2020). Secara umum, analisis dinamik dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

1. Analisis Dinamik Linier

Analisis dinamik linier merupakan metode analisis untuk menentukan respons struktur bangunan terhadap beban gempa dengan memperhitungkan karakteristik dinamik seperti massa, kekakuan, dan redaman, tanpa mempertimbangkan perilaku nonlinier material. Struktur diasumsikan berperilaku elastis linier, di mana hubungan antara gaya dan perpindahan bersifat proporsional selama pembebanan. Analisis ini dapat menentukan nilai respons getaran struktur akibat beban gempa yang bervariasi terhadap waktu (*time-history analysis*) atau berdasarkan

spektrum respons gempa (*response spectrum analysis*), terutama pada bangunan bertingkat tinggi, tidak beraturan, atau bermassa besar yang sulit dianalisis dengan metode statik ekuivalen. Tujuan dari analisis dinamik linier adalah menentukan perubahan respons dinamik struktur yang berperilaku elastik penuh terhadap gerakan tanah akibat gempa rencana (Ghozi & Ifani Rizaldhy, 2023 ; Hafiz & Anggraini, 2025).

2. Analisis Dinamik Non-linier ⁶

Analisis dinamik non-linier merupakan metode analisis untuk menilai respons aktual struktur bangunan terhadap beban gempa dengan mempertimbangkan perilaku material dan geometri. Hubungan antara gaya dan perpindahan tidak lagi bersifat proporsional karena struktur dapat mengalami perubahan kekakuan, plastisitas, hingga kerusakan selama proses pembebanan. Pendekatan nonlinier mampu menggambarkan kondisi inelastik yang terjadi selama gempa sehingga hasil analisis lebih mendekati kondisi sebenarnya di lapangan. Analisis respons dinamik inelastis menggunakan riwayat waktu percepatan gempa aktual (*nonlinear time history analysis*), di mana gaya gempa, gaya dalam, dan perpindahan struktur ditentukan langsung berdasarkan riwayat gerakan tanah (*ground motion histories*). Tujuan dari analisis dinamik nonlinier adalah untuk mengetahui respons aktual struktur terhadap beban gempa dengan mempertimbangkan perilaku inelastik material dan perubahan kekakuan selama pembebanan, sehingga dapat menggambarkan mekanisme kerusakan, daktilitas, serta kinerja struktur secara lebih realistis dan akurat (Ghozi & Ifani Rizaldhy, 2023 ; Hafiz & Anggraini, 2025).

2.10 Software ETABS ¹

Software ETABS (*Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems*) merupakan perangkat lunak analisis dan desain struktur yang dikembangkan oleh Computers and Structures, Inc. (CSI), sebuah perusahaan yang berpusat di Berkeley, California, Amerika Serikat. Pengembangannya berawal dari penelitian Dr. Edward L. Wilson di University of California, Berkeley pada tahun 1970, yang kemudian menginspirasi pendirian CSI oleh Ashraf Habibullah pada tahun 1975. Selain ETABS, CSI juga meluncurkan perangkat lunak lain seperti SAP, yang menjadi produk pertama mereka, serta SAFE, yang kini telah digunakan secara luas oleh para insinyur di lebih dari 100 negara. ETABS sendiri merupakan perangkat lunak rekayasa struktur yang dirancang secara khusus untuk melakukan analisis dan perancangan bangunan bertingkat, baik dengan konfigurasi sederhana maupun kompleks. Program ini

memungkinkan pengguna untuk melakukan pemodelan tiga dimensi secara detail serta menganalisis beban statik dan dinamik, termasuk beban mati, hidup, angin, dan gempa sehingga memudahkan proses pemodelan, analisis, hingga interpretasi hasil perhitungan struktur. ETABS dapat melakukan analisis otomatis setelah pengguna memasukkan data atau parameter struktur yang dibutuhkan. Aplikasi ini dirancang untuk mendukung berbagai jenis perencanaan, termasuk analisis rangka baja, rangka beton, balok komposit, rangka batang baja, serta dinding geser (Zulfikar dkk., 2024).

Secara umum, proses perancangan struktur menggunakan ETABS dilakukan melalui tujuh tahapan utama, yaitu:

1. Menentukan geometri model struktur.
2. Mendefinisikan data-data struktur yang diperlukan.
3. Menempatkan data yang telah didefinisikan ke dalam model.
4. Melakukan pemeriksaan input data.
5. Melaksanakan desain struktur baja dan beton sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.
6. Memasukkan beban yang bekerja pada bangunan.
7. Melakukan modifikasi atau redesain struktur apabila diperlukan.

Adapun kelebihan dan kekurangan *software* ETABS dibanding *software* yang lain sehingga penelitian ini menggunakan ETABS dapat dilihat pada Tabel 2.32 berikut.

Tabel 2. 32 Kelebihan *Software* ETABS

<i>Software</i>	Kelebihan	Kekurangan
ETABS	- ETABS merupakan <i>software</i> yang dirancang untuk analisis gedung bertingkat (<i>story based</i>) yang mudah digunakan - ETABS memiliki ukuran dimensi sehingga memberikan kejelasan apabila terdapat perbedaan dimensi pada grid x atau y layaknya dimensi line pada AutoCAD - ETABS memiliki output hasil analisis yang lebih rapi sehingga mudah di mengerti	- ETABS kurang cocok untuk analisis struktur non-gedung seperti jembatan, dan lain-lain
SAP2000	- SAP2000 merupakan <i>software</i> yang dirancang untuk berbagai analisis baik itu gedung, jembatan, rangka atap, dan lain-lain	- SAP2000 kurang cocok untuk analisis struktur gedung bertingkat tinggi karena tidak berbasis <i>story based</i> sehingga pengaplikasian material dan beban lebih rumit untuk dilakukan

(Sumber : Zulfikar dkk., 2024)

2.11 Analisis Level Kinerja Statik Non-Linier (*Pushover*)

51 Analisis statik non-linier (*pushover*) merupakan bagian dari *performance-based seismic design* yang menggunakan metode analisis nonlinier berbasis komputer untuk menilai perilaku inelastis suatu struktur terhadap berbagai tingkat intensitas gempa. Proses analisis ini dilakukan dengan memberikan beban statis lateral yang ditingkatkan secara bertahap hingga struktur mencapai simpangan target atau kondisi keruntuhan tertentu. Hasil dari analisis ini berupa kurva kapasitas (*capacity curve*), yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan (*displacement*). Melalui kurva tersebut, kinerja struktur dapat dievaluasi secara menyeluruh. Selain itu, analisis *pushover* juga memungkinkan pengamatan visual terhadap perubahan perilaku struktur, mulai dari kondisi elastis, plastis, hingga keruntuhan elemen. Metode ini memberikan gambaran yang lebih realistis mengenai respons inelastis bangunan saat mengalami beban gempa (Utami dkk., 2024). Tujuan dari analisis *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum serta deformasi yang dialami struktur, sekaligus mengidentifikasi elemen-elemen yang berada pada kondisi kritis. Melalui hasil analisis ini, bagian-bagian struktur yang memerlukan perhatian lebih dalam hal pendetailan maupun stabilitas dapat diketahui. Analisis *pushover* juga berfungsi sebagai alat bantu dalam perencanaan struktur tahan gempa (Hutama, 2021).

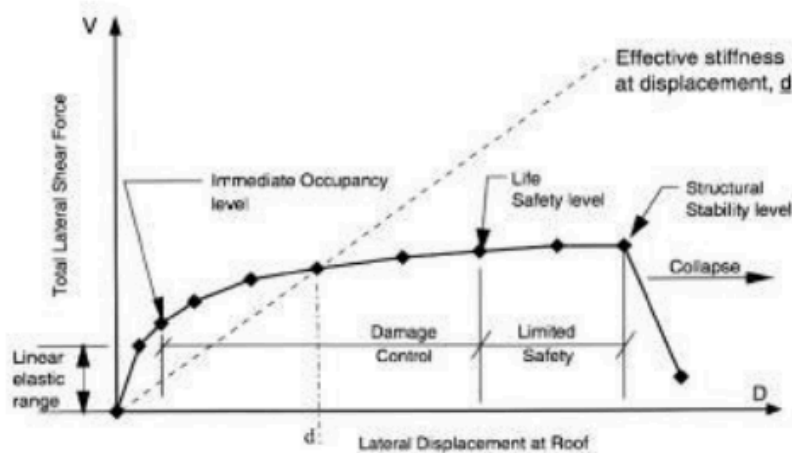
Analisis level kinerja statik non-linier (*pushover*) merupakan metode yang digunakan untuk menilai kemampuan struktur dalam menghadapi gempa rencana. Tingkat kinerja tersebut ditentukan berdasarkan sejauh mana kerusakan yang dialami struktur akibat gempa dengan periode ulang tertentu, di mana hasilnya berhubungan erat dengan estimasi biaya perbaikan agar bangunan dapat kembali berfungsi (Karima dkk., 2021). Dalam perancangan struktur berbasis kinerja, penting untuk mempertimbangkan tujuan serta fungsi bangunan, faktor ekonomi dalam proses perbaikan, dan tetap memastikan keselamatan pengguna saat terjadi gempa. Tujuan utama analisis ini adalah untuk menentukan level kinerja yang diharapkan dari bangunan dengan menetapkan batas maksimum tingkat kerusakan yang masih dapat diterima (*Performance Level*) sebagai dasar identifikasi potensi bahaya gempa. Prosedur analisis *pushover* sendiri dapat dilakukan menggunakan pedoman dari ATC-40 maupun FEMA 356.

2.11.1 Level Kinerja Statik Non-Linier Menggunakan Metode ATC-40

Respons struktur terhadap pergerakan tanah saat terjadi gempa dapat menimbulkan perpindahan lateral dan deformasi pada elemen-elemen bangunan. Apabila deformasi tersebut masih berada dalam batas elastis (linier) tanpa menimbulkan kerusakan, maka struktur dikategorikan berada

pada tingkat respons rendah. Namun, jika deformasi telah melampaui batas elastis dan menyebabkan kerusakan, kondisi tersebut termasuk dalam tingkat respons tinggi. Untuk mencapai kinerja struktur yang diharapkan, diperlukan sistem penahan gaya geser yang mampu mengendalikan perpindahan lateral akibat gempa hingga tingkat kerusakan yang masih dapat diterima. Kemampuan sistem penahan geser ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti massa bangunan, kekakuan, redaman, konfigurasi deformasi elemen, kekuatan material, serta karakteristik gerakan tanah.

Berdasarkan ATC-40, tingkat kinerja struktur dapat ditentukan berdasarkan perpindahan lateral dan besarnya gaya yang bekerja, yang digambarkan melalui kurva kapasitas. Kurva ini menunjukkan hubungan antara total gaya geser dasar (V) dengan peningkatan beban serta perpindahan lateral pada atap bangunan. Untuk setiap tingkat gaya tertentu, hubungan tersebut dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 2.11 berikut.



Gambar 2. 11 Kurva Kapasitas ATC-40
(Sumber : ATC-40, 1996)

Berdasarkan ATC-40, batasan rasio *drift* atap untuk berbagai tingkat kinerja struktur juga dijelaskan dalam Tabel 2.33 berikut.

Tabel 2. 33 Batasan Rasio Simpangan Antar Tingkat ATC-40

Batasan Rasio Simpangan Antar Tingkat	Level Kinerja Struktur			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Rasio Simpangan Total Maksimum	0,01	0,01	0,02	$0,33 V_i / P_i$

(Sumber : ATC-40, 1996)

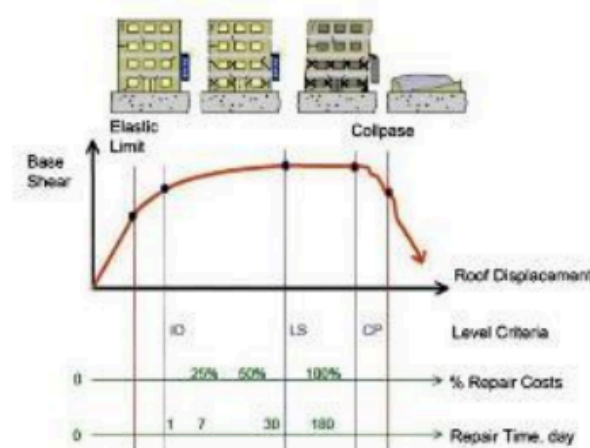
Setiap level kinerja menggambarkan kondisi bangunan setelah mengalami gempa serta menentukan kategori bangunan yang masih diperbolehkan beroperasi pada tingkat kinerja tertentu yang dapat dilihat pada Tabel 2.34 berikut.

Tabel 2. 34 Level Kinerja Struktur ATC-40

2 Level Kinerja	Probabilitas Gempa Rencana	Keterangan
<i>Operational</i>	50% / 50 Tahun	Tidak ada kerusakan struktural dan non-struktural yang berarti, bangunan dapat tetap berfungsi
<i>Immediate Occupancy</i> (IO)	20% / 50 Tahun	Tidak terjadi kerusakan Struktural, komponen non-struktural masih berada di tempatnya dan bangunan tetap dapat berfungsi tanpa terganggu masalah perbaikan
<i>Life Safety</i> (LS)	10% / 50 Tahun	Terjadi kerusakan struktural tetapi tidak terjadi keruntuhan, komponen non-struktural tidak berfungsi tetapi bangunan masih dapat digunakan setelah dilakukan perbaikan
<i>Collapse Prevention</i> (CP)	2% / 50 Tahun	Kerusakan terjadi pada komponen struktural dan non- struktural, bangunan hampir runtuh, dan kecelakaan akibat kejatuhan material bangunan sangat mungkin terjadi

(Sumber : ATC-40, 1996)

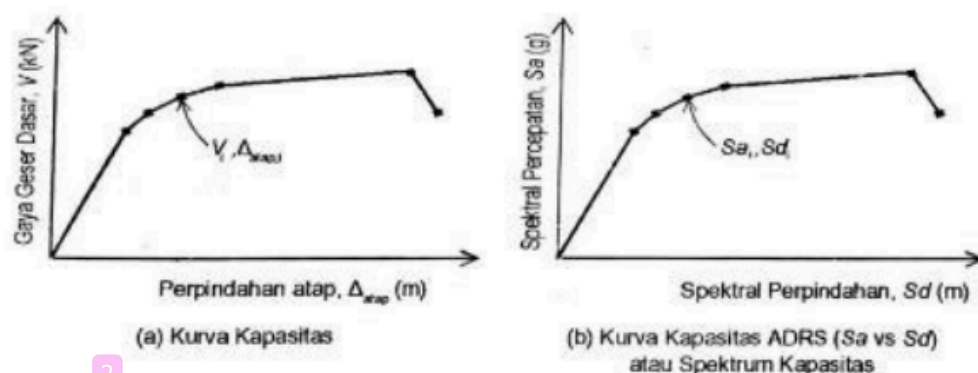
Dari penjelasan Tabel 2.34 diatas mengenai level kinerja struktur dapat diilustrasikan seperti Gambar 2.12 berikut.



Gambar 2. 12 Level Kinerja ATC-40

(Sumber : ATC-40, 1996)

Berdasarkan ATC-40, penentuan tingkat kinerja struktur dilakukan dengan metode spektrum kapasitas (*capacity spectrum*), yaitu pendekatan yang menggabungkan antara spektral percepatan dan spektral perpindahan, dikenal pula sebagai *Acceleration Displacement Response Spectra* (ADRS). Kurva kapasitas (*capacity curve*) diperoleh melalui hasil analisis *pushover*, yaitu dengan memberikan beban lateral statis secara bertahap pada struktur hingga mencapai kondisi batas atau mengalami kegagalan. Respons struktur terhadap peningkatan beban tersebut kemudian digambarkan dalam bentuk hubungan antara gaya geser dasar (V) dan perpindahan atap (Δ_{atap}), yang menghasilkan kurva kapasitas. Kurva ini merepresentasikan kemampuan struktur dalam menahan beban, di mana kekuatannya sangat dipengaruhi oleh tingkat deformasi pada masing-masing elemen struktur.



Gambar 2. 13 (a) Kurva Kapasitas (b) Spektrum Kapasitas
(Sumber : ATC-40, 1996)

Transformasi kurva kapasitas yang diperoleh dari hasil analisis beban dorong dapat dilakukan menjadi spektrum kapasitas dengan menggunakan persamaan berikut

$$PF_1 = \frac{\left[\frac{\sum_{i=1}^N \frac{(w_i \phi_{i1})}{g}}{\sum_{i=1}^N \frac{(w_i \phi_{i1}^2)}{g}} \right]}{\left[\frac{\sum_{i=1}^N \frac{(w_i \phi_{i1})}{g}}{\sum_{i=1}^N \frac{(w_i \phi_{i1}^2)}{g}} \right]} \dots \dots \dots (2.49)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\frac{\sum_{i=1}^N \frac{(w_i \phi_{i1})}{g}}{\sum_{i=1}^N \frac{(w_i \phi_{i1}^2)}{g}} \right]}{\left[\frac{\sum_{i=1}^N \frac{(w_i \phi_{i1})}{g}}{\sum_{i=1}^N \frac{(w_i \phi_{i1}^2)}{g}} \right]} \dots \dots \dots (2.50)$$

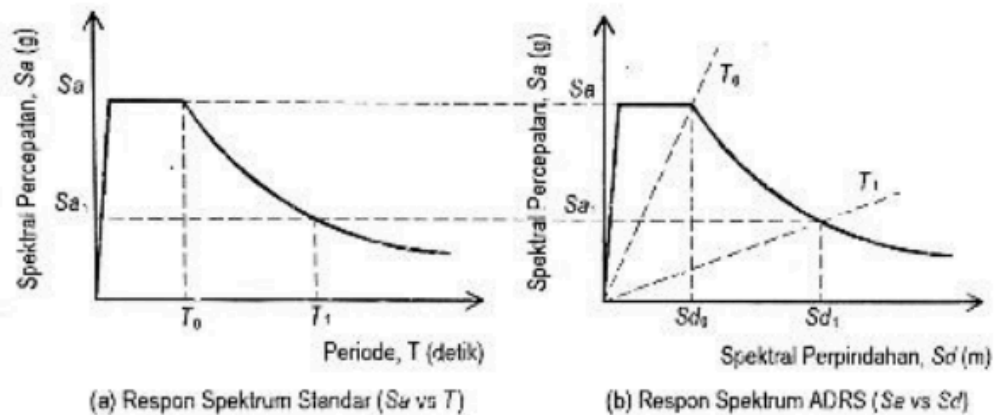
$$S_a = \frac{V}{W} \dots \dots \dots (2.51)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof1}}{PF_1 \phi_{roof1}} \dots \dots \dots (2.52)$$

Spektrum demand diperoleh dengan mengonversi respons spektrum yang umumnya dinyatakan dalam bentuk spektral percepatan, S_a , dan periode

getar, T , menjadi format spektral percepatan, S_a , dan spektral perpindahan, S_d . Proses konversi dari format standar S_a dan T ke format *Acceleration Displacement Response Spectrum* (ADRS) dilakukan dengan menentukan nilai S_{d1} pada setiap titik kurva, yaitu S_{a1} dan T_1 , yang dihitung menggunakan Persamaan 2.53 berikut.

$$S_{d1} = \frac{T_1^2}{4\pi^2} S_{a1} g \dots\dots\dots (2.53)$$



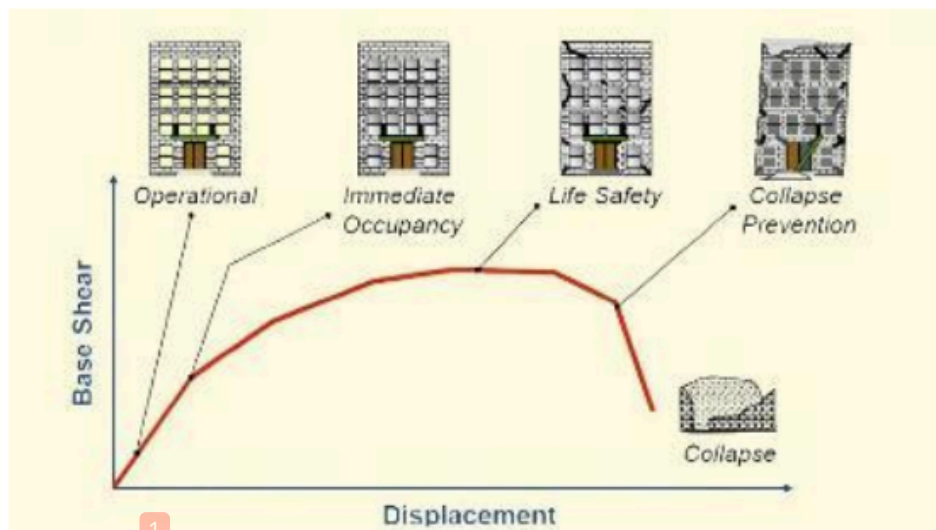
Gambar 2. 14 Konversi Spektrum Respon ke *Spectrum Demand*
(Sumber : ATC-40, 1996)

Metode ini diintegrasikan ke dalam program ETABS, di mana proses konversi kurva *pushover* ke format ADRS serta pengurangan kurva respons spektral dilakukan langsung oleh sistem. Pengguna hanya perlu memasukkan data berupa kurva respons spektrum. Dalam pelaksanaan analisis *pushover* dengan metode spektrum kapasitas, ETABS secara otomatis menentukan titik kinerja (*performance point*) dari struktur yang dianalisis. Titik ini menunjukkan perpindahan maksimum yang dialami bangunan saat terjadi gempa rencana dan diperoleh dari perpotongan antara spektrum kapasitas dengan *spektrum demand*. Dari titik kinerja tersebut dapat diketahui periode alami bangunan serta redaman efektif yang mencerminkan perubahan kekakuan struktur akibat terbentuknya sendi plastis. Respons lain seperti simpangan antar tingkat dan letak sendi plastis juga dapat diidentifikasi. Dalam perencanaan struktur, level kinerja yang direkomendasikan adalah *Immediate Occupancy* (IO), yaitu kondisi di mana tidak terjadi kerusakan struktural dan bangunan masih dapat berfungsi normal. Namun, jika kondisi tersebut tidak tercapai, dapat digunakan level kinerja *Life Safety* (LS), yaitu tingkat kinerja di mana terdapat kerusakan struktural tanpa menyebabkan keruntuhan total, komponen non-struktural tidak berfungsi sementara, namun bangunan tetap dapat digunakan setelah perbaikan. Tingkat kinerja ini

dianggap proporsional untuk perencanaan bangunan baru karena mampu menggambarkan respons dengan deformasi yang relatif besar berdasarkan hasil analisis eksperimental.

2.11.2 Level Kinerja Statik Non-Linier Menggunakan Metode FEMA 356

Menurut FEMA 356, *Displacement Coefficient Method* (DCM) merupakan metode yang digunakan untuk menilai kinerja struktur bangunan. Prinsip utama dalam analisis *pushover* adalah memberikan beban lateral pada struktur secara bertahap hingga mencapai beban target atau kondisi keruntuhan struktur. Dari proses ini dihasilkan kurva kapasitas yang mencerminkan hubungan antara gaya dan perpindahan, kemudian kurva tersebut diolah menggunakan metode tertentu untuk mengevaluasi respons dan kapasitas struktur terhadap beban gempa berdasarkan level kinerja bangunan sesuai FEMA 356 yang dapat dilihat pada Tabel 2. 35 dan Gambar 2. 15 berikut.



Gambar 2. 15 Level Kinerja Struktur FEMA 356

(Sumber : FEMA 356, 2000)

Tabel 2. 35 Level Kinerja Struktur FEMA 356

Level Kinerja	Keterangan	Kategori Bangunan
Operational	Pada tingkat ini, bangunan tidak mengalami kerusakan yang signifikan, baik pada elemen struktural maupun non-strukturalnya. Secara umum, tidak terjadi perpindahan permanen pada struktur, sebagian besar elemen masih mampu	-

(Sumber : FEMA 356, 2000)

Tabel 2. 35 Level Kinerja Struktur FEMA 356 (Lanjutan)

Level Kinerja	Keterangan	Kategori Bangunan
	mempertahankan kekuatannya, hanya muncul retakan kecil, dan seluruh sistem utama bangunan tetap berfungsi sebagaimana mestinya. ⁸	⁶
<i>Immediate Occupancy</i>	Pada tingkat ini, bangunan tidak menunjukkan kerusakan yang signifikan pada elemen-elemennya. Kekuatan serta kekakuan struktur masih mendekati kondisi semula. Komponen non-struktural umumnya tidak terpengaruh secara serius oleh gempa, sehingga peralatan dan isi bangunan tetap aman, meskipun beberapa utilitas mungkin tidak berfungsi akibat adanya kerusakan mekanis.	Rumah sakit, gudang bahan bakar atau bahan berbahaya ¹
¹ <i>Life Safety</i>	Pada tingkat ini, bangunan mulai mengalami kerusakan pada beberapa elemen struktural akibat gempa, yang menyebabkan penurunan kekuatan serta kekakuan struktur. Meskipun demikian, bangunan masih memiliki kapasitas yang cukup untuk menahan beban tanpa mengalami keruntuhan total. Komponen non-struktural sebagian besar tetap ada, namun fungsinya menurun dan memerlukan perbaikan sebelum dapat digunakan kembali.	Fasilitas-fasilitas umum, gedung perkantoran, perumahan, gudang, dll
<i>Collapse Prevention</i>	Pada tingkat ini, gedung diperkirakan mengalami kegagalan pada elemen strukturalnya. Meskipun struktur telah runtuh sebagian, potensi terjadinya korban jiwa masih dapat ditekan atau diminimalkan.	-

(Sumber : FEMA 356, 2000)

Berdasarkan FEMA 356 Pasal 3.3, *Displacement Coefficient Method* sebagai prosedur analisis statis nonlinier yang menyelesaikan perhitungan dengan cara memodifikasi respons elastis linier dari sistem ekuivalen SDOF menggunakan beberapa faktor koefisien, yaitu C_0 , C_1 , C_2 , dan C_3 . Melalui faktor-faktor tersebut, dapat dihitung nilai perpindahan target (δ_i). Proses analisis dimulai dengan menentukan periode getar efektif, T_e , yang mempertimbangkan perilaku inelastis struktur, di mana periode ini

menggambarkan kekakuan linier sistem ekuivalen SDOF. Ketika nilai tersebut diplot pada spektrum respons elastis, akan terlihat percepatan maksimum gerakan tanah atau akselerasi puncak akibat gempa, S_a , versus waktu getar, T .

Berdasarkan FEMA 356 Pasal 3.3.3.2.4, nilai periode fundamental efektif, T_e , pada arah analisis yang dipertimbangkan ditentukan berdasarkan kurva hubungan gaya dan perpindahan dihitung menggunakan Persamaan 2.54 berikut.

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (2.54)$$

Berdasarkan FEMA 356 Pasal 3.3.3.3.2, perpindahan target, δ_t , pada setiap tingkat lantai harus dihitung sesuai dengan Persamaan 2.55 berikut.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (2.55)$$

Tabel 2. 36 Faktor Modifikasi C_0^1 FEMA 356

Number of Stories	Shear Buildings ²		Other Buildings
	Triangular Load Pattern	Uniform Load Pattern	Any Load Pattern
1	1,0	1,0	1,0
2	1,2	1,15	1,2
3	1,2	1,2	1,3
5	1,3	1,2	1,4
10+	1,3	1,2	1,5

(Sumber : FEMA 356, 2000)

CATATAN:

1. Interpolasi linier harus digunakan untuk menghitung nilai-nilai di antara.
2. Bangunan di mana, untuk semua lantai, simpangan antar lantai berkurang seiring dengan bertambahnya tinggi bangunan.

Tabel 2. 37 Faktor Modifikasi C_2 FEMA 356

Structural Performance Level	$T \leq 0,1 \text{ second}^3$		$T \geq T_s \text{ second}^3$	
	Framing Type 1 ¹	Framing Type 2 ²	Framing Type 1 ¹	Framing Type 2 ²
Immediate Occupancy	1,0	1,0	1,0	1,0
Life Safety	1,3	1,0	1,1	1,0
Collapse Prevention	1,5	1,0	1,2	1,0

(Sumber : FEMA 356, 2000)

CATATAN:

1. Struktur di mana lebih dari 30% gaya geser lantai pada setiap tingkat ditahan oleh kombinasi dari komponen, elemen, atau rangka, meliputi rangka pemikul momen biasa, rangka berpengaku konsentris, rangka dengan sambungan sebagian terikat, batang pengaku tarik saja, dinding pasangan bata tanpa tulangan, serta pilar dan balok penghubung beton bertulang atau pasangan batu yang bersifat kritis terhadap geser.
2. Semua rangka yang tidak termasuk dalam *Framing Type 1*.
3. Interpolasi linier harus digunakan untuk nilai-nilai antara dari T.

Tabel 2. 38 Faktor Modifikasi C_m^1 FEMA 356

No of Stories	Concrete Moment Frame	Concrete Shear Wall	Concrete Pier-Spandrel	Steel Moment Frame	Steel Concentric Braced Frame	Steel Eccentric Braced Frame	Other
1-2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3 or more	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0

(Sumber : FEMA 356, 2000)

CATATAN:

1. Nilai C_m harus dianggap sebesar 1,0 apabila periode fundamental, T , lebih besar dari 1,0 detik.

Berdasarkan FEMA 356 Tabel C1-2, hasil analisis simpangan dilakukan perbandingan dengan batasan simpangan yang tertera pada Tabel 2.39 berikut.

Tabel 2. 39 Batasan Simpangan FEMA 356

Elements	Immediate Occupancy		Life Safety		Collapse Prevention	
	Maximum Drift Transient (%)	Maximum Drift Permanent (%)	Maximum Drift Transient (%)	Maximum Drift Permanent (%)	Maximum Drift Transient (%)	Maximum Drift Permanent (%)
Reinforced Masonry Walls	0,2	0,2	0,6	0,6	1,5	1,5
Wood Stud Walls	1	0,25	2	1	3	3

(Sumber : FEMA 356, 2000)

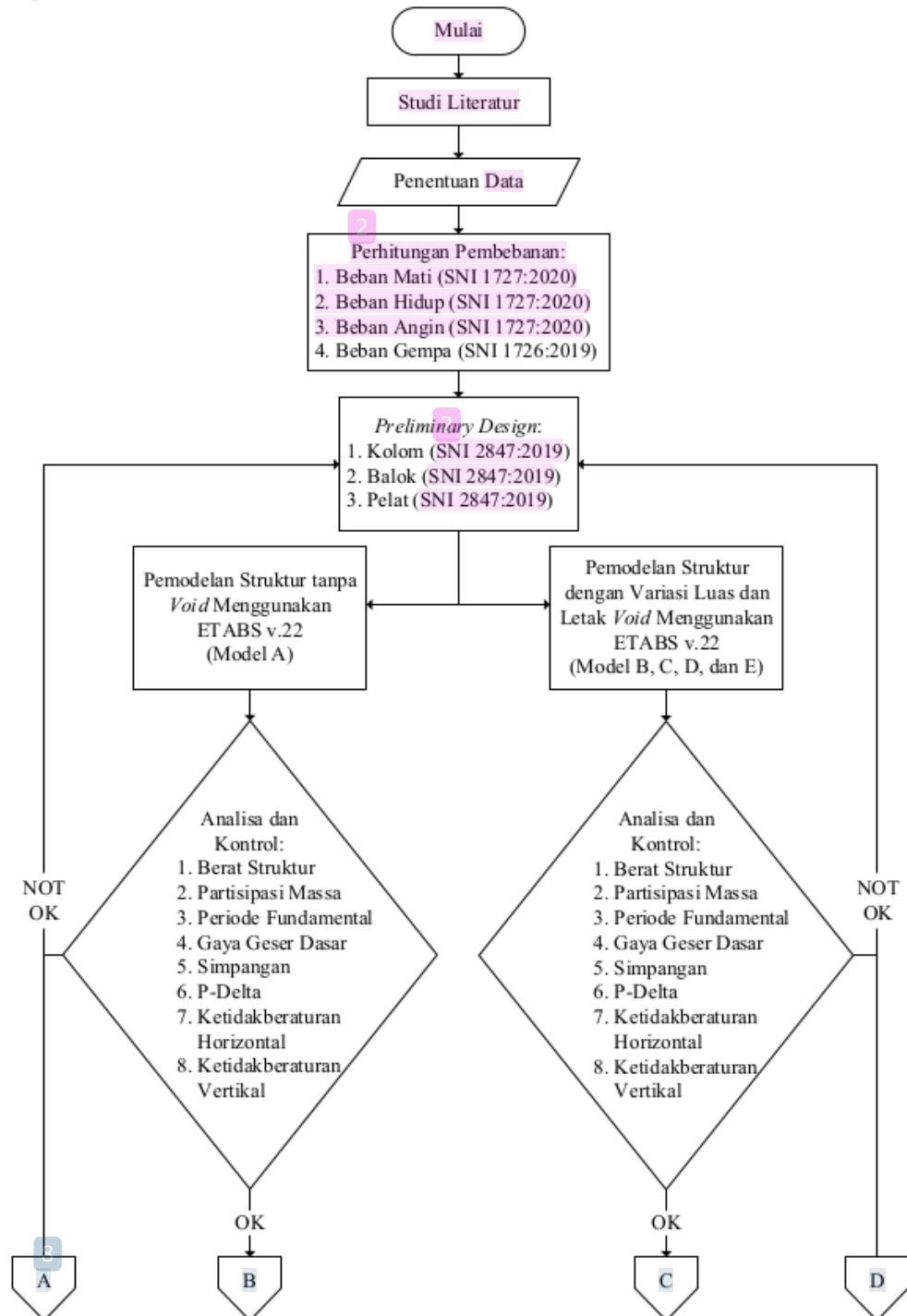
Tabel 2. 39 Batasan Simpangan FEMA 356 (Lanjutan)

<i>Elements</i>	<i>Immediate Occupancy</i>		<i>Life Safety</i>		<i>Collapse Prevention</i>	
	<i>Maximum Drift Transient (%)</i>	<i>Maximum Drift Permanent (%)</i>	<i>Maximum Drift Transient (%)</i>	<i>Maximum Drift Permanent (%)</i>	<i>Maximum Drift Transient (%)</i>	<i>Maximum Drift Permanent (%)</i>
<i>Concrete Frames</i>	1	Diabaikan	2	1	4	4
<i>Steel Moment Frames</i>	0,7	Diabaikan	2,5	1	5	5
<i>Braced Steel Frames</i>	0,5	Diabaikan	1	0,5	2	2
<i>Concrete Walls</i>	0,5	Diabaikan	1	0,5	2	2
<i>Unreinforced Masonry Infill Walls</i>	0,1	Diabaikan	0,5	0,3	0,6	0,6
<i>Unreinforced Masonry (Noninfill) Walls</i>	0,3	0,3	0,6	0,6	1	1

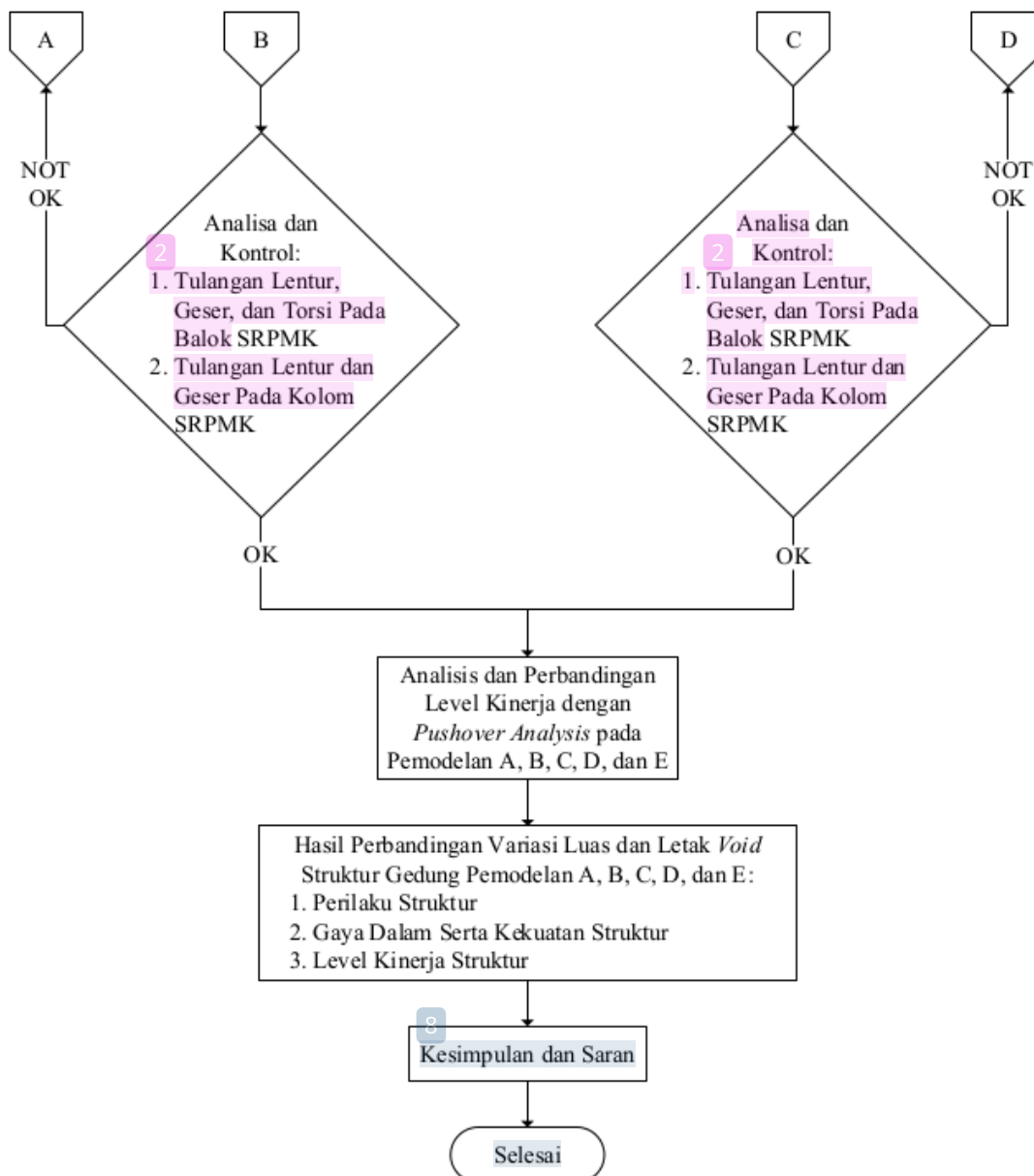
(Sumber : FEMA 356, 2000)

2 BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir (Flowchart)



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian
(Sumber : Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)
(Sumber : Olahan Peneliti, 2026)

3.2 Penjelasan Diagram Alir (*Flowchart*)

Berikut ini adalah penjelasan diagram alir (*flowchart*) yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 di atas.

3.2.1 Studi Literatur

Dalam penyelesaian tugas akhir ini ini, peneliti melakukan studi literatur yang mencakup berbagai sumber seperti jurnal, buku, serta tugas akhir yang membahas metode perencanaan dan analisis kinerja struktur bangunan, khususnya yang berkaitan dengan variasi letak dan luas *void* pada

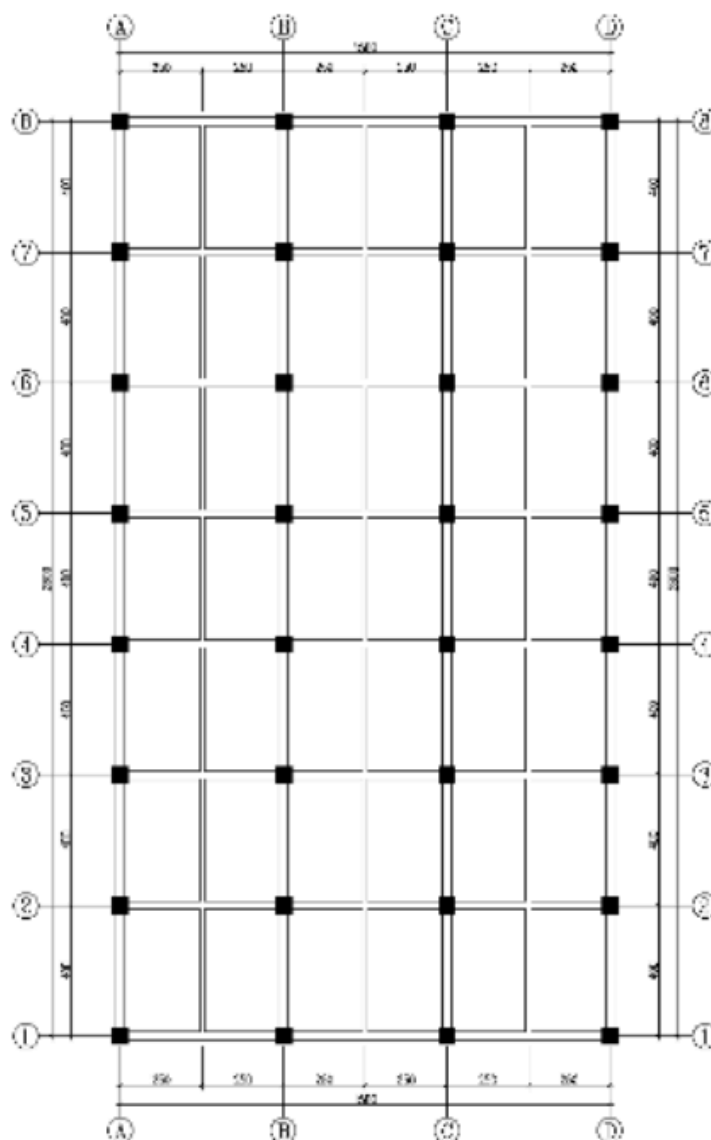
struktur gedung SRPMK⁵ menggunakan analisis non-linier *pushover*. Beberapa referensi utama yang dijadikan acuan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung
2. SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain
3. SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan
4. PPIUG 1983 tentang Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung
- 5.3 ATC-40 tentang *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*
6. FEMA 356 tentang *Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*

3.2.2 Penentuan Data

Penelitian ini membandingkan sistem struktur gedung SRPMK tanpa *void* dengan variasi luas dan letak *void* dengan data sebagai berikut:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Fungsi Bangunan | : Rumah Sakit |
| 2. Lokasi Bangunan | : Sidoarjo |
| 3. Jenis Tanah | : Tanah Lunak |
| 4. Jumlah Lantai | : 10 Lantai |
| 5. Tinggi Antar Lantai | : 4 m pada Lt. 1 – Lt. 10 |
| 6. Panjang Bangunan | : 28 m |
| 7. Lebar Bangunan | : 15 m |
| 8. Tinggi Bangunan | : 40 m |
| 9. Struktur Bangunan | : Beton Bertulang |
| 10. Mutu Baja | : BjTS 420A (Tul. Ulir) BjTP 280 (Tul. Polos) |
| 11. Mutu Beton | : K400 (f'_c 33,2 MPa) |



Gambar 3. 2 Denah Pemodelan Bangunan
(Sumber : Olahan Peneliti, 2026)

3.2.3 Perhitungan Pembebanan

Dalam perhitungan pembebanan struktur, jenis beban yang digunakan meliputi beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Adapun beban-beban yang diperhitungkan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Beban Mati (PPIUG 1983 Tabel 2.1 dan SNI 1727:2020 Tabel C3.1-1)
2. Beban Hidup (SNI 1727:2020 Tabel 4.3-1)
3. Beban Angin (SNI 1727:2020 Pasal 26 hingga Pasal 31)
4. Beban Gempa (SNI 1726:2019)

3.2.4 Preliminary Design

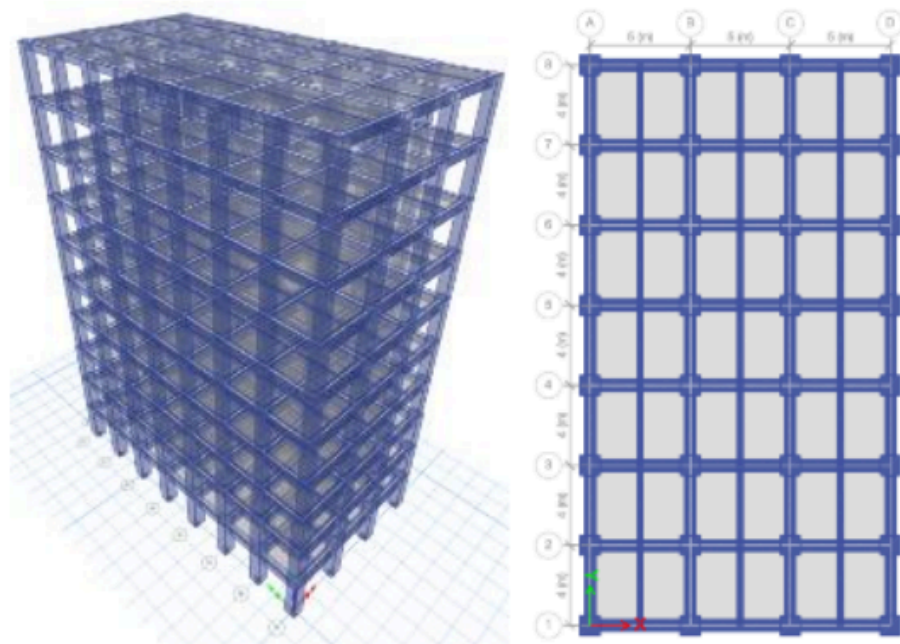
Perancangan awal (*preliminary design*) untuk setiap elemen struktur dalam penelitian ini didasarkan pada ketentuan dan standar perencanaan yang mencakup:

1. Balok (SNI 2847:2019 Pasal 9 dan Pasal 18.6)
2. Kolom (SNI 2847:2019 Pasal 10 dan Pasal 18.7)
3. Pelat (SNI 2847:2019 Pasal 7)

3.2.5 Permodelan Struktur

Elemen-elemen seperti balok, kolom, dan pelat, beserta seluruh beban yang telah direncanakan, dimodelkan secara visual menggunakan *software* ETABS v.22 untuk merepresentasikan bentuk serta kondisi struktur secara mendekati nyata dan menganalisis gaya-gaya dalam akibat beban yang bekerja. Pada penelitian ini dilakukan dua variasi pemodelan, yaitu struktur tanpa *void*, struktur dengan variasi luas dan letak *void*, yang seluruhnya menggunakan Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

1. Struktur SRPMK Tanpa *Void* (Gedung A)

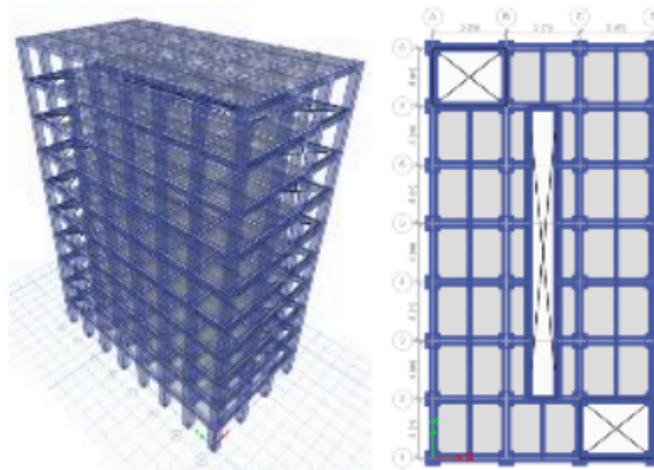


Gambar 3. 3 Pemodelan Struktur SRPMK Tanpa *Void* (Gedung A)
(Sumber : Olahan Peneliti, 2026)

2. Struktur SRPMK Dengan Variasi Luas dan Letak *Void*

a. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 1 (Gedung B)

Pada pemodelan Gedung B, terdapat tiga variasi luas serta letak *void*, yaitu berukuran 4 m x 5 m yang terletak di tepi sudut bangunan, dan 20 m x 2 m yang berada tepat di bagian tengah struktur gedung dengan luas *void* 80 m² sebesar 19,05 % dari luas total.

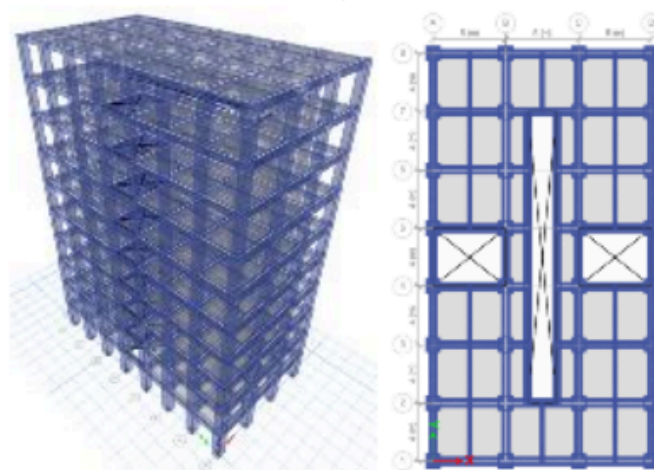


Gambar 3. 4 Pemodelan Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 1 (Gedung B)

(Sumber : Olahan Peneliti, 2026)

b. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 2 (Gedung C)

Pada pemodelan Gedung C, terdapat tiga variasi luas serta letak *void*, yaitu berukuran 4 m x 5 m yang terletak di tepi tengah bangunan, dan 20 m x 2 m yang berada tepat di bagian tengah struktur gedung dengan luas *void* 80 m² sebesar 19,05 % dari luas total.

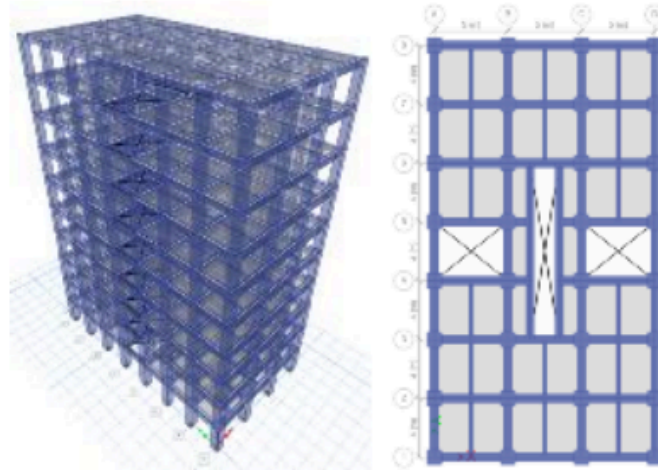


Gambar 3. 5 Pemodelan Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 2 (Gedung C)

(Sumber : Olahan Peneliti, 2026)

c. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 3 (Gedung D)

Pada pemodelan Gedung D, terdapat tiga variasi luas serta letak *void*, yaitu berukuran 4 m x 5 m yang terletak di tepi tengah bangunan, dan 12 m x 2 m yang berada tepat di bagian tengah struktur gedung dengan luas *void* 64 m² sebesar 15,24 % dari luas total.

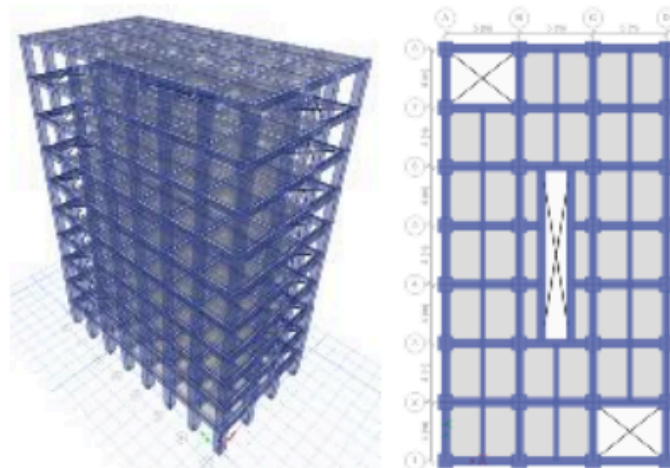


Gambar 3. 6 Pemodelan Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 3 (Gedung D)

(Sumber : Olahan Peneliti, 2026)

d. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 4 (Gedung E)

Pada pemodelan Gedung E, terdapat tiga variasi luas serta letak *void*, yaitu berukuran 4 m x 5 m yang terletak di tepi sudut bangunan, dan 12 m x 2 m yang berada tepat di bagian tengah struktur gedung dengan luas *void* 64 m² sebesar 15,24 % dari luas total.



Gambar 3. 7 Pemodelan Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 4 (Gedung E)

(Sumber : Olahan Peneliti, 2026)

3.2.6 Analisa dan Kontrol Desain Struktur

Analisis serta kontrol desain struktur dilakukan untuk memastikan bahwa rancangan bangunan yang telah dimodelkan menggunakan *software* ETABS v.22 memenuhi persyaratan desain struktur tahan gempa dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Proses analisis ini dilakukan dengan meninjau beberapa parameter utama berikut.

1. Berat Struktur (SNI 1726:2019 Pasal 7.7.2)
2. Partisipasi Massa (SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1)
3. Periode Fundamental (SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2)
4. Gaya Geser Dasar dan Skala Gaya Gempa (SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1 dan 7.9.1.4.1)
5. Simpangan dan *drift* (SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6)
6. P-Delta (SNI 1726:2019 Pasal 7.8.7)
7. Ketidakberaturan Horizontal (SNI 1726:2019 Pasal 7.3.2.1 dan Tabel 13)
8. Ketidakberaturan Vertikal (SNI 1726:2019 Pasal 7.3.2.2 dan Tabel 14)

Setelah analisis dilakukan dan hasilnya memenuhi seluruh kriteria yang disyaratkan, langkah berikutnya adalah melakukan analisis dan kontrol desain pada setiap elemen struktur untuk masing-masing variasi penelitian sistem struktur SRPMK. Namun, apabila hasil analisis belum sesuai dengan persyaratan, maka perlu dilakukan peninjauan ulang terhadap perhitungan *preliminary design* pada setiap elemen struktur.

3.2.7 Analisa dan Kontrol Tulangan Elemen Struktur SRPMK

Evaluasi penulangan pada elemen struktur SRPMK dilakukan terhadap komponen balok dan kolom dengan meninjau kapasitas serta kekuatan penampang masing-masing elemen. Analisis desain struktur dilakukan dengan memperhatikan sejumlah parameter utama. Perhitungan kapasitas elemen struktural bertujuan untuk membandingkan kinerja bangunan berdasarkan ketentuan dalam SNI 2847:2019, yang mencakup Pasal 18.6 untuk balok, Pasal 18.7 untuk kolom, serta Pasal 18.8 untuk hubungan antara balok dan kolom.

1. Tulangan Balok SRPMK (SNI 2847:2019 Pasal 18.6)
 - a. Tulangan Lentur Balok $= \phi M_n \geq M_u$
 - b. Tulangan Geser Balok $= \phi V_n \geq V_u$
 - c. Tulangan Torsi Balok $= \phi T_{cr} \geq T_u$
2. Tulangan Kolom SRPMK (SNI 2847:2019 Pasal 18.7)
 - a. Tulangan Lentur Kolom $= (\rho = 1 - 6 \%)$

b. Tulangan Geser Kolom $= \phi V_n \geq V_u$

Setelah analisis kontrol desain pada setiap elemen struktur dilakukan dan hasilnya memenuhi seluruh kriteria yang disyaratkan, langkah berikutnya adalah analisis level kinerja struktur dengan menggunakan metode *pushover*. Namun, apabila hasil analisis belum sesuai dengan persyaratan, maka perlu dilakukan peninjauan ulang terhadap perhitungan *preliminary design* dengan mengikuti prosedur selanjutnya.

3.2.8 Analisa Level Kinerja Struktur dengan Metode *Pushover*

Setiap variasi model bangunan dianalisis untuk menentukan tingkat kinerja strukturnya menggunakan *software* ETABS v.22. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui perilaku struktur pada masing-masing model gedung melalui metode statik non-linier *pushover* yang mengacu pada SNI 1726:2019 serta standar level kinerja bangunan ATC-40 dan FEMA 356. Dalam metode ini, beban gempa rencana dianggap sebagai beban statik yang bekerja pada pusat massa tiap lantai, kemudian nilainya secara bertahap ditingkatkan hingga menimbulkan sendi plastis pada elemen struktur. Seiring peningkatan beban, struktur akan mengalami deformasi pasca-elastik hingga mencapai *displacement target* yang mencerminkan batas kinerja yang diharapkan.

3.2.9 Hasil Perbandingan Struktur

Setelah melalui tahapan perhitungan pembebanan, *preliminary design*, pemodelan struktur, analisis serta kontrol desain hingga penentuan level kinerja bangunan, selanjutnya dilakukan analisis hasil dan pembahasan mengenai perbandingan antara struktur SRPMK tanpa *void* dengan struktur SRPMK dengan variasi luas dan letak *void*. Perbandingan tersebut dilakukan dengan meninjau beberapa parameter utama, yaitu gaya dalam, gaya geser, periode getar, simpangan antar tingkat, serta tingkat kinerja struktur dari masing-masing model yang telah dirancang.

3.2.10 Kesimpulan dan Saran

Hasil akhir dari penelitian mengenai perbandingan antara struktur SRPMK tanpa *void* dan struktur SRPMK dengan variasi luas dan letak *void* yang telah dianalisis diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah atau bahan Data Olahan dalam memahami pengaruh luas dan letak *void* terhadap kinerja struktur SRPMK, khususnya dalam menanggapi beban gempa pada bangunan secara lebih efektif.

3.3 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan dan alat penelitian merupakan komponen penting yang digunakan untuk mendukung pelaksanaan penelitian agar diperoleh hasil yang akurat dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.

1. Bahan Penelitian

Adapun bahan penelitian dalam studi ini mencakup data dan komponen antara lain:

1. Data respons spektrum yang didapatkan dari *website* RSA Cipta Karya diakses melalui link <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021>.
2. Data kecepatan angin yang didapatkan dari *website* Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur diakses melalui link <https://jatim.bps.go.id/id>.
3. Kertas HVS ukuran B5.

2. Alat Penelitian

Adapun alat penelitian dalam studi ini guna menunjang pelaksanaan dan keberhasilan penelitian antara lain:

1. *Hardware*
 - a. Laptop Infinix Inbook Air
 - b. Printer Canon G3010
2. *Software*
 - a. ETABS v.22
 - b. SPColumn v.10.20
 - c. Microsoft Office Word, Excel, dan Visio 2024
 - d. Mendeley v.1.19.5

4 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Bangunan

Struktur gedung yang menjadi objek dalam penelitian ini dirancang menggunakan beton bertulang, dengan spesifikasi dan data perencanaan sebagaimana dijelaskan sebagai berikut:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Fungsi Bangunan | : Rumah Sakit |
| 2. Lokasi Bangunan | : Sidoarjo |
| 3. Jenis Tanah | : Tanah Lunak |
| 4. Jumlah Lantai | : 10 Lantai |
| 5. Tinggi Antar Lantai | : 4 m pada Lt. 1 – Lt. 10 |
| 6. Panjang Bangunan | : 28 m |
| 7. Lebar Bangunan | : 15 m |
| 8. Tinggi Bangunan | : 40 m |
| 9. Struktur Bangunan | : Beton Bertulang |
| 10. Mutu Baja | : BjTS 420A (Tul. Ulir) BjTP 280 (Tul. Polos) |
| 11. Mutu Beton | : K400 ($f'c$ 33,2 MPa) |

Selain itu, bangunan yang dirancang dengan dua variasi, yaitu tanpa *void* dan dengan *void* pada setiap lantai, disusun berdasarkan pembagian fungsi ruang yang menyesuaikan kebutuhan operasional serta karakteristik penggunaanya. Penetapan fungsi ruang tersebut tidak hanya mempertimbangkan aspek arsitektur dan kenyamanan, tetapi juga memperhitungkan besarnya beban yang bekerja pada masing-masing lantai, sehingga proses analisis dalam pemodelan struktur dapat dilakukan secara tepat. Adapun fungsi tiap lantai pada setiap variasi bangunan dijelaskan sebagai berikut:

- | | |
|-----------------|---|
| 1. Lantai 1 | = Lobi, Ruang Administrasi, dan Ruang Poli |
| 2. Lantai 2 | = Ruang Obat, Ruang Rawat Inap Anak, dan Ruang Jaga |
| 3. Lantai 3 – 7 | = Ruang Rawat Inap dan Ruang Jaga |
| 4. Lantai 8 | = Ruang Yayasan |
| 5. Lantai 9 | = Ruang Rapat |
| 6. Lantai 10 | = Atap |

4.2 Pembebanan

4.2.1 Beban Mati

Beban yang diperhitungkan meliputi beban dari elemen struktur utama, seperti balok, kolom, dan pelat, yang dihitung oleh *software* ETABS.

Selain itu, turut diperhitungkan beban mati tambahan yang berasal dari komponen non-struktural permanen. Rincian beban mati tambahan (SIDL) yang dimasukkan ke dalam pemodelan pada *software* ETABS dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Beban Mati Permodelan Bangunan 10 Lantai di Setiap Variasi

Pelat Lantai (Lantai 1 – 9)		
No	Komponen Bangunan	Beban (kN/m²)
1	Keramik	0,24
2	Spesi	0,41
3	Plafond	0,11
4	Penggantung	0,07
5	Sanitasi	0,20
6	MEP	0,39
Total Beban Mati Pelat Lantai 1 – 9		1,41
Pelat Atap (Lantai 10)		
No	Komponen Bangunan	Beban (kN/m²)
1	Plafond	0,11
2	Penggantung	0,07
3	MEP	0,39
4	Aspal	0,14
Total Beban Mati Pelat Atap		0,71
Balok		
No	Komponen Bangunan	Beban (kN/m²)
1	Dinding Eksterior	2,45
2	Dinding Interior	1,18

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4.2.2

Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang keberadaannya pada struktur bangunan bersifat tidak tetap dan dapat berubah-ubah. Beban ini dapat berupa beban manusia maupun barang yang sifatnya dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain. Rincian beban hidup yang dimasukkan ke dalam pemodelan pada *software* ETABS dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Beban Hidup Permodelan Bangunan 10 Lantai di Setiap Variasi

Lantai 1 - 2		
No	Penggunaan	Beban (kN/m²)
1	Ruangan operasi, laboratorium	2,87

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 2 Beban Hidup Permodelan Bangunan 10 Lantai di Setiap Variasi (Lanjutan)

Total Beban Hidup di Lantai 1 – 2		2,87
Lantai 3 – 8		
No	Penggunaan	Beban (kN/m²)
1	Ruang pasien	1,92
Total Beban Hidup di Lantai 3 – 7		1,92
Lantai 9		
No	Penggunaan	Beban (kN/m²)
1	Ruangan pertemuan	4,79
Total Beban Hidup di Lantai 9		4,79
Lantai 10 (Atap)		
1	Atap	0,96
Total Beban Hidup di Lantai 10		0,96

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4.2.3 Beban Angin

Perhitungan beban angin dilakukan berdasarkan kondisi lokasi bangunan yang direncanakan dan mengacu pada ketentuan dalam SNI 1727:2020 Pasal 26 hingga Pasal 31. Proses perhitungannya dilaksanakan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

Langkah 1: Menentukan Kategori Risiko Bangunan

Berdasarkan Tabel 2.20, kategori risiko bangunan dengan fungsi rumah sakit masuk pada kategori risiko IV.

Tabel 4. 3 Kategori Risiko Bangunan

Penggunaan atau Pemanfaatan Bangunan	Kategori Risiko
7 Bangunan gedung dan struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi dari kategori risiko IV struktur lainnya.	IV

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Langkah 2: Menentukan Kecepatan Angin Dasar

Data kecepatan angin diperoleh dari laman resmi Badan Pusat Statistik Kabupaten Sidoarjo untuk periode tahun 2019 – 2020. Dari data tersebut, digunakan nilai kecepatan angin maksimum, yaitu sebesar 33 m/s.

Tabel 4. 4 Kecepatan Angin Kabupaten Sidoarjo Tahun 2019 – 2020

Tahun 2019			
Bulan	Kecepatan Angin Kabupaten Sidoarjo		
	Minimum	Rata - Rata	Maksimum
Januari	-	6,5	25,0
Februari	-	4,6	19,0
Maret	-	4,7	30,0
April	-	4,0	18,0
Mei	-	4,5	23,0
Juni	-	5,0	17,0
Juli	-	5,4	17,0
Agustus	-	6,3	18,0
September	-	6,5	21,0
Oktober	-	6,0	23,0
November	-	5,3	21,0
Desember	-	4,1	33,0
Tahun 2020			
Bulan	Kecepatan Angin Kabupaten Sidoarjo		
	Minimum	Rata - Rata	Maksimum
Januari	-	7,1	26,0
Februari	-	7,3	22,0
Maret	-	6,3	19,0
April	-	6,1	14,0
Mei	-	7,0	27,0
Juni	-	7,0	18,0
Juli	-	7,8	18,0
Agustus	-	8,6	22,0
September	-	8,4	20,0
Oktober	-	8,4	23,0
November	-	7,3	18,0
Desember	-	8,6	29,0

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Langkah 3: Menentukan Faktor Arah Angin

Berdasarkan pada Tabel 2. 21, bangunan yang direncanakan termasuk dalam kategori struktur Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU), sehingga faktor arah angin (K_d) yang digunakan adalah sebesar 0,85.

Tabel 4. 5 Faktor Arah Angin

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin (K_d)
Bangunan gedung - Sistem Penahan Gaya Utama (SPGAU)	0,85

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Langkah 4: Menentukan Kategori Eksposur

Berdasarkan Langkah 4 pada Subbab 2.6.3 dan SNI 1727:2020 Pasal 26.7.3, lokasi bangunan yang direncanakan termasuk dalam kategori eksposur B.

Langkah 5: Menentukan Faktor Topografi

Berdasarkan Langkah 5 dalam Subbab 2.6.3 dan SNI 1727:2020 Pasal 26.8.1, kondisi topografi di lokasi perencanaan tidak memenuhi kriteria yang dipersyaratkan untuk perhitungan khusus. Oleh karena itu, faktor topografi (K_{zt}) yang digunakan dalam analisis ditetapkan sebesar 1,0.

Langkah 6: Menentukan Faktor Elevasi Permukaan Tanah

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 26.9, untuk lokasi dengan elevasi lebih dari 0 meter hingga kurang dari 305 meter di atas permukaan laut, nilai faktor K_e ditetapkan sebesar 1,0.

Langkah 7: Menentukan Faktor Efek Hembusan Angin

Berdasarkan Langkah 6 dalam Subbab 2.6.3 dan SNI 1727:2020 Pasal 26.11, gedung yang direncanakan dikategorikan sebagai struktur kaku, sehingga nilai faktor hembusan angin (G) yang digunakan adalah sebesar 0,85.

Langkah 8: Klasifikasi Ketertutupan dan Koefisien Tekanan Internal

Berdasarkan pada Tabel 2.23, bangunan yang direncanakan termasuk dalam kategori bangunan tertutup. Oleh karena itu, koefisien tekanan internal yang digunakan dalam perhitungan adalah sebesar -0,18.

Tabel 4. 6 Klasifikasi Ketertutupan dan Koefisien Tekanan Internal

Klasifikasi ketertutupan	Kriteria untuk klasifikasi ketertutupan	Tekanan internal	Koefisien tekanan internal (GCPI)
Bangunan tertutup	A_o kurang dari terkecil $0,01A_g$ atau $4 \text{ ft}^2 (0,37 \text{ m}^2)$ dan $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	Sedang	-0,18 -0,18

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Langkah 9: Menentukan Koefisien Eksposur Tekanan Velositas

Berdasarkan Langkah 8 dalam Subbab 2.6.3 dan SNI 1727:2020 Pasal 26.10, penentuan koefisien eksposur tekanan velositas pada tinggi bangunan rencana 50 meter tidak tercantum secara langsung dalam Tabel 2.25, maka nilai K_z diperoleh melalui interpolasi.

$$K_z = 2,01 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{\frac{2}{\alpha}}$$

$$K_z = 2,01 \left(\frac{50}{365,76} \right)^{\frac{2}{7,0}}$$

$$K_z = 1,138$$

Nilai interpolasi K_h antara ketinggian 48,8 m dengan 54,9 m dengan cara sebagai berikut.

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} (y_2 - y_1)$$

$$y = 1,13 + \frac{(50 - 48,8)}{(54,9 - 48,8)} (1,17 - 1,13)$$

$$y = K_h = 1,1379$$

Langkah 10: Menentukan Tekanan Velositas

Berdasarkan Langkah 9 dalam Subbab 2.6.3 dan SNI 1727:2020 Pasal 26.10.2, nilai tekanan kecepatan ditentukan dengan menggunakan Persamaan 2.26.

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d K_e V^2$$

$$q_z = 0,613 \times 1,138 \times 1,0 \times 0,85 \times 1,0 \times 33,0^2 \text{ m/s}$$

$$q_z = 645,9242 \text{ N/m}^2$$

$$q_h = 0,613 K_z K_{zt} K_d K_e V^2$$

$$q_h = 0,613 \times 1,1379 \times 1,0 \times 0,85 \times 1,0 \times 33,0^2 \text{ m/s}$$

$$q_h = 645,6535 \text{ N/m}^2$$

Langkah 11: Menentukan Koefisien Tekanan Eksternal

Berdasarkan Langkah 10 dalam Subbab 2.6.3 dan SNI 1727:2020 Gambar 27.3-1, nilai koefisien tekanan eksternal (C_p) ditentukan berdasarkan Tabel 2.27. Untuk kondisi angin datang digunakan nilai 0,8, angin pergi sebesar -0,5, dan angin tepi sebesar -0,7. Pemilihan nilai tersebut didasarkan pada rasio L/B yang berada pada rentang 0 – 1, dengan perbandingan 15 m terhadap 28 m yang menghasilkan nilai 0,536.

Langkah 12 : Menentukan Tekanan Angin

Berdasarkan Langkah 11 dalam Subbab 2.6.3 dan SNI 1727:2020 Pasal 27.3.1, besarnya tekanan angin pada bangunan gedung yang menggunakan

Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.27.

Tabel 4. 7 Tekanan Angin

Arah Angin	q (N/m ²)	G	C_p	q_i	GC_{pi}	P (N/m ²)	P_{min} (N/m ²)
Angin datang	645,924	0,85	0,8	645,653	-0,18	555,446	770
Angin pergi	645,653	0,85	-0,5	645,653	-0,18	-158,185	-770
Angin tepi	645,653	0,85	-0,7	645,653	-0,18	-267,946	-770

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tekanan angin desain yang diperoleh lebih kecil dibandingkan tekanan angin desain minimum sebagaimana dipersyaratkan dalam SNI 1727:2020 Pasal 28.5.4. Penentuan beban angin pada sisi datang, tepi, dan pergi dilakukan dengan mengalikan tekanan angin terhadap lebar coveran angin. Beban angin pada sisi datang bernilai positif karena arahnya sejalan dengan gravitasi bumi, sedangkan pada sisi tepi dan pergi bernilai negatif karena arahnya berlawanan dengan gravitasi. Perhitungan beban angin tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Total Tekanan Angin Pada Arah Angin Datang, Tepi, dan Pergi

Angin Datang			
Posisi Kolom	Beban Angin (N/m ²)	Lebar Coveran Angin (m)	Jumlah Beban Angin (N/m)
AS A-1	770	2	1540
AS A-2	770	4	3080
AS A-3	770	4	3080
AS A-4	770	4	3080
AS A-5	770	4	3080
AS A-6	770	4	3080
AS A-7	770	4	3080
AS A-8	770	2	1540

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 8 Total Tekanan Angin Pada Arah Angin Datang, Tepi, dan Pergi
(Lanjutan)

Angin Tepi			
Posisi Kolom	Beban Angin (N/m ²)	Lebar Coveran Angin (m)	Jumlah Beban Angin (N/m)
AS 1-A	-770	2,5	-1925
AS 1-B	-770	5	-3850
AS 1-C	-770	7,5	-5775
AS 1-D	-770	2,5	-1925
AS 8-A	-770	2,5	-1925
AS 8-B	-770	5	-3850
AS 8-C	-770	7,5	-5775
AS 8-D	-770	2,5	-1925
Angin Pergi			
Posisi Kolom	Beban Angin (N/m ²)	Lebar Coveran Angin (m)	Jumlah Beban Angin (N/m)
AS D-1	-770	2	-1540
AS D-2	-770	4	-3080
AS D-3	-770	4	-3080
AS D-4	-770	4	-3080
AS D-5	-770	4	-3080
AS D-6	-770	4	-3080
AS D-7	-770	4	-3080
AS D-8	-770	2	-1540

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4.2.4 Beban Gempa

Perhitungan beban angin dilakukan berdasarkan kondisi bangunan yang direncanakan dan mengacu pada ketentuan dalam SNI 1726:2019. Proses perhitungannya dilaksanakan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

Langkah 1: Menentukan Kategori Risiko Bangunan

Berdasarkan Tabel 2.2 pada Subbab 2.5.1 dan SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2, kategori risiko bangunan dengan fungsi rumah sakit masuk pada kategori risiko IV.

Tabel 4. 9 Kategori Risiko Bangunan

Penggunaan atau Pemanfaatan Bangunan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat.	IV

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Langkah 2: Menentukan Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Berdasarkan Tabel 2.3 pada Subbab 2.5.1 dan SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2, faktor keutamaan gempa dengan kategori risiko IV memiliki nilai (I_e) sebesar 1,50.

Tabel 4. 10 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (I_e)
IV	1,50

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Langkah 3: Menentukan Klasifikasi Situs

Berdasarkan pada Tabel 2.4 pada Subbab 2.5.2 dan SNI 1726:2019 Pasal 5.3, klasifikasi tanah di lokasi perencanaan bangunan yang berada di Kabupaten Sidoarjo termasuk dalam kategori tanah lunak. Dengan demikian, bangunan tersebut diklasifikasikan ke dalam kelas situs *SE* (tanah lunak).

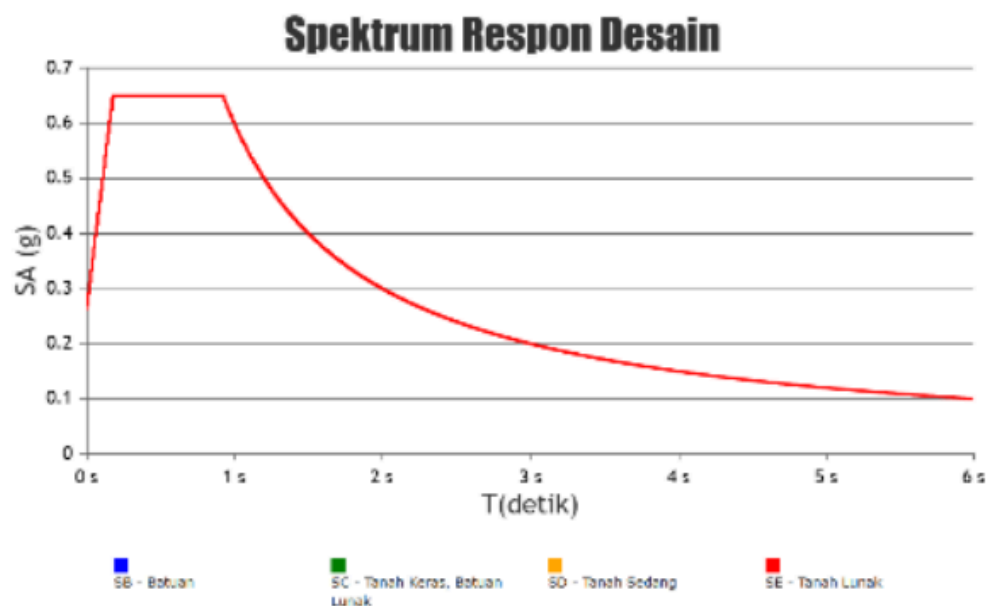
Tabel 4. 11 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/dtk)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
<i>SE</i> (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Langkah 4: Menentukan Nilai Spektral Desain

Berdasarkan pada SNI 1726:2019 Pasal 6.2 dan pembahasan pada Subbab 2.5.3, nilai spektral desain diperoleh dari data spektrum respons desain untuk wilayah Kabupaten Sidoarjo dengan kondisi tanah lunak. Data tersebut diakses melalui website <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>, dan hasil yang diperoleh disajikan sebagai berikut.



Gambar 4. 1 Grafik Spektrum Respon Desain Kabupaten Sidoarjo
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 12 Parameter Spektrum Respon Desain

Kelas Tanah: SE – Tanah Lunak	
Variabel	Nilai
PGA (g)	0,3464
S_s (g)	0,7555
S_l (g)	0,3394
T_L (s)	20
T_0 (s)	0,18
T_s (s)	0,92
S_{DS} (g)	0,65
S_{DI} (g)	0,60

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Langkah 5: Menentukan Koefisien Situs dan Percepatan Spektral Desain

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.2 dan pembahasan pada Subbab 2.5.4, nilai parameter S_{MS} dan S_{MI} ditentukan dengan mempertimbangkan pengaruh klasifikasi koefisien situs F_a dan F_v . Nilai F_a dan F_v tersebut diperoleh melalui proses interpolasi sesuai dengan kondisi tanah yang digunakan dalam perencanaan.

Tabel 4. 13 Koefisien Situs, F_a untuk Menentukan Nilai S_s

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE _R) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Nilai S_s yang diperoleh sebesar 0,7555 tidak tercantum secara langsung dalam Tabel 2.5. Oleh karena itu, untuk menentukan nilai F_a dilakukan proses interpolasi antara nilai $S_s = 0,75$ dan $S_s = 1,0$ dengan tahapan sebagai berikut.

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)}(y_2 - y_1)$$

$$y = 1,3 + \frac{(0,7555 - 0,75)}{(1,0 - 0,75)}(1,1 - 1,3)$$

$$y = F_a = 1,2956$$

Tabel 4. 14 Koefisien Situs, F_v untuk Menentukan Nilai S_I

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S_I					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Nilai S_I yang diperoleh sebesar 0,3394 tidak tercantum secara langsung dalam Tabel 2.6. Oleh karena itu, untuk menentukan nilai F_v dilakukan proses interpolasi antara nilai $S_I = 0,3$ dan $S_I = 0,4$ dengan tahapan sebagai berikut.

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)}(y_2 - y_1)$$

$$y = 2,8 + \frac{(0,3394 - 0,3)}{(0,4 - 0,3)}(2,4 - 2,8)$$

$$y = F_v = 2,6424$$

Nilai S_{MS} dan S_{MI} ditentukan berdasarkan Persamaan 2.1 dan 2.2 yang dijelaskan pada Subbab 2.5.4. Adapun proses perhitungannya dilakukan sebagai berikut.

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

$$= 1,2956 \times 0,7555$$

$$= 0,9788 \text{ g}$$

$$\begin{aligned}
 S_{MI} &= F_v \times S_I \\
 &= 2,6424 \times 0,3394 \\
 &= 0,8968 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Langkah 6: Menentukan Parameter Percepatan Spektral Desain

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.3 dan pembahasan pada Subbab 2.5.5, nilai parameter S_{DS} dan S_{DI} ditentukan melalui Persamaan 2.3 dan 2.4. Adapun proses perhitungannya dilakukan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 S_{DS} &= 2/3 \times S_{MS} \\
 &= 2/3 \times 0,9788 \\
 &= 0,6526 \text{ g} \\
 S_{DI} &= 2/3 \times S_{MI} \\
 &= 2/3 \times 0,8968 \\
 &= 0,5979 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Langkah 7: Menentukan Spektrum Respon Desain

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.4 dan pembahasan pada Subbab 2.5.6, kurva spektra respons desain disusun dengan menggunakan Persamaan 2.5 sampai dengan Persamaan 2.9. Adapun proses perhitungannya sebagai berikut.

1. Menentukan Nilai Periode (T)

- Nilai periode awal

$$T = 0 \text{ s}$$
- Nilai T_0

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 0,2 \times (S_{DI} / S_{DS}) \\
 &= 0,2 \times (0,5979 \text{ g} / 0,6526 \text{ g}) \\
 &= 0,1832 \text{ s}
 \end{aligned}$$
- Nilai T_s

$$\begin{aligned}
 T_s &= S_{DI} / S_{DS} \\
 &= 0,5979 \text{ g} / 0,6526 \text{ g} \\
 &= 0,9162 \text{ s}
 \end{aligned}$$
- Nilai periode setelah T_s

$$\begin{aligned}
 T_s + 0,1 \text{ s} &= T_s + 0,1 \text{ s} \\
 &= 0,9162 \text{ s} + 0,1 \text{ s} \\
 &= 1,0162 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Perhitungan periode seterusnya mengikut $T_s + 0,1 \text{ s}$.

- Nilai T_L

Berdasarkan SNI 1726:2019 Gambar 20 dan pembahasan pada Subbab 2.5.6 Gambar 2.2, Kabupaten Sidoarjo berwarna hijau tua, dimana nilai periode, T_L sebesar 20 s.

2. Menentukan Nilai Spektrum Respon Kecepatan Desain (S_a)

- Untuk $T < T_0$

$$\begin{aligned} S_a &= S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \\ &= 0,6526 \text{ g} \left(0,4 + 0,6 \frac{0 \text{ s}}{0,1832 \text{ s}} \right) \\ &= 0,2610 \text{ g} \end{aligned}$$

- Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$

$$\begin{aligned} S_a &= S_{DS} \\ &= 0,6526 \text{ g} \end{aligned}$$

Berlaku untuk $T = T_0$ maupun $T = T_s$.

- Untuk $T > T_s$

$$\begin{aligned} S_a &= \frac{S_{D1}}{T_s + 0,1 \text{ s}} \\ &= \frac{0,5979 \text{ g}}{T_s + 0,1 \text{ s}} \\ &= 0,5883 \text{ g} \end{aligned}$$

Perhitungan S_a selanjutnya mengikut cara yang sama hingga periode Panjang T_L .

- Untuk $T > T_L$

$$\begin{aligned} S_a &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \\ &= \frac{0,5979 \text{ g} \times 20 \text{ s}}{20^2 \text{ s}} \\ &= 0,0299 \text{ g} \end{aligned}$$

Adapun perhitungan grafik respons spektrum dapat dilihat pada Tabel 4.15 berikut.

Tabel 4. 15 Perhitungan Grafik Respons Spektrum

Tanah Lunak			Tanah Lunak		
T (s)	T (s)	S_a (g)	T (s)	T (s)	S_a (g)
T	0,0000	0,2610	$T_s + 3.6$	4,4162	0,1354
T_0	0,1832	0,6526	$T_s + 3.7$	4,5162	0,1324
T_s	0,9162	0,6526	$T_s + 3.8$	4,6162	0,1295
$T_s + 0.1$	1,0162	0,5883	$T_s + 3.9$	4,7162	0,1268
$T_s + 0.2$	1,1162	0,5356	$T_s + 4.0$	4,8162	0,1241
$T_s + 0.3$	1,2162	0,4916	$T_s + 4.1$	4,9162	0,1216
$T_s + 0.4$	1,3162	0,4542	$T_s + 4.2$	5,0162	0,1192
$T_s + 0.5$	1,4162	0,4222	$T_s + 4.3$	5,1162	0,1169
$T_s + 0.6$	1,5162	0,3943	$T_s + 4.4$	5,2162	0,1146
$T_s + 0.7$	1,6162	0,3699	$T_s + 4.5$	5,3162	0,1125
$T_s + 0.8$	1,7162	0,3484	$T_s + 4.6$	5,4162	0,1104
$T_s + 0.9$	1,8162	0,3292	$T_s + 4.7$	5,5162	0,1084
$T_s + 1.0$	1,9162	0,3120	$T_s + 4.8$	5,6162	0,1065
$T_s + 1.1$	2,0162	0,2965	$T_s + 4.9$	5,7162	0,1046
$T_s + 1.2$	2,1162	0,2825	$T_s + 5.0$	5,8162	0,1028
$T_s + 1.3$	2,2162	0,2698	$T_s + 5.1$	5,9162	0,1011
$T_s + 1.4$	2,3162	0,2581	$T_s + 5.2$	6,0162	0,0994
$T_s + 1.5$	2,4162	0,2474	$T_s + 5.3$	6,1162	0,0978
$T_s + 1.6$	2,5162	0,2376	$T_s + 5.4$	6,2162	0,0962
$T_s + 1.7$	2,6162	0,2285	$T_s + 5.5$	6,3162	0,0947
$T_s + 1.8$	2,7162	0,2201	$T_s + 5.6$	6,4162	0,0932
$T_s + 1.9$	2,8162	0,2123	$T_s + 5.7$	6,5162	0,0918
$T_s + 2.0$	2,9162	0,2050	$T_s + 5.8$	6,6162	0,0904
$T_s + 2.1$	3,0162	0,1982	$T_s + 5.9$	6,7162	0,0890
$T_s + 2.2$	3,1162	0,1919	$T_s + 6.0$	6,8162	0,0877
$T_s + 2.3$	3,2162	0,1859	$T_s + 6.1$	6,9162	0,0864
$T_s + 2.4$	3,3162	0,1803	$T_s + 6.2$	7,0162	0,0852
$T_s + 2.5$	3,4162	0,1750	$T_s + 6.3$	7,1162	0,0840
$T_s + 2.6$	3,5162	0,1700	$T_s + 6.4$	7,2162	0,0829
$T_s + 2.7$	3,6162	0,1653	$T_s + 6.5$	7,3162	0,0817
$T_s + 2.8$	3,7162	0,1609	$T_s + 6.6$	7,4162	0,0806
$T_s + 2.9$	3,8162	0,1567	$T_s + 6.7$	7,5162	0,0795
$T_s + 3.0$	3,9162	0,1527	$T_s + 6.8$	7,6162	0,0785
$T_s + 3.1$	4,0162	0,1489	$T_s + 6.9$	7,7162	0,0775
$T_s + 3.2$	4,1162	0,1453	$T_s + 7.0$	7,8162	0,0765
$T_s + 3.3$	4,2162	0,1418	$T_s + 7.1$	7,9162	0,0755
$T_s + 3.4$	4,3162	0,1385	$T_s + 7.2$	8,0162	0,0746
$T_s + 3.5$	4,4162	0,1354	$T_s + 7.3$	8,1162	0,0737

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

2

Tabel 4. 15 Perhitungan Grafik Respons Spektrum (Lanjutan)

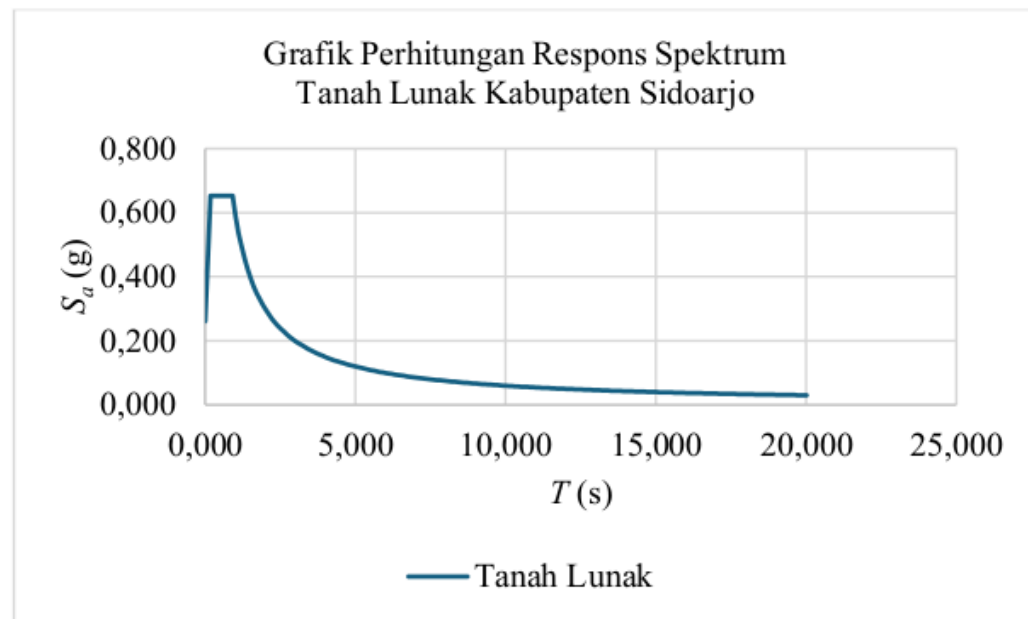
69	Tanah Lunak		Tanah Lunak		
$T(s)$	$T(s)$	$S_a(g)$	$T(s)$	$T(s)$	$S_a(g)$
$T_s + 7.4$	8,2162	0,0728	$T_s + 11.2$	12,0162	0,0498
$T_s + 7.5$	8,3162	0,0719	$T_s + 11.3$	12,1162	0,0493
$T_s + 7.6$	8,4162	0,0710	$T_s + 11.4$	12,2162	0,0489
$T_s + 7.7$	8,5162	0,0702	$T_s + 11.5$	12,3162	0,0485
$T_s + 7.8$	8,6162	0,0694	$T_s + 11.6$	12,4162	0,0482
$T_s + 7.9$	8,7162	0,0686	$T_s + 11.7$	12,5162	0,0478
$T_s + 8.0$	8,8162	0,0678	$T_s + 11.8$	12,6162	0,0474
$T_s + 8.1$	8,9162	0,0671	$T_s + 11.9$	12,7162	0,0470
$T_s + 8.2$	9,0162	0,0663	$T_s + 12.0$	12,8162	0,0467
$T_s + 8.3$	9,1162	0,0656	$T_s + 12.1$	12,9162	0,0463
$T_s + 8.4$	9,2162	0,0649	$T_s + 12.2$	13,0162	0,0459
$T_s + 8.5$	9,3162	0,0642	$T_s + 12.3$	13,1162	0,0456
$T_s + 8.6$	9,4162	0,0635	$T_s + 12.4$	13,2162	0,0452
$T_s + 8.7$	9,5162	0,0628	$T_s + 12.5$	13,3162	0,0449
$T_s + 8.8$	9,6162	0,0622	$T_s + 12.6$	13,4162	0,0446
$T_s + 8.9$	9,7162	0,0615	$T_s + 12.7$	13,5162	0,0442
$T_s + 9.0$	9,8162	0,0609	$T_s + 12.8$	13,6162	0,0439
$T_s + 9.1$	9,9162	0,0603	$T_s + 12.9$	13,7162	0,0436
$T_s + 9.2$	10,0162	0,0597	$T_s + 13.0$	13,8162	0,0433
$T_s + 9.3$	10,1162	0,0591	$T_s + 13.1$	13,9162	0,0430
$T_s + 9.4$	10,2162	0,0585	$T_s + 13.2$	14,0162	0,0427
$T_s + 9.5$	10,3162	0,0580	$T_s + 13.3$	14,1162	0,0424
$T_s + 9.6$	10,4162	0,0574	$T_s + 13.4$	14,2162	0,0421
$T_s + 9.7$	10,5162	0,0569	$T_s + 13.5$	14,3162	0,0418
$T_s + 9.8$	10,6162	0,0563	$T_s + 13.6$	14,4162	0,0415
$T_s + 9.9$	10,7162	0,0558	$T_s + 13.7$	14,5162	0,0412
$T_s + 10.0$	10,8162	0,0553	$T_s + 13.8$	14,6162	0,0409
$T_s + 10.1$	10,9162	0,0548	$T_s + 13.9$	14,7162	0,0406
$T_s + 10.2$	11,0162	0,0543	$T_s + 14.0$	14,8162	0,0404
$T_s + 10.3$	11,1162	0,0538	$T_s + 14.1$	14,9162	0,0401
$T_s + 10.4$	11,2162	0,0533	$T_s + 14.2$	15,0162	0,0398
$T_s + 10.5$	11,3162	0,0528	$T_s + 14.3$	15,1162	0,0396
$T_s + 10.6$	11,4162	0,0524	$T_s + 14.4$	15,2162	0,0393
$T_s + 10.7$	11,5162	0,0519	$T_s + 14.5$	15,3162	0,0390
$T_s + 10.8$	11,6162	0,0515	$T_s + 14.6$	15,4162	0,0388
$T_s + 10.9$	11,7162	0,0510	$T_s + 14.7$	15,5162	0,0385
$T_s + 11.0$	11,8162	0,0506	$T_s + 14.8$	15,6162	0,0383
$T_s + 11.1$	11,9162	0,0502	$T_s + 14.9$	15,7162	0,0380

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 15 Perhitungan Grafik Respons Spektrum (Lanjutan)

69	Tanah Lunak		Tanah Lunak		
T_s (s)	T (s)	S_a (g)	T (s)	T (s)	S_a (g)
$T_s + 15.0$	16,8162	0,0356	$T_s + 18.8$	19,7162	0,0303
$T_s + 15.1$	16,9162	0,0353	$T_s + 18.9$	19,8162	0,0302
$T_s + 15.2$	17,0162	0,0351	$T_s + 19.0$	19,9162	0,0300
$T_s + 15.3$	17,1162	0,0349	$T_s + 19.1$	20,0162	0,0299
$T_s + 15.4$	17,2162	0,0347			
$T_s + 15.5$	17,3162	0,0345			
$T_s + 15.6$	17,4162	0,0343			
$T_s + 15.7$	17,5162	0,0341			
$T_s + 15.8$	17,6162	0,0339			
$T_s + 15.9$	16,8162	0,0356			
$T_s + 16.0$	16,9162	0,0353			
$T_s + 16.1$	17,0162	0,0351			
$T_s + 16.2$	17,1162	0,0349			
$T_s + 16.3$	17,2162	0,0347			
$T_s + 16.4$	17,3162	0,0345			
$T_s + 16.5$	17,4162	0,0343			
$T_s + 16.6$	17,5162	0,0341			
$T_s + 16.7$	17,6162	0,0339			
$T_s + 16.8$	17,7162	0,0337			
$T_s + 16.9$	17,8162	0,0336			
$T_s + 17.0$	17,9162	0,0334			
$T_s + 17.1$	18,0162	0,0332			
$T_s + 17.2$	18,1162	0,0330			
$T_s + 17.3$	18,2162	0,0328			
$T_s + 17.4$	18,3162	0,0326			
$T_s + 17.5$	18,4162	0,0325			
$T_s + 17.6$	18,5162	0,0323			
$T_s + 17.7$	18,6162	0,0321			
$T_s + 17.8$	18,7162	0,0319			
$T_s + 17.9$	18,8162	0,0318			
$T_s + 18.0$	18,9162	0,0316			
$T_s + 18.1$	19,0162	0,0314			
$T_s + 18.2$	19,1162	0,0313			
$T_s + 18.3$	19,2162	0,0311			
$T_s + 18.4$	19,3162	0,0310			
$T_s + 18.5$	19,4162	0,0308			
$T_s + 18.6$	19,5162	0,0306			
$T_s + 18.7$	19,6162	0,0305			

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 2 Grafik Perhitungan Respons Spektrum
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Adapun Tabel 4.16 merupakan rekapitulasi perbandingan antara parameter spektrum respons desain yang dihitung secara manual dengan parameter yang diperoleh melalui website <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>.

Tabel 4. 16 Rekapitulasi Perbandingan Spektrum Respons Desain

Website 2		Perhitungan Manual	
Variabel	Nilai	Variabel	Nilai
S_s (g)	0,7555	S_s (g)	0,7555
S_I (g)	0,3394	S_I (g)	0,3394
S_{DS} (g)	0,65	S_{DS} (g)	0,6526
S_{DI} (g)	0,6	S_{DI} (g)	0,5979
T_0 (s)	0,18	T_0 (s)	0,1832
T_s (s)	0,92	T_s (s)	0,9162

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Langkah 8: Menentukan Kategori Desain Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.5 dan pembahasan pada Subbab 2.5.7, penentuan kategori desain dilakukan berdasarkan Tabel 2.7 dan Tabel 2.8. Dalam hal ini, nilai S_{DS} dan S_{DI} digunakan sebagai parameter utama untuk menetapkan kategori desain seismik bangunan. Dengan nilai S_{DS} sebesar 0,6526 g, maka berdasarkan Tabel 4.17 bangunan termasuk dalam **Kategori Desain Seismik (KDS) D**.

Tabel 4. 17 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai S_{DS}

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Dengan nilai S_{DI} sebesar 0,5979 g, maka berdasarkan Tabel 4.18 bangunan termasuk dalam Kategori Desain Seismik (KDS) D.

Tabel 4. 18 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Nilai S_{DI}

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

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil penentuan kategori desain seismik yang mengacu pada nilai S_{DS} dan S_{DI} , tingkat risiko kegempaan bangunan dapat ditetapkan sesuai dengan ketentuan pada Tabel 2.9.

Tabel 4. 19 Tingkat Risiko Kegempaan dan Kategori Desain Seismik

Kode	Tingkat Risiko Kegempaan		
	Rendah	Menengah	Tinggi
SNI 1726:2019	KDS A, B	KDS C	KDS D, E, F
	SRPMB/M/K	SRPMM/K	SRPMK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Dengan demikian, bangunan yang direncanakan diklasifikasikan ke dalam Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) berdasarkan ketentuan pada Tabel 4.19.

Langkah 9: Menghitung Periode Fundamental Pendekatan

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2.1 dan pembahasan pada Subbab 2.5.10, nilai periode fundamental struktur (T) tidak boleh melebihi hasil perkalian antara periode pendekatan dan koefisien batas atas periode (C_u) yang tercantum pada Tabel 2.15. Nilai periode fundamental pendekatan tersebut dihitung menggunakan Persamaan 2.10 atau Persamaan 2.11, dengan parameter C_t dan x yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.16.

Tabel 4. 20 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Diketahui bahwa jumlah lantai pada bangunan, N adalah 10 lantai. Nilai C_t sebesar 0,0466 dan nilai x sebesar 0,9 dari Tabel 4.20.

$$\begin{aligned} T_a &= 0,1 N \\ &= 0,1 (10) \\ &= 1,00 \text{ s} \end{aligned}$$

atau

$$\begin{aligned} T_a &= C_t h_n^x \\ &= 0,0466 \times (40 \text{ m})^{0,9} \\ &= 1,2890 \text{ s} \end{aligned}$$

Tabel 4. 21 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

Nilai S_{DI}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Dengan nilai S_{DI} sebesar 0,5979 g, maka berdasarkan Tabel 4.20 nilai koefisien C_u sebesar 1,4.

$$\begin{aligned} T_{max} &= T_a C_u \\ &= 1,2890 \text{ s} \times 1,4 \\ &= 1,8045 \text{ s} \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai $T_{max} > T$, maka nilai T yang digunakan adalah T_{max} sebesar 1,8045 s.

Langkah 10: Menentukan Koefisien Respons Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.2.2 dan pembahasan pada Subbab 2.5.8, nilai koefisien respons seismik R , C_d , dan Ω_0 harus ditentukan sesuai dengan sistem pemikul gaya seismik yang tercantum pada Tabel 2.11.

Tabel 4. 22 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons R^a	Faktor Kuat Lebih Sistem Ω_0^b	Faktor Pembesaran Defleksi C_d^c	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur h_n				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan konfigurasi Sistem Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus yang tercantum pada Tabel 4.22, diperoleh nilai koefisien R sebesar 8, nilai C_d sebesar 3, dan nilai Ω_0 sebesar 5,5.

Langkah 11: Menentukan Nilai Koefisien Respons Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1.1 dan pembahasan pada Subbab 2.5.11, nilai koefisien respons seismic (C_s) dihitung menggunakan Persamaan 2.12. Hasil dari nilai C_s tidak perlu melebihi Persamaan 2.13 dan 2.14, kemudian nilai C_s harus tidak kurang dari Persamaan 2.15

$$\begin{aligned}
 C_s &= \left(\frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \right) \\
 &= \left(\frac{0,6526 \text{ g}}{\left(\frac{8}{1,50} \right)} \right) \\
 &= 0,1224 \\
 C_{smin} &= 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \\
 &= 0,044 \times 0,6526 \text{ g} \times 1,50 \geq 0,01 \\
 &= 0,0431 \\
 C_{smax} &= \left(\frac{S_{D1}}{T \times \left(\frac{R}{I_e} \right)} \right) \\
 &= \left(\frac{0,5979 \text{ g}}{1,8045 \text{ s} \times \left(\frac{8}{1,50} \right)} \right) \\
 &= 0,0621
 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai $C_{smin} \leq C_{smax} \leq C_s$, maka nilai C_s yang digunakan adalah C_{smax} sebesar 0,0621.

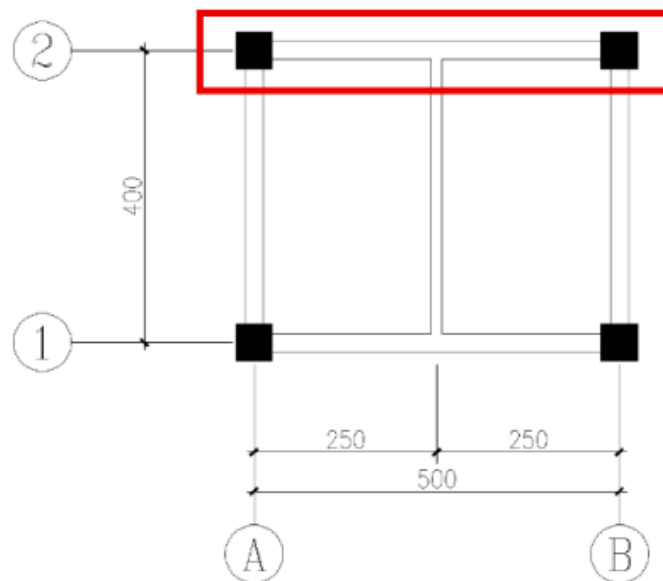
4.3 Preliminary Design

4.3.1 Balok

Pada perencanaan Gedung Rumah Sakit 10 lantai di Kabupaten Sidoarjo, digunakan tiga tipe balok, yaitu balok induk arah melintang, balok induk arah memanjang, serta balok anak. Tahap perencanaan awal (*preliminary design*) elemen balok tersebut mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 9 sebagai berikut.

1. Balok Induk Arah X (BI X 1)

Pada perencanaan balok tipe BI X 1, bentang maksimum (l) yang digunakan adalah 5000 mm dan balok tersebut diasumsikan memiliki kondisi perletakan sederhana. Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 9.3.1.1, tinggi minimum balok (h_{min}) ditentukan sebesar $l/16$, dan lebar balok minimum sebesar $0,3h$ sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.



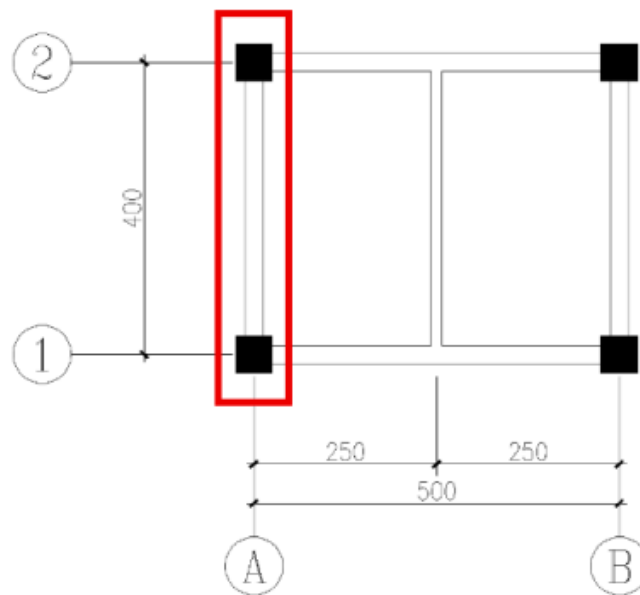
Gambar 4. 3 *Preliminary Design* Balok Induk Arah X
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

$$\begin{aligned}
 h_{min} &= l/16 \\
 &= 5000 \text{ mm} / 16 \\
 &= 312,5 \text{ mm} \\
 h_{pakai} &= 800 \text{ mm} \\
 \text{Cek} &= h_{pakai} \geq h_{min} \\
 &= 800 \text{ mm} \geq 312,5 \text{ mm} \text{ (OK)} \\
 b_{min} &= 0,3 \times h \\
 &= 0,3 \times 800 \text{ mm} \\
 &= 240 \text{ mm} \\
 b &= 2/3 \times h \\
 &= 2/3 \times 800 \text{ mm} \\
 &= 540 \text{ mm} \\
 b_{pakai} &= 600 \text{ mm} \\
 \text{Cek} &= b_{pakai} \geq b_{min} \\
 &= 600 \text{ mm} \geq 240 \text{ mm} \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Maka, dimensi balok induk arah X BI X 1 sebesar 60/80 cm.

2. Balok Induk Arah Y (BI Y 1)

Pada perencanaan balok tipe BI Y 1, bentang maksimum (l) yang digunakan adalah 4000 mm dan balok tersebut diasumsikan memiliki kondisi perletakan sederhana. Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 9.3.1.1, tinggi minimum balok (h_{min}) ditentukan sebesar $l/16$, dan lebar balok minimum sebesar $0,3h$ sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.



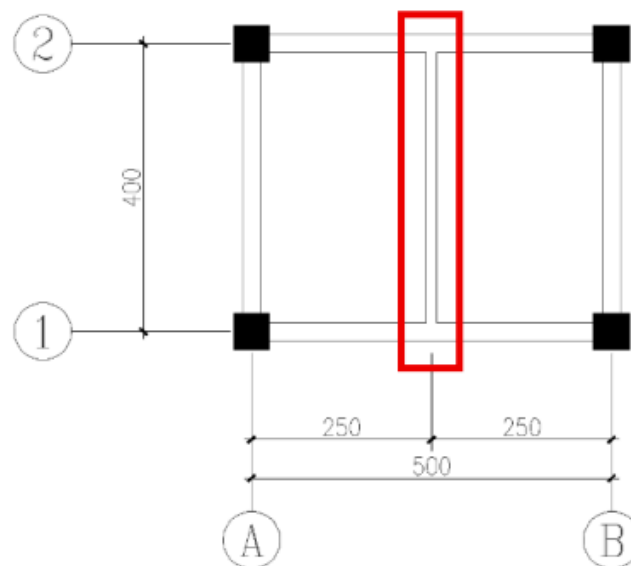
Gambar 4. 4 *Preliminary Design* Balok Induk Arah Y
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

$$\begin{aligned}
 h_{min} &= l/16 \\
 &= 4000 \text{ mm} / 16 \\
 &= 250 \text{ mm} \\
 h_{pakai} &= 700 \text{ mm} \\
 \text{Cek} &= h_{pakai} \geq h_{min} \\
 &= 700 \text{ mm} \geq 250 \text{ mm} \text{ (OK)} \\
 b_{min} &= 0,3 \times h \\
 &= 0,3 \times 700 \text{ mm} \\
 &= 210 \text{ mm} \\
 b &= 2/3 \times h \\
 &= 2/3 \times 700 \text{ mm} \\
 &= 470 \text{ mm} \\
 b_{pakai} &= 550 \text{ mm} \\
 \text{Cek} &= b_{pakai} \geq b_{min} \\
 &= 550 \text{ mm} \geq 210 \text{ mm} \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Maka, dimensi balok induk arah Y BI Y 1 sebesar 55/70 cm.

3. Balok Anak BA1

Pada perencanaan balok tipe BA1, bentang maksimum (l) yang digunakan adalah 4000 mm dan balok tersebut diasumsikan memiliki kondisi menerus dua sisi. Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 9.3.1.1, tinggi minimum balok (h_{min}) ditentukan sebesar $l/21$, dan lebar balok minimum sebesar $0,3h$ sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.



Gambar 4. 5 *Preliminary Design* Balok Anak
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

$$\begin{aligned}
 h_{min} &= l/21 \\
 &= 4000 \text{ mm} / 21 \\
 &= 190,5 \text{ mm} \\
 h_{pakai} &= 500 \text{ mm} \\
 \text{Cek} &= h_{pakai} \geq h_{min} \\
 &= 500 \text{ mm} \geq 190,5 \text{ mm (OK)} \\
 b_{min} &= 0,3 \times h \\
 &= 0,3 \times 500 \text{ mm} \\
 &= 150 \text{ mm} \\
 b &= 2/3 \times h \\
 &= 2/3 \times 500 \text{ mm} \\
 &= 340 \text{ mm} \\
 b_{pakai} &= 300 \text{ mm} \\
 \text{Cek} &= b_{pakai} \geq b_{min} \\
 &= 300 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm (OK)}
 \end{aligned}$$

Maka, dimensi balok anak BA 1 sebesar 30/50 cm.

4. Rekapitulasi Dimensi Balok

Tabel 4. 23 *Preliminary Design* Balok

No	Profil	Dimensi	Satuan
1	Balok Induk BI X 1	60/80	cm
2	Balok Induk BI X 2	55/80	cm
3	Balok Induk BI X 3	40/60	cm

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

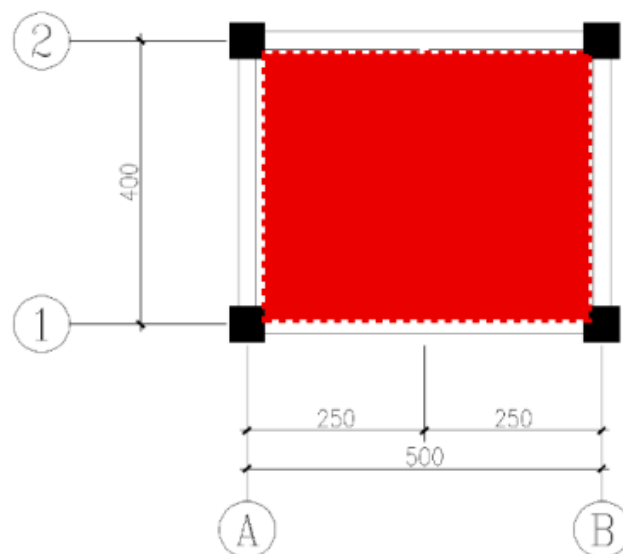
Tabel 4. 23 *Preliminary Design Balok (Lanjutan)*

No	Profil	Dimensi	Satuan
4	Balok Induk BI Y 1	55/70	cm
5	Balok Induk BI Y 2	50/70	cm
6	Balok Induk BI Y 3	35/50	cm
7	Balok Anak BA 1	30/50	cm
8	Balok Anak BA 2	25/45	cm
9	Balok Anak BA 3	20/40	cm

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4.3.2 Pelat

Pada perencanaan Gedung Rumah Sakit 10 lantai di Kabupaten Sidoarjo, digunakan dua jenis pelat masing-masing dengan tebal rencana 120 mm untuk pelat lantai dan pelat atap. Mutu beton yang digunakan adalah f'_c 33,2 Mpa, sedangkan mutu tulangan baja yang dipakai memiliki f_y sebesar 420 Mpa. Tahap perencanaan awal (*preliminary design*) elemen pelat mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 8 sebagai berikut.

**Gambar 4. 6** *Preliminary Design Pelat*
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)**1. Pelat Lantai Tipe 1 (P1)**

Pada perencanaan pelat tipe P1, digunakan tebal pelat rencana (h_f) sebesar 110 mm. Pelat tersebut ditopang oleh Balok Induk BI X 1 berukuran 60/80 cm, Balok Induk BI Y 1 berukuran 55/70 cm, serta Balok Anak BA 1 dengan dimensi 30/50 cm.

1
- Menentukan Jenis Pelat

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1.1, jenis pelat ditentukan berdasarkan perbandingan antara bentang panjang (L_y) dan bentang pendek (L_x). Apabila rasio $L_y/L_x \geq 2$, maka pelat dikategorikan sebagai pelat satu arah. Sebaliknya, jika rasio $L_y/L_x \leq 2$, pelat tersebut termasuk dalam kategori pelat dua arah. Adapun perhitungan dan penentuan jenis pelat sebagai berikut.

$$L_y = 4000 \text{ mm}$$

$$L_x = 5000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} L_n &= L_x - \left(\frac{b_{\text{balokmelintang}}}{2} \right) - \left(\frac{b_{\text{balokmelintang}}}{2} \right) \\ &= 5000 \text{ mm} - \left(\frac{550 \text{ mm}}{2} \right) - \left(\frac{550 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 4450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_n &= L_y - \left(\frac{b_{\text{balokmemanjang}}}{2} \right) - \left(\frac{b_{\text{balokmemanjang}}}{2} \right) \\ &= 4000 \text{ mm} - \left(\frac{600 \text{ mm}}{2} \right) - \left(\frac{600 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 3400 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= L_n / S_n \\ &= 4450 \text{ mm} / 3400 \text{ mm} \\ &= 1,309 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai β sebesar 1,309. Maka, pelat termasuk kedalam pelat dua arah.

19
- Menentukan Rasio Kekakuan Balok terhadap Pelat

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.4.1.8 dan Buku Desai Beton Bertulang Charles G. Salmon, nilai rasio kekakuan digunakan dalam perhitungan tebal minimum pelat (h_{min}). Adapun perhitungan dan penentuan rasio kekakuan balok terhadap pelat sebagai berikut.

1. Balok Induk BI X 1 60/80 cm

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h - h_f) \\ &= 60 \text{ cm} + 2(80 \text{ cm} - 11 \text{ cm}) \\ &= 198 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{e2} &= b_w + 8h_f \\ &= 60 \text{ cm} + 8 \times 11 \text{ cm} \\ &= 148 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$b_{pakai} = 148 \text{ cm}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \times \left(\frac{h_f}{h} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h} \right) + 4 \left(\frac{h_f}{h} \right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \times \left(\frac{h_f}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \times \left(\frac{h_f}{h} \right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{148 \text{ cm}}{60 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{80 \text{ cm}}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{11 \text{ cm}}{80 \text{ cm}}\right) + 4 \left(\frac{11 \text{ cm}}{80 \text{ cm}}\right)^2 + \left(\frac{148 \text{ cm}}{60 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{80 \text{ cm}}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{148 \text{ cm}}{60 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{80 \text{ cm}}\right)}$$

$$k = 1,4311$$

$$\begin{aligned} I_b &= k \times \frac{1}{12} \times b_w \times h^3 \\ &= 1,4311 \times \frac{1}{12} \times 60 \text{ cm} \times 80^3 \text{ cm} \\ &= 3.663.667,68 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{1}{12} \times b_p \times h_f^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 500 \text{ cm} \times 11^3 \text{ cm} \\ &= 55.458,33 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\alpha_I = \alpha_2 = I_b / I_p = 3.663.667,68 \text{ cm}^4 / 55.458,33 \text{ cm}^4 = 66,062$$

2. Balok Induk BI Y 1 55/70 cm

$$\begin{aligned} b_{el} &= b_w + 2(h - h_f) \\ &= 55 \text{ cm} + 2(70 \text{ cm} - 11 \text{ cm}) \\ &= 173 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{e2} &= b_w + 8h_f \\ &= 55 \text{ cm} + 8 \times 11 \text{ cm} \\ &= 143 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$b_{pakai} = 143 \text{ cm}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h}\right) + 4 \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{143 \text{ cm}}{55 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{70 \text{ cm}}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{11 \text{ cm}}{70 \text{ cm}}\right) + 4 \left(\frac{11 \text{ cm}}{70 \text{ cm}}\right)^2 + \left(\frac{143 \text{ cm}}{55 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{70 \text{ cm}}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{143 \text{ cm}}{55 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{70 \text{ cm}}\right)}$$

$$k = 1,4972$$

$$\begin{aligned} I_b &= k \times \frac{1}{12} \times b_w \times h^3 \\ &= 1,4972 \times \frac{1}{12} \times 55 \text{ cm} \times 70^3 \text{ cm} \\ &= 2.353.721,23 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{1}{12} \times b_p \times h_f^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 400 \text{ cm} \times 11^3 \text{ cm} \\ &= 44.366,67 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\alpha_3 = \alpha_4 = I_b / I_p = 2.353.721,23 \text{ cm}^4 / 44.366,67 \text{ cm}^4 = 53,052$$

3. Balok Anak BA 1 30/50 cm

$$\begin{aligned} b_{el} &= b_w + 2(h - h_f) \\ &= 30 \text{ cm} + 2(50 \text{ cm} - 11 \text{ cm}) \\ &= 108 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{e2} &= b_w + 8h_f \\ &= 30 \text{ cm} + 8 \times 11 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$= 118 \text{ cm}$$

$$b_{pakai} = 108 \text{ cm}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h}\right) + 4 \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{108 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{50 \text{ cm}}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{11 \text{ cm}}{50 \text{ cm}}\right) + 4 \left(\frac{11 \text{ cm}}{50 \text{ cm}}\right)^2 + \left(\frac{108 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{50 \text{ cm}}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{108 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{50 \text{ cm}}\right)}$$

$$k = 1,7521$$

$$I_b = k \times \frac{1}{12} \times b_w \times h^3$$

$$= 1,7521 \times \frac{1}{12} \times 30 \text{ cm} \times 50^3 \text{ cm}$$

$$= 547.520,04 \text{ cm}^4$$

$$I_p = \frac{1}{12} \times b_p \times h_f^3$$

$$= \frac{1}{12} \times 400 \text{ cm} \times 11^3 \text{ cm}$$

$$= 44.366,67 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_5 = \alpha_6 = I_b / I_p = 547.520,04 \text{ cm}^4 / 44.366,67 \text{ cm}^4 = 1,320$$

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6}{6}$$

$$= \frac{66,062 + 66,062 + 53,052 + 53,052 + 12,341 + 12,341}{6}$$

$$= 43,818$$

3 Menentukan Tebal Minimum Pelat

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1.2, ketebalan pelat dua arah dengan nilai $\alpha_m > 2,0$ harus ditentukan berdasarkan ketentuan yang tercantum dalam SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.2.

$$h_f = 110 \text{ mm}$$

$$h_{min} = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$$

$$= \frac{4450 \text{ mm} \left(0,8 + \frac{420 \text{ MPa}}{1400} \right)}{36 + 9(1,309)}$$

$$= 102 \text{ mm}^d \text{ atau } 90 \text{ mm}^e$$

$$\text{Cek} = h_f > h_{min}$$

$$= 110 \text{ mm} > 102 \text{ mm (OK)}$$

Maka, dimensi pelat P1 setebal 110 mm untuk pelat lantai pada lantai 1 hingga 3.

2. Pelat Lantai Tipe 2 (P2)

Pada perencanaan pelat tipe P2, digunakan tebal pelat rencana (h_f) sebesar 110 mm. Pelat tersebut ditopang oleh Balok Induk BI X 2 berukuran 55/80 cm, Balok Induk BI Y 2 berukuran 50/70 cm, serta Balok Anak BA 2 dengan dimensi 25/45 cm.

1
- Menentukan Jenis Pelat

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1.1, jenis pelat ditentukan berdasarkan perbandingan antara bentang panjang (L_y) dan bentang pendek (L_x). Apabila rasio $L_y/L_x \geq 2$, maka pelat dikategorikan sebagai pelat satu arah. Sebaliknya, jika rasio $L_y/L_x \leq 2$, pelat tersebut termasuk dalam kategori pelat dua arah. Adapun perhitungan dan penentuan jenis pelat sebagai berikut.

$$L_y = 4000 \text{ mm}$$

$$L_x = 5000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} L_n &= L_x - \left(\frac{b_{\text{balokmelintang}}}{2} \right) - \left(\frac{b_{\text{balokmelintang}}}{2} \right) \\ &= 5000 \text{ mm} - \left(\frac{500 \text{ mm}}{2} \right) - \left(\frac{500 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 4500 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_n &= L_y - \left(\frac{b_{\text{balokmemanjang}}}{2} \right) - \left(\frac{b_{\text{balokmemanjang}}}{2} \right) \\ &= 4000 \text{ mm} - \left(\frac{550 \text{ mm}}{2} \right) - \left(\frac{550 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 3450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= L_n / S_n \\ &= 4500 \text{ mm} / 3450 \text{ mm} \\ &= 1,304 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai β sebesar 1,304. Maka, pelat termasuk kedalam pelat dua arah.

19
- Menentukan Rasio Kekakuan Balok terhadap Pelat

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.4.1.8 dan Buku Desai Beton Bertulang Charles G. Salmon, nilai rasio kekakuan digunakan dalam perhitungan tebal minimum pelat ($h_{\min}$). Adapun perhitungan dan penentuan rasio kekakuan balok terhadap pelat sebagai berikut.

1. Balok Induk BI X2 55/80 cm

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h - h_f) \\ &= 55 \text{ cm} + 2(80 \text{ cm} - 11 \text{ cm}) \\ &= 193 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{e2} &= b_w + 8h_f \\ &= 55 \text{ cm} + 8 \times 11 \text{ cm} \\ &= 143 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$b_{\text{pakai}} = 143 \text{ cm}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \times \left(\frac{h_f}{h} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h} \right) + 4 \left(\frac{h_f}{h} \right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \times \left(\frac{h_f}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \times \left(\frac{h_f}{h} \right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{143 \text{ cm}}{55 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{80 \text{ cm}}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{11 \text{ cm}}{80 \text{ cm}}\right) + 4 \left(\frac{11 \text{ cm}}{80 \text{ cm}}\right)^2 + \left(\frac{143 \text{ cm}}{55 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{80 \text{ cm}}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{143 \text{ cm}}{55 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{80 \text{ cm}}\right)}$$

$$k = 1,4576$$

$$\begin{aligned} I_b &= k \times \frac{1}{12} \times b_w \times h^3 \\ &= 1,4576 \times \frac{1}{12} \times 55 \text{ cm} \times 80^3 \text{ cm} \\ &= 3.420.525,14 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{1}{12} \times b_p \times h_f^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 500 \text{ cm} \times 11^3 \text{ cm} \\ &= 55.458,33 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = I_b / I_p = 3.420.525,14 \text{ cm}^4 / 55.458,33 \text{ cm}^4 = 61,677$$

2. Balok Induk BI Y 2 50/70 cm

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h - h_f) \\ &= 50 \text{ cm} + 2(70 \text{ cm} - 11 \text{ cm}) \\ &= 168 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{e2} &= b_w + 8h_f \\ &= 50 \text{ cm} + 8 \times 11 \text{ cm} \\ &= 138 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$b_{pakai} = 138 \text{ cm}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h}\right) + 4 \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{138 \text{ cm}}{50 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{70 \text{ cm}}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{11 \text{ cm}}{70 \text{ cm}}\right) + 4 \left(\frac{11 \text{ cm}}{70 \text{ cm}}\right)^2 + \left(\frac{138 \text{ cm}}{50 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{70 \text{ cm}}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{138 \text{ cm}}{50 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{70 \text{ cm}}\right)}$$

$$k = 1,5284$$

$$\begin{aligned} I_b &= k \times \frac{1}{12} \times b_w \times h^3 \\ &= 1,5284 \times \frac{1}{12} \times 50 \text{ cm} \times 70^3 \text{ cm} \\ &= 2.184.351,46 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{1}{12} \times b_p \times h_f^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 400 \text{ cm} \times 11^3 \text{ cm} \\ &= 44.366,67 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\alpha_3 = \alpha_4 = I_b / I_p = 2.184.351,46 \text{ cm}^4 / 44.366,67 \text{ cm}^4 = 49,234$$

3. Balok Anak BA 2 25/45 cm

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h - h_f) \\ &= 25 \text{ cm} + 2(45 \text{ cm} - 11 \text{ cm}) \\ &= 93 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{e2} &= b_w + 8h_f \\ &= 25 \text{ cm} + 8 \times 11 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$= 113 \text{ cm}$$

$$b_{pakai} = 93 \text{ cm}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h}\right) + 4 \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{93 \text{ cm}}{25 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{45 \text{ cm}}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{11 \text{ cm}}{45 \text{ cm}}\right) + 4 \left(\frac{11 \text{ cm}}{45 \text{ cm}}\right)^2 + \left(\frac{93 \text{ cm}}{25 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{45 \text{ cm}}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{93 \text{ cm}}{25 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{45 \text{ cm}}\right)}$$

$$k = 1,7798$$

$$I_b = k \times \frac{1}{12} \times b_w \times h^3$$

$$= 1,7798 \times \frac{1}{12} \times 25 \text{ cm} \times 45^3 \text{ cm}$$

$$= 337.879,05 \text{ cm}^4$$

$$I_p = \frac{1}{12} \times b_p \times h_f^3$$

$$= \frac{1}{12} \times 400 \text{ cm} \times 11^3 \text{ cm}$$

$$= 44.366,67 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_5 = \alpha_6 = I_b / I_p = 337.879,05 \text{ cm}^4 / 44.366,67 \text{ cm}^4 = 7,616$$

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6}{6} = \frac{61,677 + 61,677 + 49,234 + 49,234 + 7,616 + 7,616}{6}$$

$$= 39,509$$

3 Menentukan Tebal Minimum Pelat

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1.2, ketebalan pelat dua arah dengan nilai $\alpha_m > 2,0$ harus ditentukan berdasarkan ketentuan yang tercantum dalam SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.2.

$$h_f = 110 \text{ mm}$$

$$h_{min} = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} = \frac{4500 \text{ mm} \left(0,8 + \frac{420 \text{ MPa}}{1400} \right)}{36 + 9(1,304)} = 104 \text{ mm}^d \text{ atau } 90 \text{ mm}^e$$

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= h_f > h_{min} \\ &= 110 \text{ mm} > 104 \text{ mm (OK)} \end{aligned}$$

Maka, dimensi pelat P2 setebal 110 mm untuk pelat lantai pada lantai 4 hingga 7.

3. Pelat Lantai dan Atap Tipe 3 (P3)

Pada perencanaan pelat tipe P3, digunakan tebal pelat rencana (h_f) sebesar 110 mm. Pelat tersebut ditopang oleh Balok Induk BI X 3 berukuran 40/60 cm, Balok Induk BI Y 3 berukuran 35/50 cm, serta Balok Anak BA 3 dengan dimensi 20/40 cm.

1
- Menentukan Jenis Pelat

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1.1, jenis pelat ditentukan berdasarkan perbandingan antara bentang panjang (L_y) dan bentang pendek (L_x). Apabila rasio $L_y/L_x \geq 2$, maka pelat dikategorikan sebagai pelat satu arah. Sebaliknya, jika rasio $L_y/L_x \leq 2$, pelat tersebut termasuk dalam kategori pelat dua arah. Adapun perhitungan dan penentuan jenis pelat sebagai berikut.

$$L_y = 4000 \text{ mm}$$

$$L_x = 5000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} L_n &= L_x - \left(\frac{b_{\text{balokmelintang}}}{2} \right) - \left(\frac{b_{\text{balokmelintang}}}{2} \right) \\ &= 5000 \text{ mm} - \left(\frac{350 \text{ mm}}{2} \right) - \left(\frac{350 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 4650 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_n &= L_y - \left(\frac{b_{\text{balokmemanjang}}}{2} \right) - \left(\frac{b_{\text{balokmemanjang}}}{2} \right) \\ &= 4000 \text{ mm} - \left(\frac{400 \text{ mm}}{2} \right) - \left(\frac{400 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 3600 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= L_n / S_n \\ &= 4650 \text{ mm} / 3600 \text{ mm} \\ &= 1,292 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai β sebesar 1,292. Maka, pelat termasuk kedalam pelat dua arah.

19
- Menentukan Rasio Kekakuan Balok terhadap Pelat

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.4.1.8 dan Buku Desai Beton Bertulang Charles G. Salmon, nilai rasio kekakuan digunakan dalam perhitungan tebal minimum pelat (h_{min}). Adapun perhitungan dan penentuan rasio kekakuan balok terhadap pelat sebagai berikut.

1. Balok Induk BI X3 40/60cm

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h - h_f) \\ &= 40 \text{ cm} + 2(60 \text{ cm} - 11 \text{ cm}) \\ &= 138 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{e2} &= b_w + 8h_f \\ &= 40 \text{ cm} + 8 \times 11 \text{ cm} \\ &= 128 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$b_{pakai} = 128 \text{ cm}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \times \left(\frac{h_f}{h} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h} \right) + 4 \left(\frac{h_f}{h} \right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \times \left(\frac{h_f}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1 \right) \times \left(\frac{h_f}{h} \right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{128 \text{ cm}}{40 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{60 \text{ cm}}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{11 \text{ cm}}{60 \text{ cm}}\right) + 4 \left(\frac{11 \text{ cm}}{60 \text{ cm}}\right)^2 + \left(\frac{128 \text{ cm}}{40 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{60 \text{ cm}}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{128 \text{ cm}}{40 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{60 \text{ cm}}\right)}$$

$$k = 1,6516$$

$$\begin{aligned} I_b &= k \times \frac{1}{12} \times b_w \times h^3 \\ &= 1,6515 \times \frac{1}{12} \times 40 \text{ cm} \times 60^3 \text{ cm} \\ &= 1.189.112,11 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{1}{12} \times b_p \times h_f^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 500 \text{ cm} \times 11^3 \text{ cm} \\ &= 55.458,33 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\alpha_I = \alpha_2 = I_b / I_p = 1.189.112,11 \text{ cm}^4 / 55.458,33 \text{ cm}^4 = 21,442$$

2. Balok Induk BI Y 3 35/50 cm

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h - h_f) \\ &= 35 \text{ cm} + 2(50 \text{ cm} - 11 \text{ cm}) \\ &= 113 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{e2} &= b_w + 8h_f \\ &= 35 \text{ cm} + 8 \times 11 \text{ cm} \\ &= 123 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$b_{pakai} = 113 \text{ cm}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h}\right) + 4 \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{113 \text{ cm}}{35 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{50 \text{ cm}}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{11 \text{ cm}}{50 \text{ cm}}\right) + 4 \left(\frac{11 \text{ cm}}{50 \text{ cm}}\right)^2 + \left(\frac{113 \text{ cm}}{35 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{50 \text{ cm}}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{113 \text{ cm}}{35 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{50 \text{ cm}}\right)}$$

$$k = 1,6985$$

$$\begin{aligned} I_b &= k \times \frac{1}{12} \times b_w \times h^3 \\ &= 1,6985 \times \frac{1}{12} \times 35 \text{ cm} \times 50^3 \text{ cm} \\ &= 619.255,86 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{1}{12} \times b_p \times h_f^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 400 \text{ cm} \times 11^3 \text{ cm} \\ &= 44.366,67 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\alpha_3 = \alpha_4 = I_b / I_p = 619.255,86 \text{ cm}^4 / 44.366,67 \text{ cm}^4 = 13,958$$

3. Balok Anak BA 3 20/40 cm

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h - h_f) \\ &= 20 \text{ cm} + 2(40 \text{ cm} - 11 \text{ cm}) \\ &= 78 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{e2} &= b_w + 8h_f \\ &= 20 \text{ cm} + 8 \times 11 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$= 108 \text{ cm}$$

$$b_{pakai} = 78 \text{ cm}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h}\right) + 4 \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{78 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{40 \text{ cm}}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{11 \text{ cm}}{40 \text{ cm}}\right) + 4 \left(\frac{11 \text{ cm}}{40 \text{ cm}}\right)^2 + \left(\frac{78 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{40 \text{ cm}}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{78 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{11 \text{ cm}}{40 \text{ cm}}\right)}$$

$$k = 1,8008$$

$$I_b = k \times \frac{1}{12} \times b_w \times h^3$$

$$= 1,8008 \times \frac{1}{12} \times 20 \text{ cm} \times 40^3 \text{ cm}$$

$$= 192.085,21 \text{ cm}^4$$

$$I_p = \frac{1}{12} \times b_p \times h_f^3$$

$$= \frac{1}{12} \times 400 \text{ cm} \times 11^3 \text{ cm}$$

$$= 44.366,67 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_5 = \alpha_6 = I_b / I_p = 192.085,21 \text{ cm}^4 / 44.366,67 \text{ cm}^4 = 7,616$$

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6}{6}$$

$$= \frac{21,442 + 21,442 + 13,958 + 13,958 + 4,329 + 4,329}{6}$$

$$= 13,243$$

3 Menentukan Tebal Minimum Pelat

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1.2, ketebalan pelat dua arah dengan nilai $\alpha_m > 2,0$ harus ditentukan berdasarkan ketentuan yang tercantum dalam SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.2.

$$h_f = 110 \text{ mm}$$

$$h_{min} = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$$

$$= \frac{4650 \text{ mm} \left(0,8 + \frac{420 \text{ MPa}}{1400} \right)}{36 + 9(1,292)}$$

$$= 107 \text{ mm}^d \text{ atau } 90 \text{ mm}^e$$

$$\text{Cek} = h_f > h_{min}$$

$$= 110 \text{ mm} > 107 \text{ mm (OK)}$$

Maka, dimensi pelat P3 setebal 110 mm untuk pelat lantai dan pelat atap pada lantai 8 hingga 10.

4. Rekapitulasi Dimensi Pelat

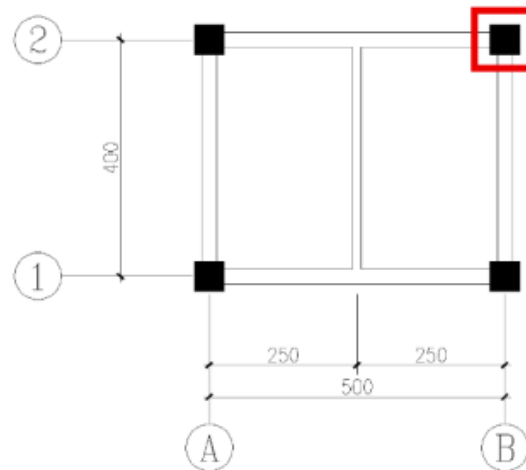
Tabel 4. 24 Preliminary Design Pelat

No	Profil	Dimensi	Satuan
1	Pelat Tipe P1/P2/P3	11	cm

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4.3.3 Kolom

Pada perencanaan Gedung Rumah Sakit 10 lantai di Kabupaten Sidoarjo, tahap perencanaan awal (preliminary design) elemen kolom tersebut mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 10 dan Pasal 18.7 sebagai berikut.



Gambar 4. 7 *Preliminary Design* Kolom
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

1. Menghitung Beban Mati yang Dipikul Kolom

$$\begin{aligned}
 \text{Pelat P1/P2/P3} &= 4 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 0,11 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 11 \\
 &= 580,8 \text{ kN} \\
 \text{Balok BI X 1} &= 0,60 \text{ m} \times 0,80 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 11 \\
 &= 172,8 \text{ kN} \\
 \text{Balok BI X 2} &= 0,55 \text{ m} \times 0,80 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 11 \\
 &= 211,2 \text{ kN} \\
 \text{Balok BI X 3} &= 0,40 \text{ m} \times 0,60 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 11 \\
 &= 86,4 \text{ kN} \\
 \text{Balok BI Y 1} &= 0,55 \text{ m} \times 0,70 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 11 \\
 &= 110,9 \text{ kN} \\
 \text{Balok BI Y 2} &= 0,50 \text{ m} \times 0,70 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 11 \\
 &= 134,4 \text{ kN} \\
 \text{Balok BI Y 3} &= 0,35 \text{ m} \times 0,50 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 11 \\
 &= 50,4 \text{ kN} \\
 \text{Balok BA 1} &= 0,30 \text{ m} \times 0,50 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 11 \\
 &= 43,2 \text{ kN} \\
 \text{Balok BA 2} &= 0,25 \text{ m} \times 0,45 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 11 \\
 &= 43,2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Balok BA 3} &= 0,20 \text{ m} \times 0,40 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 11 \\
 &= 23,0 \text{ kN} \\
 \text{Dinding Eksterior} &= (4 \text{ m} + 5 \text{ m}) \times 4 \text{ m} \times 2,45 \text{ kN/m}^2 \times 10 \\
 &= 882,6 \text{ kN} \\
 \text{Dinding Interior} &= (4 \text{ m} + 5 \text{ m}) \times 4 \text{ m} \times 1,18 \text{ kN/m}^2 \times 10 \\
 &= 466,0 \text{ kN} \\
 \text{Keramik} &= 4 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 0,24 \text{ kN/m}^2 \times 10 \\
 &= 39,2 \text{ kN} \\
 \text{Spesi} &= 4 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 0,41 \text{ kN/m}^2 \times 10 \\
 &= 82,4 \text{ kN} \\
 \text{Plafond} &= 4 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 0,11 \text{ kN/m}^2 \times 11 \\
 &= 23,7 \text{ kN} \\
 \text{Penggantung} &= 4 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 0,07 \text{ kN/m}^2 \times 11 \\
 &= 15,1 \text{ kN} \\
 \text{Sanitasi} &= 4 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 0,20 \text{ kN/m}^2 \times 10 \\
 &= 39,2 \text{ kN} \\
 \text{MEP} &= 4 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 0,39 \text{ kN/m}^2 \times 11 \\
 &= 86,3 \text{ kN} \\
 \text{Aspal} &= 4 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 0,14 \text{ kN/m}^2 \times 1 \\
 &= 27,5 \text{ kN} \\
 \text{TOTAL} &= 3118,4 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2. Menghitung Beban Hidup yang Dipikul Kolom

$$\begin{aligned}
 \text{Lantai 1 – 2} &= 4 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 2,87 \text{ kN/m}^2 \times 2 \\
 &= 114,8 \text{ kN} \\
 \text{Lantai 3 – 8} &= 4 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 1,92 \text{ kN/m}^2 \times 6 \\
 &= 230,4 \text{ kN} \\
 \text{Lantai 9} &= 4 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 4,79 \text{ kN/m}^2 \times 1 \\
 &= 95,8 \text{ kN} \\
 \text{Lantai 10} &= 4 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 0,96 \text{ kN/m}^2 \times 1 \\
 &= 19,2 \text{ kN} \\
 \text{TOTAL} &= 460,2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3. Menghitung Beban Total Menggunakan Kombinasi Pembebanan

$$\begin{aligned}
 w &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\
 &= 1,2 (3118,4 \text{ kN}) + 1,6 (460,2 \text{ kN}) \\
 &= 4478,34 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4. Menghitung Luas Penampang

$$\begin{aligned}
 f'_c &= 33,2 \text{ Mpa} \\
 &= 33.200 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_g &= 10 \times w / f'c \\
 &= 10 \times 4478,34 \text{ kN} / \times 32.000 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 1,349 \text{ m}^2 \\
 b^2 &= 1,349 \text{ m}^2 \\
 b &= \sqrt{1,349} \text{ m}^2 \\
 b &= 1,161 \text{ m} \\
 &= 1,00 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Maka, dimensi kolom sebesar 100/100 cm.

Pada lantai 1 sampai 3 digunakan kolom dengan dimensi 100/100 cm. Selanjutnya, untuk mengurangi berat struktur pada lantai yang lebih tinggi, dimensi kolom diperkecil menjadi 80/80 cm pada lantai 4 hingga 7, dan kembali diperkecil menjadi 70/70 cm pada lantai 8 sampai 10.

5. Rekapitulasi Dimensi Kolom

Tabel 4. 25 Preliminary Design Kolom

No	Profil	Dimensi	Satuan
1	Kolom K1	100/100	cm
2	Kolom K2	80/80	cm
3	Kolom K3	70/70	cm

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

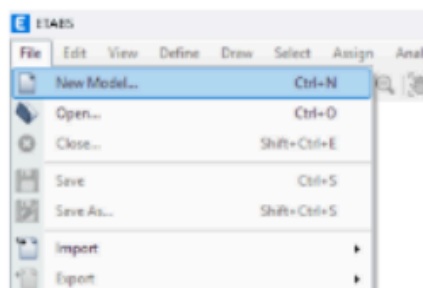
17

4.4 Permodelan Struktur

Elemen struktur yang meliputi balok, kolom, dan pelat yang telah diperoleh dari tahap *preliminary design*, beserta seluruh hasil analisis pembebanan yang telah dilakukan, selanjutnya dimodelkan secara tiga dimensi menggunakan *software* ETABS v.22. Berikut ini merupakan tahapan pemodelan untuk lima variasi model bangunan dalam perencanaan ini.

Langkah 1: Pembuatan Model Bangunan

Pada langkah pemodelan menggunakan ETABS v.22, langkah pertama yang dilakukan adalah membuat model baru sesuai dengan data perencanaan. Proses tersebut diawali dengan memilih menu *File* kemudian *New Model*.

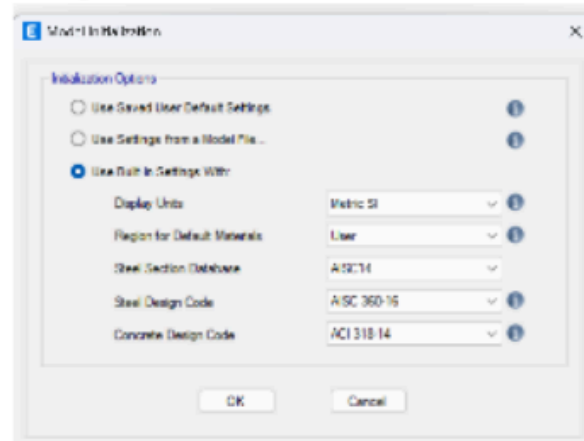


Gambar 4. 8 Pembuatan Pemodelan Baru ETABS

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Langkah 2: Mengatur Parameter Awal Pemodelan

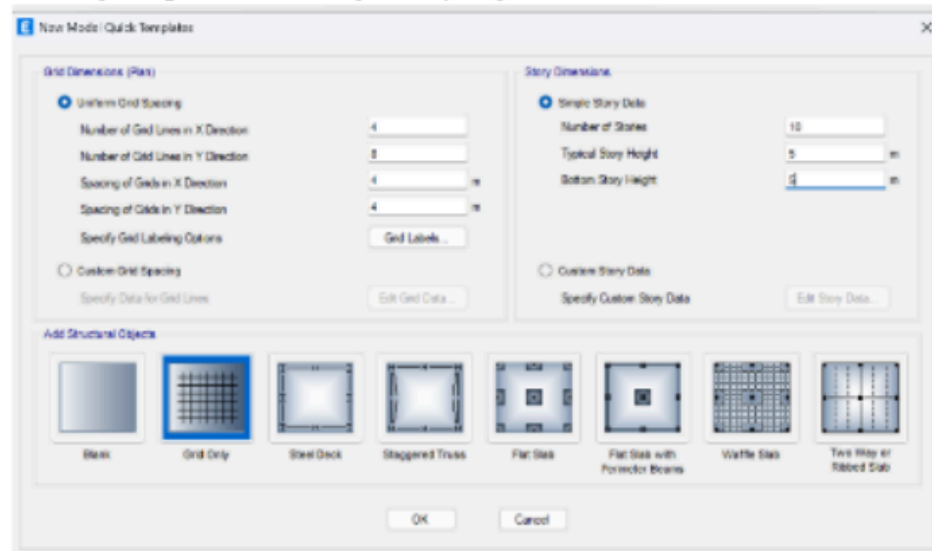
Pada langkah pengaturan parameter dasar yang mencakup pemilihan peraturan desain dan sistem satuan yang digunakan. Sistem satuan yang diterapkan adalah *Metric SI* sebagai standar yang berlaku di Indonesia. Adapun peraturan yang digunakan meliputi AISC 360-16 yang menjadi acuan dalam SNI 1729:2020 serta ACI 318-14 yang diadopsi dalam SNI 2847:2019.



Gambar 4. 9 Parameter Awal Pemodelan Baru ETABS
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

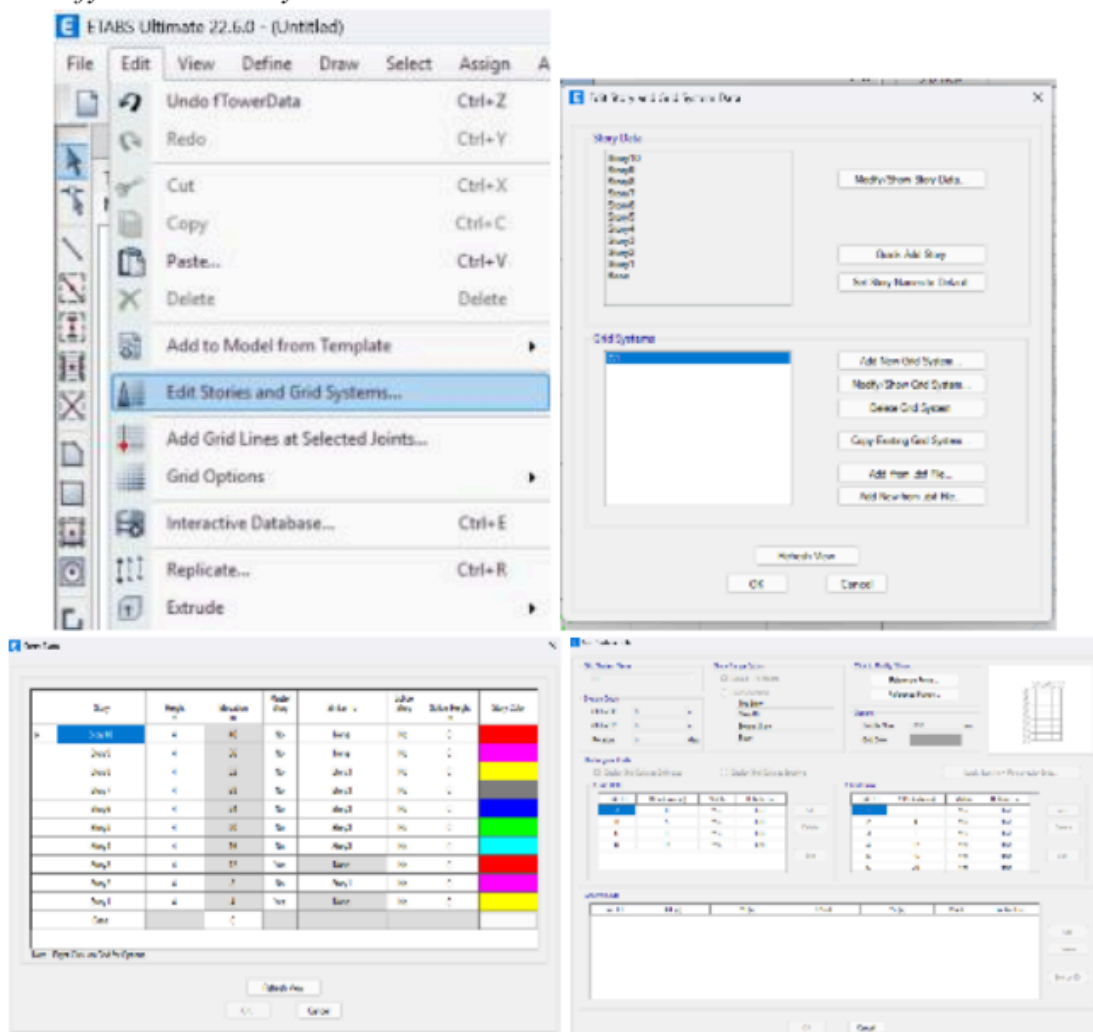
Langkah 3: Mengatur Grid Pemodelan

Pada langkah membuat sistem grid untuk mengatur jarak antar kolom pada arah x dan y , serta menetapkan jumlah lantai dan tinggi masing-masing lantai pada arah z sesuai dengan spesifikasi bangunan yang akan dimodelkan.



Gambar 4. 10 Grid Pemodelan Baru ETABS
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Apabila terdapat perubahan ukuran pada arah x , y , maupun z , penyesuaian dapat dilakukan melalui menu *Edit* dengan memilih fitur *Edit Stories and Grid System*. Selanjutnya, pengaturan ulang data tingkat lantai dapat dilakukan pada opsi *Modify/Show Story Data*, sedangkan perubahan sistem grid dilakukan melalui *Modify/Show Grid Systems*.

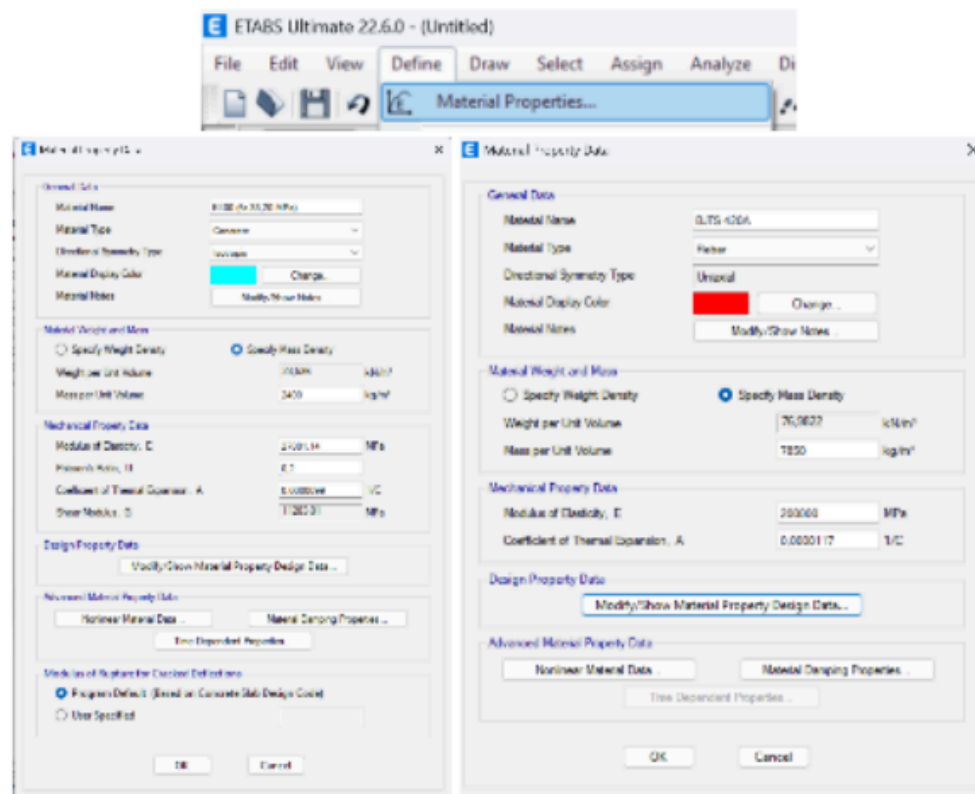


Gambar 4. 11 Penyesuaian Ulang Grid Pemodelan ETABS

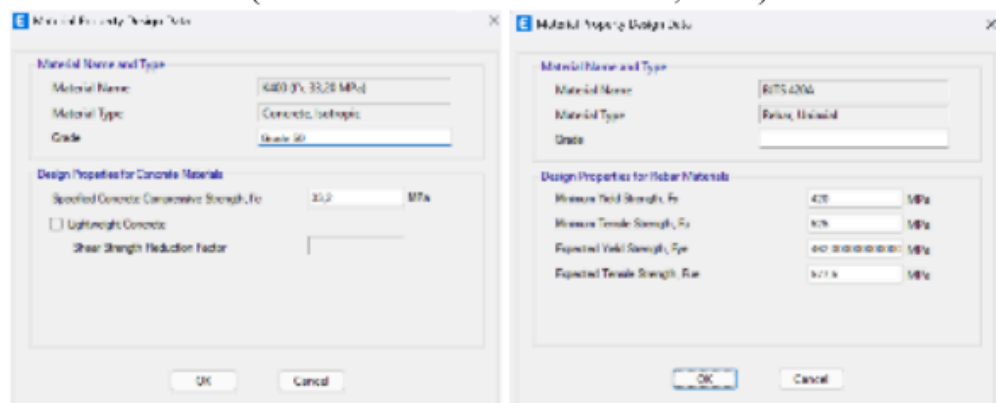
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Langkah 4: Mengatur Material Pemodelan

Pada langkah menentukan jenis material yang akan digunakan dengan memilih menu *Define*, kemudian *Material Properties*, dan selanjutnya *Add New Material*. Material baja ditetapkan sebagai tulangan pada elemen struktur utama seperti balok, kolom, dan pelat. Sementara itu, beton digunakan sebagai material utama pada elemen balok, kolom, dan pelat. Setelah itu, mutu masing-masing material, baik baja maupun beton, diinput sesuai dengan spesifikasi perencanaan.



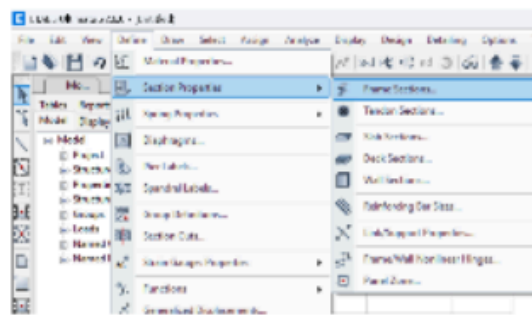
Gambar 4. 12 *Input Material Beton dan Baja Tulangan*
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



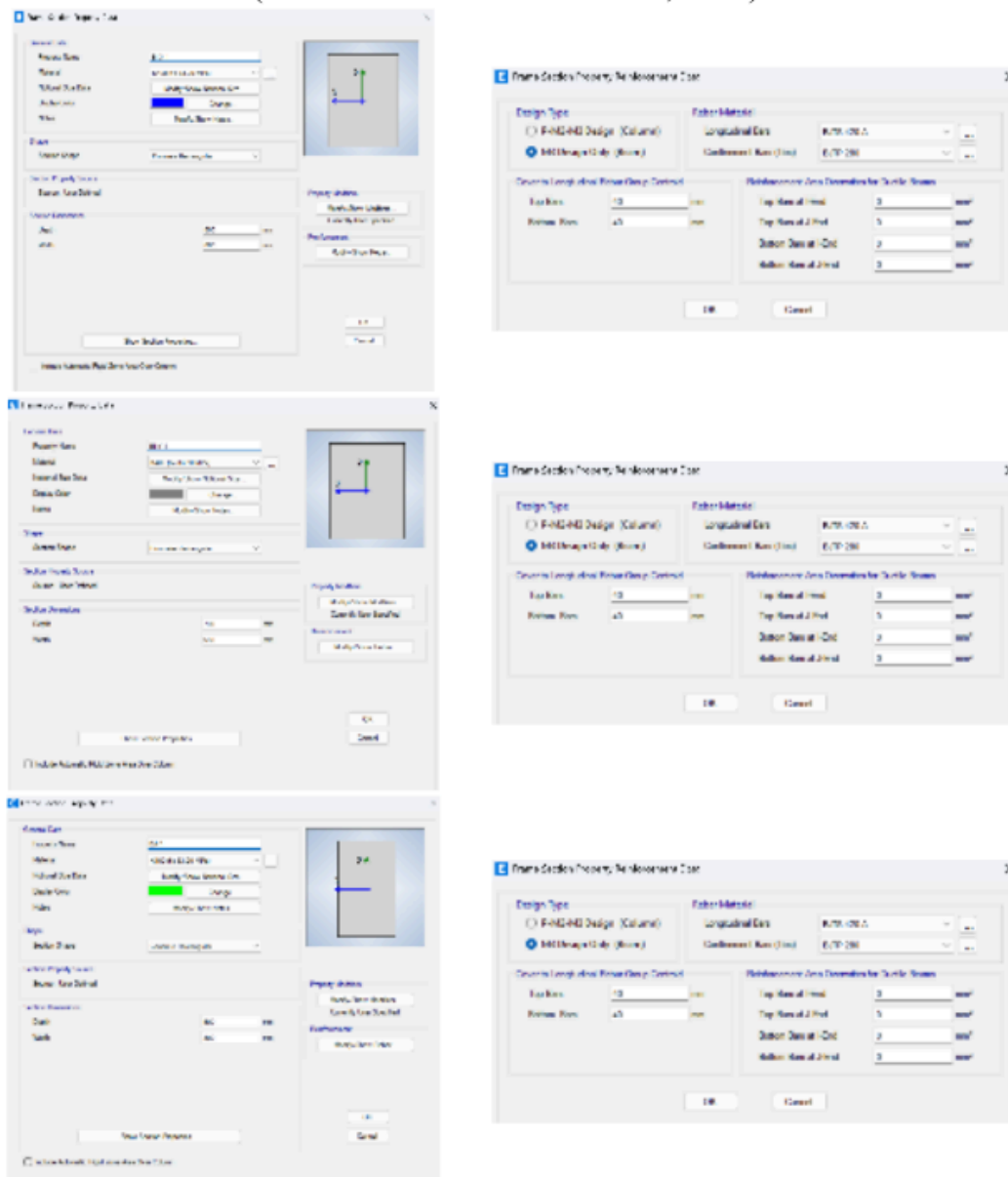
Gambar 4. 13 *Input Mutu Material Beton dan Baja Tulangan*
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Langkah 5: Mengatur Elemen Struktur Pemodelan

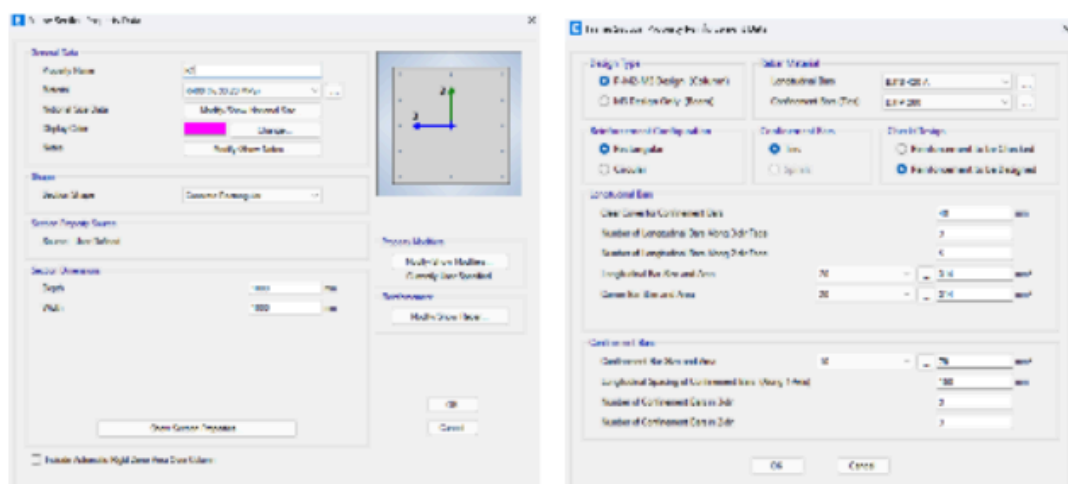
Pada langkah pendefinisian elemen struktur balok dan kolom sesuai hasil *preliminary design*, langkah yang dilakukan adalah memilih menu *Define*, kemudian *Section Properties*, dilanjutkan ke *Frame Sections*, dan memilih *Add New Property* untuk menambahkan penampang yang diperlukan. Adapun untuk elemen pelat, prosedurnya serupa, hanya berbeda pada pemilihan jenis penampang, yaitu menggunakan *Slab Sections* sebagai pengganti *Frame Sections*.



Gambar 4. 14 *Input Material Balok, Kolom, dan Pelat*
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 15 *Input Dimensi dan Properti Balok*
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



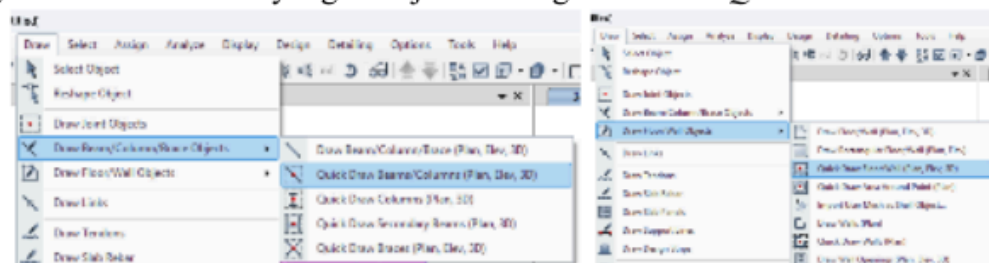
Gambar 4. 16 *Input* Dimensi dan Properti Kolom
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



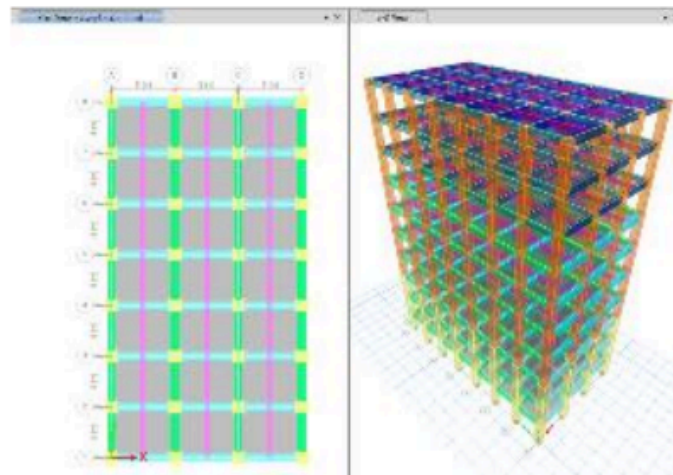
Gambar 4. 17 *Input* Dimensi dan Properti Pelat
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Langkah 6: Menggambar Elemen Struktur Pemodelan

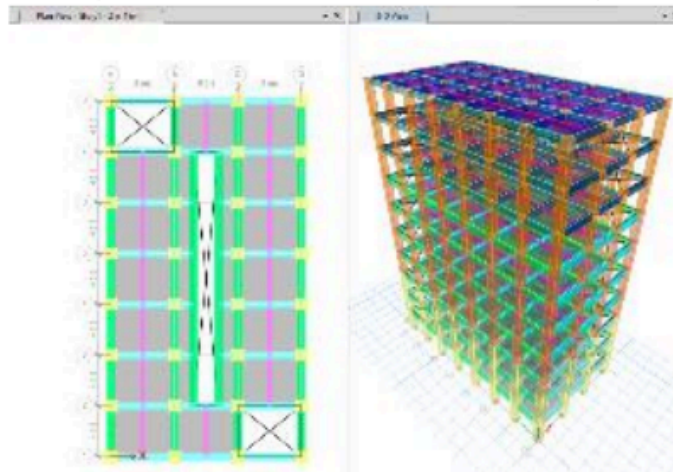
Pada langkah penggambaran model bangunan, elemen struktur balok dan kolom digambar dengan memilih menu *Draw*, kemudian menggunakan fitur *Quick Draw Beams/Columns*. Sementara itu, untuk menggambar elemen struktur pelat digunakan menu *Draw* yang dilanjutkan dengan memilih *Quick Draw Floor/Wall*.



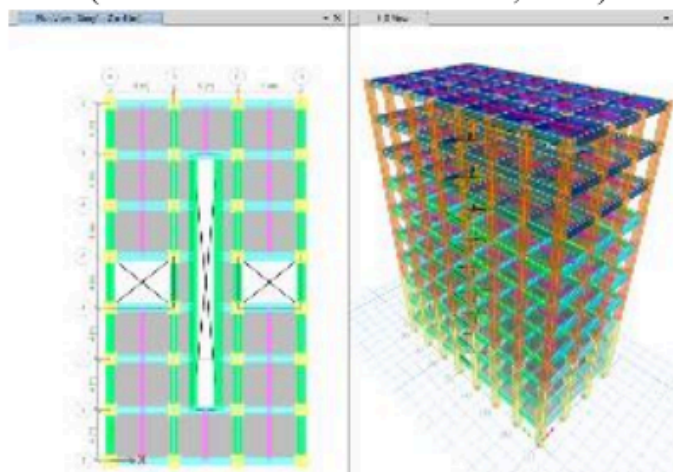
Gambar 4. 18 Penggambaran Elemen Struktur
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



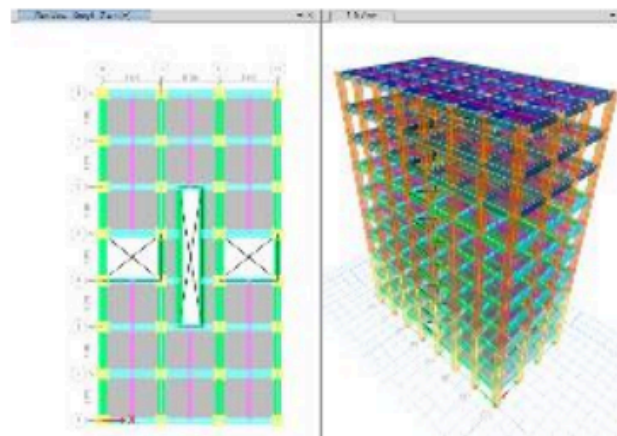
Gambar 4. 19 Pemodelan Struktur Variasi tanpa *Void* Gedung A
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



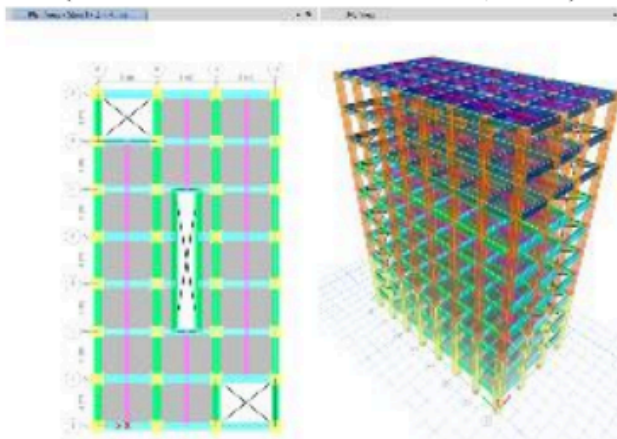
Gambar 4. 20 Pemodelan Struktur Variasi *Void* Gedung B
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 21 Pemodelan Struktur Variasi *Void* Gedung C
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



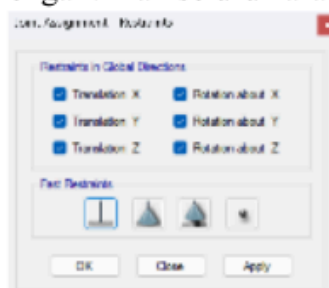
Gambar 4. 22 Pemodelan Struktur Variasi *Void* Gedung D
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 23 Pemodelan Struktur Variasi *Void* Gedung E
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Langkah 7: Mengatur Perletakan Pemodelan

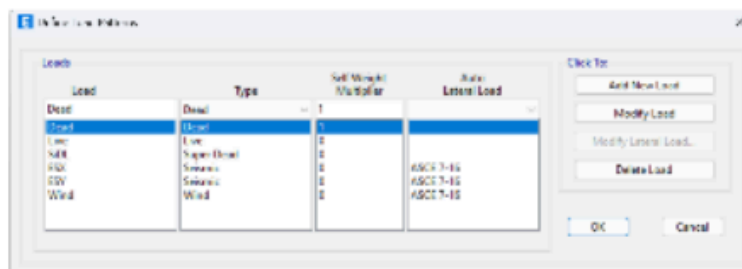
Pada langkah penentuan kondisi perletakan untuk struktur rangka pemikul momen khusus pada setiap variasi model, digunakan perletakan jepit pada bagian dasar struktur. Langkah ini dilakukan dengan memblok seluruh titik perletakan pada tampilan *View Plane Base*, kemudian memilih menu *Assign*, dilanjutkan *Joint*, lalu *Restraints*, dan mengaktifkan seluruh arah translasi serta rotasi.



Gambar 4. 24 Pendefinisian Perletakan Jepit pada Setiap Variasi Model
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Langkah 8: Mengatur Beban pada Software ETABS

Pada langkah pengaturan pembebanan, jenis beban yang dimasukkan dalam perencanaan meliputi beban mati, beban mati tambahan, beban angin, serta beban gempa. Proses pendefinisian beban dilakukan dengan memilih menu *Define*, kemudian *Load Patterns*, lalu menambahkan jenis beban melalui opsi *Add New Load*. Untuk beban angin dan beban gempa statik, pada pengaturan *Auto Lateral Load* dipilih standar ASCE 7-16 sebagai acuan yang diadopsi dalam SNI 1726:2019.



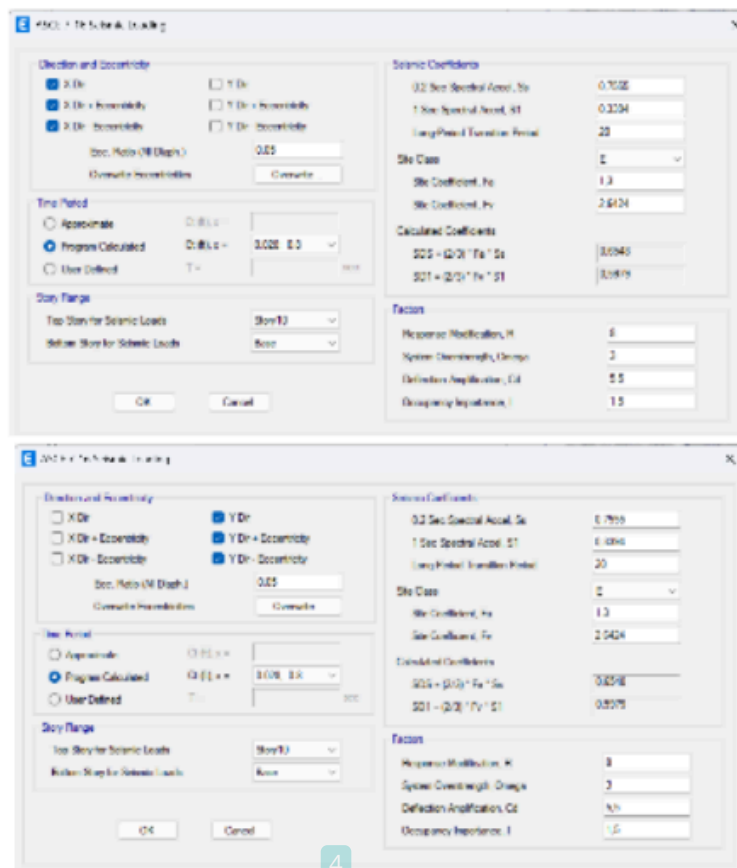
Gambar 4. 25 Pendefinisian Beban pada Setiap Variasi Model
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Langkah berikutnya adalah melakukan penyesuaian parameter beban angin. Tahap ini dilakukan dengan memilih *Load Wind* dengan *Type Wind*, kemudian menekan opsi *Modify Lateral Load*, selanjutnya mengisi parameter yang diperlukan sesuai dengan data perencanaan yang telah dijelaskan pada Subbab 4.2.3.



Gambar 4. 26 Input Parameter Beban Angin
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Setelah parameter beban angin selesai disesuaikan, tahap berikutnya adalah melakukan pengaturan pada beban gempa statik untuk arah *x* dan *y*. Proses ini dilakukan dengan memilih *Load Seismic* dengan *Type Seismic*, kemudian menekan opsi *Modify Lateral Load*, lalu mengisi parameter yang diperlukan sesuai dengan data perencanaan yang dijelaskan pada Subbab 4.2.4.



Gambar 4. 27 Input Parameter Beban Gempa Statik Arah X dan Arah Y
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Selanjutnya, kombinasi pembebanan dimasukkan berdasarkan SNI 1727:2020 dengan langkah memilih menu *Define*, kemudian *Load Combinations*, lalu *Add New Combo*, dan memasukkan faktor pengali dari masing-masing jenis beban. Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 1727: 2020 Pasal 2.3 sebagai berikut:

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
3. $1,2 D + 0,5 W$
4. $1,2 D + W + L$
5. $0,9 D + W$

Selain kombinasi tersebut, karena bangunan yang direncanakan juga mempertimbangkan pengaruh beban gempa, maka digunakan tambahan kombinasi pembebanan sesuai dengan ketentuan SNI 1727:2020 Pasal 2.3.6 sebagai berikut:

1. $1,2 D + E_v + E_h + L$
2. $0,9 D - E_v + E_h$

8

Nilai E_v dan E_h dihitung berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.4.2.1 dan Pasal 7.4.2.2, dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_v = \rho \times Q_E \text{ (Dengan nilai } \rho \text{ ditentukan sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.3.4)}$$

$$= 1,3 Q_E$$

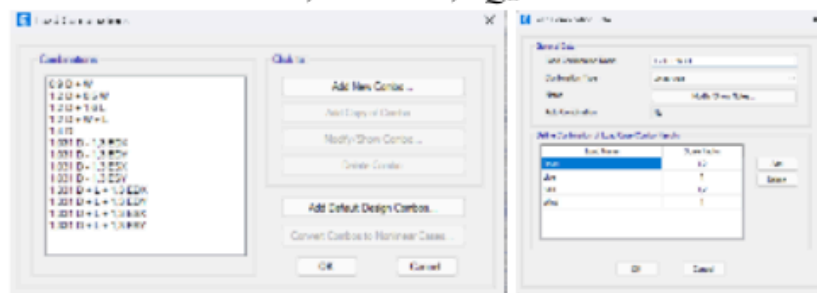
$$E_h = 0,2 \times S_{DS} \times D \text{ (Dengan nilai SDS sebesar 0,6256)}$$

$$= 0,2 \times 0,6256 \times D$$

$$= 0,131 D$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, kombinasi pembebanan dapat dituliskan sebagai berikut:

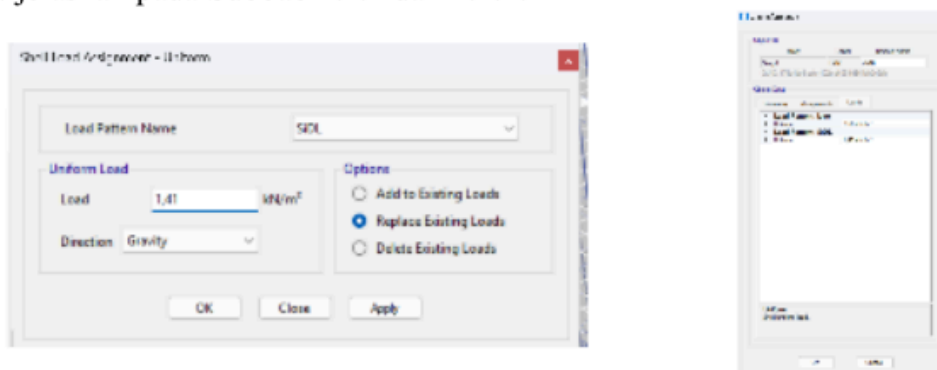
1. $1,2 D + E_v + E_h + L = 1,2 D + 1,3 Q_E + 0,131 D + L$
 $= 1,331 D + 1,3 Q_E + L$
2. $0,9 D - E_v + E_h = 0,9 D - 1,3 Q_E + 0,131 D$
 $= 1,031 D - 1,3 Q_E$



Gambar 4. 28 Input Kombinasi Pembebanan dan Scale Factor
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

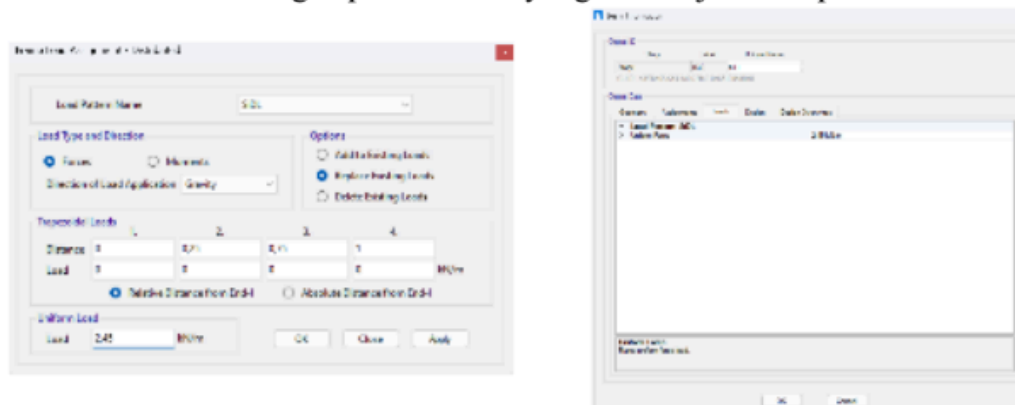
Langkah 9: Mengatur Beban pada Elemen Struktur

Pada langkah pendefinisian beban mati dan beban hidup pada elemen pelat yang telah direncanakan dilakukan dengan memilih elemen pelat yang akan dianalisis, kemudian memilih menu *Assign*, dilanjutkan *Shell Loads*, dan *Uniform*. Selanjutnya, nilai beban dimasukkan sesuai dengan data perencanaan yang dijelaskan pada Subbab 4.2.1 dan 4.2.2.



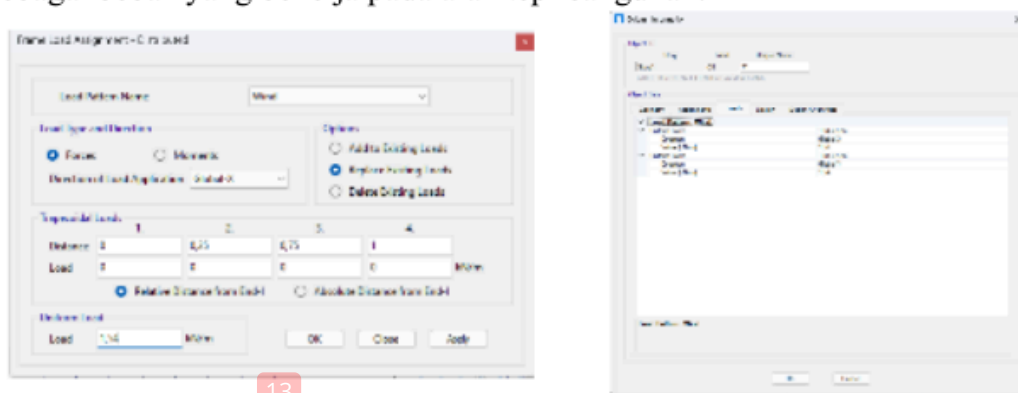
Gambar 4. 29 Input Beban pada Pelat
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Selanjutnya, pemberian beban dinding pada elemen balok. Proses ini dilakukan dengan memilih balok yang akan dianalisis, kemudian membuka menu *Assign*, dilanjutkan *Frame Loads*, dan memilih *Distributed*. Setelah itu, nilai beban dimasukkan sesuai dengan perencanaan yang telah dijelaskan pada Subbab 4.2.1.



Gambar 4. 30 *Input* Beban pada Balok
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

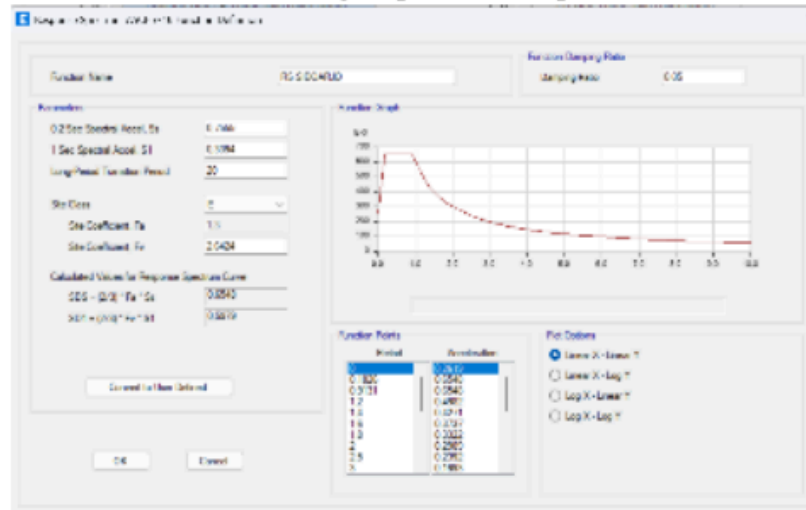
Setelah beban mati dan beban hidup selesai dimasukkan ke dalam model, tahap selanjutnya adalah memasukkan beban angin pada kolom sesuai dengan hasil perhitungan yang telah dijelaskan pada Subbab 4.2.3. Beban tersebut dimasukkan pada masing-masing kolom sesuai arah pembebanannya. Proses dilakukan dengan cara memilih kolom yang akan diberikan beban, kemudian membuka menu *Assign*, dilanjutkan *Frame Load*, lalu memilih *Distributed*. Pada bagian *Load Pattern Name* dipilih jenis beban *Wind*. Selanjutnya, pada menu *Direction of Load Application* dipilih *Global-X*, karena pada tahap ini dimasukkan beban angin yang bekerja menekan bangunan ke arah sumbu *X*. Sementara itu, untuk mendefinisikan beban angin pada bagian tepi bangunan digunakan arah *Global-Y*, dengan memasukkan nilai negatif dan positif sehingga beban dapat dimodelkan sebagai beban yang bekerja pada arah tepi bangunan.



13

Gambar 4. 31 *Input* Beban pada Kolom
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Selain beban mati, beban hidup, dan beban angin, pada pemodelan juga dilakukan pendefinisian beban gempa dinamik menggunakan metode *Response Spectrum*. Data spektrum respons yang digunakan berasal dari RSA Cipta Karya 2021 dan mengacu pada ketentuan SNI 1726:2019. Proses pendefinisian dilakukan dengan memilih menu *Define*, kemudian *Functions*, dan *Response Spectrum*. Selanjutnya pada bagian *Choose Function Type to Add* dipilih ASCE7-16, lalu klik *Add New Function* untuk menambahkan fungsi spektrum respons.



Gambar 4. 32 Pendefinisian Beban Gempa Dinamik Respons Spektrum
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Pendefinisian beban gempa dinamik pada arah x dan y dilakukan dengan membuka menu *Define*, kemudian memilih *Load Cases*, lalu klik *Add New Case*. Pada bagian *Load Case Type* dipilih *Response Spectrum*. Setelah itu, nilai *Scale Factor* dimasukkan sesuai dengan kebutuhan perencanaan agar pembebanan gempa dapat dimodelkan dengan benar pada kedua arah tersebut.

1. *Scale Factor*

$$\frac{g \times I_e}{R} = \frac{9810 \times 1,50}{8} = 1839,375 \text{ mm/s}^2$$

2. Dinamik Arah X

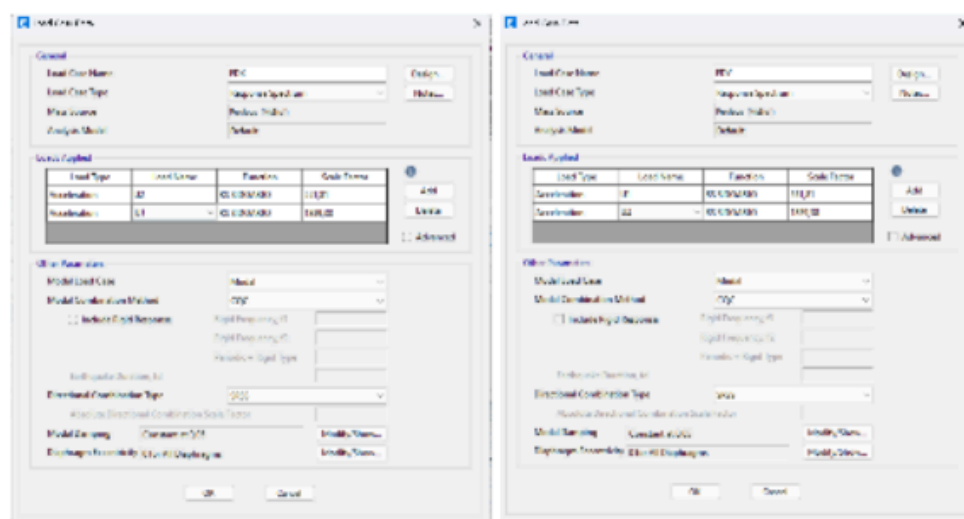
$$U1 (100\%) = 1839,375 \text{ mm/s}^2$$

$$U2 (30\%) = 551,8125 \text{ mm/s}^2$$

3. Dinamik Arah Y

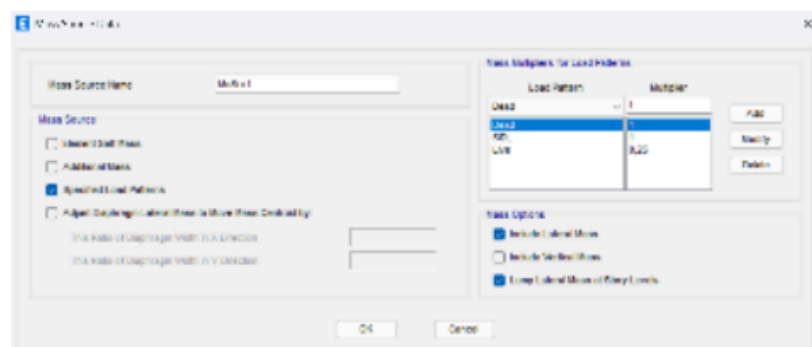
$$U2 (100\%) = 1839,375 \text{ mm/s}^2$$

$$U1 (30\%) = 551,8125 \text{ mm/s}^2$$



Gambar 4. 33 Pendefinisian *Scale Factor* Beban Gempa Dinamik
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

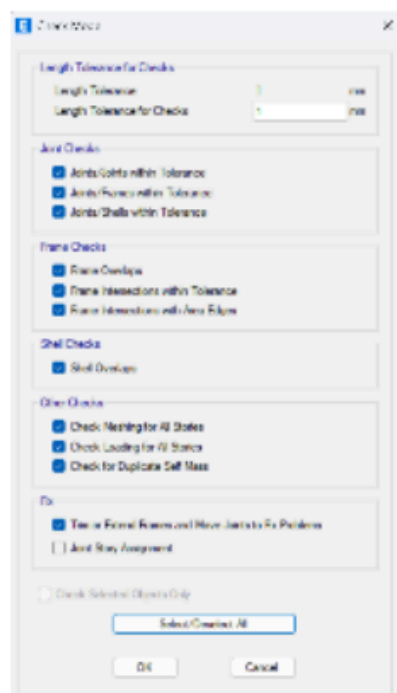
Terakhir, pendefinisian *Mass Source* sebagai sumber massa struktur dilakukan dengan membuka menu *Define*, kemudian memilih *Mass Source*, lalu klik *Modify/Show Mass Source* untuk mengatur parameter sumber massa yang akan digunakan dalam analisis struktur.



Gambar 4. 34 Pendefinisian *Mass Source*
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Langkah 10: Proses *Running Analysis* pada *Software ETABS*

Pada langkah ini, setelah seluruh elemen struktur dan pembebanan berhasil didefinisikan, tahap berikutnya adalah melakukan proses running pada perangkat lunak untuk memperoleh *output* berupa gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur bangunan. Sebelum analisis dijalankan, perlu dipastikan terlebih dahulu bahwa semua elemen yang telah dimodelkan sudah terdefinisi dengan benar. Hal ini dapat dilakukan dengan memilih menu *Analyze*, kemudian *Check Model*, lalu klik *Select/Deselect All* untuk memeriksa keseluruhan elemen pada model.



Gambar 4. 35 Pengecekan Pemodelan Sebelum *Run Analysis*
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Selanjutnya, untuk memperoleh hasil analisis dari *software* ETABS, langkah yang dilakukan adalah menjalankan proses analisis struktur. Proses ini dilakukan dengan memilih menu *Analyze*, kemudian *Set Load Cases to Run*, dan selanjutnya klik *Run Now* agar program dapat menghitung serta menampilkan *output* dari model struktur yang telah dibuat.



Gambar 4. 36 Proses Analisis Hasil Pemodelan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4.5 Analisa dan Kontrol Desain Struktur

Struktur yang telah dimodelkan dengan menggunakan *software* ETABS v.22 perlu dilakukan tahap pengendalian atau pengecekan terhadap hasil analisisnya berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019. Hal ini bertujuan untuk

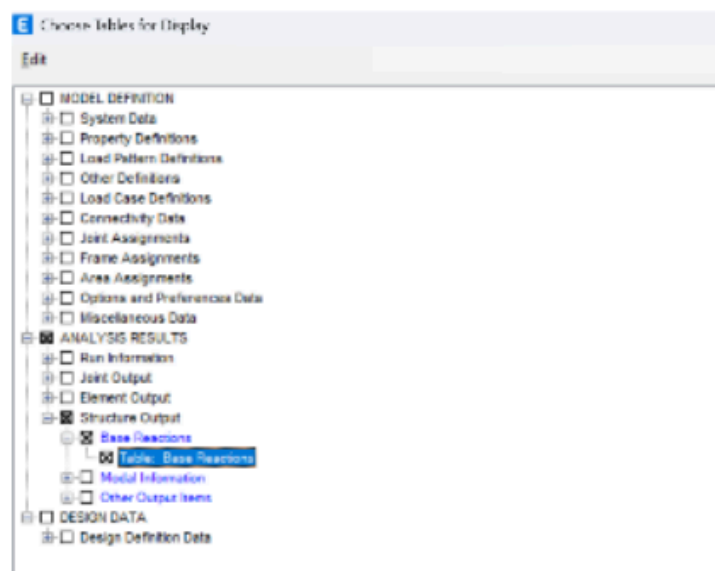
memastikan bahwa desain bangunan yang direncanakan serta dimodelkan dalam ETABS v.22 telah memenuhi persyaratan perencanaan struktur bangunan tahan gempa sesuai standar yang berlaku.

4.5.1 Kontrol Berat Struktur

Kontrol berat struktur dilakukan untuk memastikan bahwa hasil perhitungan manual sesuai dengan hasil analisis yang diperoleh dari *software* ETABS v.22. Apabila ditemukan perbedaan yang cukup besar antara keduanya, maka perlu dilakukan pengecekan kembali serta penyesuaian pada model struktur agar hasil analisis yang diperoleh lebih akurat. Berat struktur yang diperiksa meliputi berat beban mati atau berat sendiri bangunan, beban mati tambahan, serta beban hidup.

Pada perhitungan manual, besarnya beban mati tambahan dan beban hidup yang bekerja pada pelat diperoleh dengan mengalikan nilai beban tersebut dengan luas area bangunan. Sementara itu, untuk beban mati tambahan berupa dinding yang bekerja pada balok, perhitungannya dilakukan dengan mengalikan beban dinding dengan panjang elemen balok, tinggi dinding, serta jumlah elemen balok yang menerima beban dinding tersebut.

Sedangkan pada hasil analisis pada *software* ETABS v.22, nilai berat struktur meliputi total beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup, dapat diketahui dengan cara memilih *Display*, kemudian *Show Tables*, lalu masuk ke bagian *Analysis Result*, dilanjutkan *Structure Output*, dan memilih *Base Reactions* untuk melihat total reaksi dasar yang merepresentasikan berat struktur.



Gambar 4. 37 *Step Output* Berat Struktur ETABS
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

1. Struktur SRPMK Tanpa Void (Gedung A)

Luas Area Bangunan

$$\begin{aligned}\text{Panjang x Lebar} &= 28 \text{ m x } 15 \text{ m} \\ &= 420 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Beban Mati Tambahan (SiDL)Lantai 1 – 9

Keramik	$= 0,24 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 98,9 \text{ kN}$
Spesi	$= 0,41 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 173,0 \text{ kN}$
Plafond	$= 0,11 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 45,3 \text{ kN}$
Penggantung	$= 0,07 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 28,8 \text{ kN}$
Sanitasi	$= 0,20 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 82,4 \text{ kN}$
MEP	$= 0,39 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 164,8 \text{ kN}$
Dinding Eksterior	$= 2,45 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 20$	$= 784,5 \text{ kN}$
Dinding Interior	$= 1,18 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 22$	$= 414,2 \text{ kN}$
Total Beban Mati Tambahan (SiDL)		$= 1791,9 \text{ kN}$
Total Beban Mati Tambahan Lantai 1 – 9		$= 16126,8 \text{ kN}$

Lantai 10

Plafond	$= 0,11 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 45,3 \text{ kN}$
Penggantung	$= 0,07 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 28,8 \text{ kN}$
MEP	$= 0,39 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 164,8 \text{ kN}$
Aspal	$= 0,14 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 57,7 \text{ kN}$
Total Beban Mati Tambahan (SiDL)		$= 296,6 \text{ kN}$

Beban Hidup (LL)Lantai 1 – 2

$$\text{Beban Hidup Lantai 1 – 2} = 0,25 \times 2,87 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2 \times 2 = 602,7 \text{ kN}$$

Lantai 3 – 8

$$\text{Beban Hidup Lantai 3 – 8} = 0,25 \times 1,18 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2 \times 6 = 1209,6 \text{ kN}$$

Lantai 9

$$\text{Beban Hidup Lantai 9} = 0,25 \times 4,79 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2 = 503,0 \text{ kN}$$

Lantai 10

$$\text{Beban Hidup Lantai 10} = 0,25 \times 0,96 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2 = 100,8 \text{ kN}$$

Berat Sendiri Struktur (DL)**Tabel 4. 26** Berat Elemen Struktur Bangunan Pemodelan Gedung A

Tipe Elemen	Dimensi		Jumlah/ Lantai	Panjang/ Tinggi	Luas Area	Berat	Total Lantai	Nilai	Nilai Total
	m			m	m ²	kN/m ³		kN	kN
Balok Induk B1 X 1	0,60	0,80	24	4		24	3	1105,9	3317,8
Balok Induk B1 X 2	0,55	0,80	24	4,2		24	4	1064,4	4257,8
Balok Induk B1 X 3	0,40	0,60	24	4,3		24	3	594,4	1783,3
Balok Induk B1 Y 1	0,55	0,70	28	3		24	3	776,2	2328,5
Balok Induk B1 Y 2	0,50	0,70	28	3,2		24	4	752,6	3010,6
Balok Induk B1 Y 3	0,35	0,50	28	3,3		24	3	388,1	1164,2
Balok Anak B1	0,30	0,50	21	3,4		24	3	257,0	771,1
Balok Anak B2	0,25	0,45	21	3,45		24	4	195,6	782,5
Balok Anak B3	0,20	0,40	21	3,6		24	3	145,2	435,5
Kolom K1	1,00	1,00	32	4		24	3	3072,0	9216,0
Kolom K2	0,80	0,80	32	4		24	4	1966,1	7864,3
Kolom K3	0,70	0,70	32	4		24	3	1505,3	3763,2
Pelat P1/P2/P3	0,11				420	24	10	1108,8	11088,0
Total								12931,6	49782,7

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berat Struktur Bangunan Hasil Analisis Manual

Tabel 4. 27 Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung A Hasil Analisis Manual

Lantai	Berat (kN)
1	2093,22
2	2093,22
3	1993,47
4	1993,47
5	1993,47
6	1993,47
7	1993,47
8	1993,47
9	2294,82
10	397,35
Berat Elemen Struktur	49782,7
TOTAL	68622,13

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berat Struktur Bangunan Hasil *Software* ETABS

Tabel 4. 28 Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung A Hasil Analisis *Software* ETABS

<i>Output Case</i>	<i>Case Type</i>	<i>F_z</i> (kN)
Dead	LinStatic	49861,45
Live	LinStatic	9664,20
SiDL	LinStatic	8586,30
TOTAL		68111,95

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Perbandingan Hasil Analisis Manual dengan Hasil *Software* ETABS

Tabel 4. 29 Perbandingan Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung A Hasil Analisis Manual dan *Software* ETABS

Berat Struktur (kN)		Selisih (%)	Cek < 5%
Analisis Manual	Analisis <i>Software</i> ETABS		
68622,13	68111,95	0,74	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.29 menunjukkan hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh persentase selisih sebesar 0,74% yang didapatkan dari perhitungan berikut:

$$\frac{(Manual - ETABS)}{Manual} \times 100\% < 5\%$$

$$\frac{(68622,13 \text{ kN} - 68111,95 \text{ kN})}{68622,13 \text{ kN}} \times 100\% < 5\%$$

$$0,74\% < 5\% \text{ (OK)}$$

Nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi yang telah ditetapkan, sehingga dapat dinyatakan bahwa hasil perhitungan yang diperoleh masih memenuhi kriteria yang dipersyaratkan.

2. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 1 (Gedung B)

Luas Area Bangunan

$$\begin{aligned} \text{Panjang} \times \text{Lebar} &= 28 \text{ m} \times 15 \text{ m} \\ &= 420 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Beban Mati Tambahan (SiDL)

Lantai 1 – 9

Keramik	$= 0,24 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 98,9 \text{ kN}$
Spesi	$= 0,41 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 173,0 \text{ kN}$
Plafond	$= 0,11 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 45,3 \text{ kN}$
Penggantung	$= 0,07 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 28,8 \text{ kN}$
Sanitasi	$= 0,20 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 82,4 \text{ kN}$
MEP	$= 0,39 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 164,8 \text{ kN}$
Dinding Eksterior	$= 2,45 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 20$	$= 784,5 \text{ kN}$
Dinding Interior	$= 1,18 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 22$	$= 414,2 \text{ kN}$

$$\begin{aligned} \text{Pengurangan Beban Void Gedung B} &= 1791,9 \text{ kN} \times 19,05\% \\ &= 341,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Beban Mati Tambahan (SiDL)} &= 1791,9 \text{ kN} - 341,4 \text{ kN} \\ &= 1450,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Total Beban Mati Tambahan Lantai 1 – 9} = 13054,7 \text{ kN}$$

Lantai 10

Plafond	$= 0,11 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 45,3 \text{ kN}$
Penggantung	$= 0,07 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 28,8 \text{ kN}$
MEP	$= 0,39 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 164,8 \text{ kN}$
Aspal	$= 0,14 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 57,7 \text{ kN}$

$$\text{Total Beban Mati Tambahan (SiDL)} = 296,6 \text{ kN}$$

Beban Hidup (LL)

Lantai 1 – 2

$$\text{Beban Hidup Lantai 1 – 2} = 0,25 \times 2,87 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2 \times 2 = 602,7 \text{ kN}$$

Lantai 3 – 8

$$\text{Beban Hidup Lantai 3 – 8} = 0,25 \times 1,18 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2 \times 6 = 1209,6 \text{ kN}$$

Lantai 9

$$\text{Beban Hidup Lantai 9} = 0,25 \times 4,79 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2 = 503,0 \text{ kN}$$

Lantai 10

$$\text{Beban Hidup Lantai 10} = 0,25 \times 0,96 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2 = 100,8 \text{ kN}$$

Pengurangan beban void Gedung B pada lantai 1 – 9 sebesar 19,05%.

Berat Sendiri Struktur (DL)

Tabel 4. 30 Berat Elemen Struktur Bangunan Pemodelan Gedung B

Tipe Elemen	Dimensi		Jumlah/ Lantai	Panjang/ Tinggi	Luas Area	Berat	Total Lantai	Nilai	Nilai Total
	m			m	m ²	kN/m ³		kN	kN
Balok Induk BI X 1	0,60	0,80	22	4		24	3	1013,8	3041,3
Balok Induk BI X 2	0,55	0,80	22	4,2		24	4	975,7	3903,0
Balok Induk BI X 3	0,40	0,60	22	4,3		24	3	544,9	1634,7
Balok Induk BI Y 1	0,55	0,70	28	3		24	3	776,2	2328,5
Balok Induk BI Y 2	0,50	0,70	28	3,2		24	4	752,6	3010,6
Balok Induk BI Y 3	0,35	0,50	28	3,3		24	3	388,1	1164,2
Balok Anak B1	0,30	0,50	14	3,4		24	3	171,4	514,1
Balok Anak B2	0,25	0,45	14	3,45		24	4	130,4	521,6
Balok Anak B3	0,20	0,40	14	3,6		24	3	96,8	290,3
Kolom K1	1,00	1,00	32	4		24	3	3072,0	9216,0
Kolom K2	0,80	0,80	32	4		24	4	1966,1	7864,3
Kolom K3	0,70	0,70	32	4		24	3	1505,3	3763,2
Pelat P1/P2/P3	0,11				420	24	10	1108,8	9926,4
Total								12502,0	47178,2

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berat Struktur Bangunan Hasil Analisis Manual

Tabel 4. 31 Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung B Hasil Analisis Manual

Lantai	Berat (kN)
1	1694,46
2	1694,46
3	1613,71
4	1613,71
5	1613,71
6	1613,71
7	1613,71
8	1613,71
9	1857,66
10	397,35
Berat Elemen Struktur	47178,2
TOTAL	62504,39

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berat Struktur Bangunan Hasil *Software* ETABS

Tabel 4. 32 Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung B Hasil Analisis *Software* ETABS

<i>Output Case</i>	<i>Case Type</i>	<i>F_z</i> (kN)
Dead	LinStatic	49340,83
Live	LinStatic	6577,20
SiDL	LinStatic	6809,70
TOTAL		62727,73

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Perbandingan Hasil Analisis Manual dengan Hasil *Software* ETABS

Tabel 4. 33 Perbandingan Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung B Hasil Analisis Manual dan *Software* ETABS

Berat Struktur (kN)		Selisih (%)	Cek < 5%
Analisis Manual	Analisis <i>Software</i> ETABS		
62504,39	62727,73	0,36	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.33 menunjukkan hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh persentase selisih sebesar 0,36% yang didapatkan dari perhitungan berikut:

$$\frac{\frac{(Manual-ETABS)}{Manual} \times 100\%}{(62504,39 \text{ kN} - 62727,73 \text{ kN}) / 62504,39 \text{ kN}} \times 100\% < 5\%$$

$$0,36\% < 5\% \text{ (OK)}$$

Nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi yang telah ditetapkan, sehingga dapat dinyatakan bahwa hasil perhitungan yang diperoleh masih memenuhi kriteria yang dipersyaratkan.

3. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 2 (Gedung C)

Luas Area Bangunan

$$\begin{aligned} \text{Panjang} \times \text{Lebar} &= 28 \text{ m} \times 15 \text{ m} \\ &= 420 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Beban Mati Tambahan (SiDL)

Lantai 1 – 9

Keramik	$= 0,24 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 98,9 \text{ kN}$
Spesi	$= 0,41 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 173,0 \text{ kN}$
Plafond	$= 0,11 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 45,3 \text{ kN}$
Penggantung	$= 0,07 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 28,8 \text{ kN}$
Sanitasi	$= 0,20 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 82,4 \text{ kN}$
MEP	$= 0,39 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 164,8 \text{ kN}$
Dinding Eksterior	$= 2,45 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 20$	$= 784,5 \text{ kN}$
Dinding Interior	$= 1,18 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 22$	$= 414,2 \text{ kN}$

$$\begin{aligned} \text{Pengurangan Beban Void Gedung C} &= 1791,9 \text{ kN} \times 19,05\% \\ &= 341,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Beban Mati Tambahan (SiDL)} &= 1791,9 \text{ kN} - 341,4 \text{ kN} \\ &= 1450,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Total Beban Mati Tambahan Lantai 1 – 9} = 13054,7 \text{ kN}$$

Lantai 10

Plafond	$= 0,11 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 45,3 \text{ kN}$
Penggantung	$= 0,07 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 28,8 \text{ kN}$
MEP	$= 0,39 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 164,8 \text{ kN}$
Aspal	$= 0,14 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 57,7 \text{ kN}$

$$\text{Total Beban Mati Tambahan (SiDL)} = 296,6 \text{ kN}$$

Beban Hidup (LL)

Lantai 1 – 2

$$\text{Beban Hidup Lantai 1 – 2} = 0,25 \times 2,87 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2 \times 2 = 602,7 \text{ kN}$$

Lantai 3 – 8

Beban Hidup Lantai 3 – 8 = $0,25 \times 1,18 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2 \times 6 = 1209,6 \text{ kN}$

Lantai 9

Beban Hidup Lantai 9 = $0,25 \times 4,79 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2 = 503,0 \text{ kN}$

Lantai 10

Beban Hidup Lantai 10 = $0,25 \times 0,96 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2 = 100,8 \text{ kN}$

Pengurangan beban *void* Gedung C pada lantai 1 – 9 sebesar 19,05%.

Berat Sendiri Struktur (DL)

Tabel 4. 34 Berat Elemen Struktur Bangunan Pemodelan Gedung C

Tipe Elemen	Dimensi		Jumlah/ Lantai	Panjang/ Tinggi	Luas Area	Berat	Total Lantai	Nilai	Nilai Total
	m			m	m ²	kN/m ³		kN	kN
Balok Induk BI X 1	0,60	0,80	22	4		24	3	1013,8	3041,3
Balok Induk BI X 2	0,55	0,80	22	4,2		24	4	975,7	3903,0
Balok Induk BI X 3	0,40	0,60	22	4,3		24	3	544,9	1634,7
Balok Induk BI Y 1	0,55	0,70	28	3		24	3	776,2	2328,5
Balok Induk BI Y 2	0,50	0,70	28	3,2		24	4	752,6	3010,6
Balok Induk BI Y 3	0,35	0,50	28	3,3		24	3	388,1	1164,2
Balok Anak B1	0,30	0,50	14	3,4		24	3	171,4	514,1
Balok Anak B2	0,25	0,45	14	3,45		24	4	130,4	521,6
Balok Anak B3	0,20	0,40	14	3,6		24	3	96,8	290,3
Kolom K1	1,00	1,00	32	4		24	3	3072,0	9216,0
Kolom K2	0,80	0,80	32	4		24	4	1966,1	7864,3
Kolom K3	0,70	0,70	32	4		24	3	1505,3	3763,2
Pelat P1/P2/P3	0,11				420	24	10	1108,8	9926,4
Total								12502,0	47178,2

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berat Struktur Bangunan Hasil Analisis Manual

Tabel 4. 35 Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung C Hasil Analisis Manual

Lantai	Berat (kN)
1	1694,46
2	1694,46
3	1613,71
4	1613,71
5	1613,71
6	1613,71
7	1613,71
8	1613,71
9	1857,66
10	397,35
Berat Elemen Struktur	47178,2
TOTAL	62504,39

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berat Struktur Bangunan Hasil *Software* ETABS

Tabel 4. 36 Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung C Hasil Analisis *Software* ETABS

<i>Output Case</i>	<i>Case Type</i>	<i>F_z</i> (kN)
Dead	LinStatic	49340,83
Live	LinStatic	6577,20
SiDL	LinStatic	6809,70
TOTAL		62727.73

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Perbandingan Hasil Analisis Manual dengan Hasil *Software* ETABS

Tabel 4. 37 Perbandingan Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung C Hasil Analisis Manual dan *Software* ETABS

Berat Struktur (kN)		Selisih (%)	Cek < 5%
Analisis Manual	Analisis <i>Software</i> ETABS		
62504,39	62727,73	0,36	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.37 menunjukkan hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh persentase selisih sebesar 0,36% yang didapatkan dari perhitungan berikut:

$$\frac{(Manual-ETABS)}{Manual} \times 100\% < 5\%$$

$$\frac{(62504,39 \text{ kN} - 62727,73 \text{ kN})}{62504,39 \text{ kN}} \times 100\% < 5\%$$

$$0,36\% < 5\% \text{ (OK)}$$

Nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi yang telah ditetapkan, sehingga dapat dinyatakan bahwa hasil perhitungan yang diperoleh masih memenuhi kriteria yang dipersyaratkan.

4. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 3 (Gedung D)

Luas Area Bangunan

$$\begin{aligned} \text{Panjang} \times \text{Lebar} &= 28 \text{ m} \times 15 \text{ m} \\ &= 420 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Beban Mati Tambahan (SiDL)

Lantai 1 – 9

Keramik	$= 0,24 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 98,9 \text{ kN}$
Spesi	$= 0,41 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 173,0 \text{ kN}$
Plafond	$= 0,11 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 45,3 \text{ kN}$
Penggantung	$= 0,07 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 28,8 \text{ kN}$
Sanitasi	$= 0,20 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 82,4 \text{ kN}$
MEP	$= 0,39 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 164,8 \text{ kN}$
Dinding Eksterior	$= 2,45 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 20$	$= 784,5 \text{ kN}$
Dinding Interior	$= 1,18 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 22$	$= 414,2 \text{ kN}$

$$\begin{aligned} \text{Pengurangan Beban Void Gedung D} &= 1791,9 \text{ kN} \times 15,24\% \\ &= 273,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Beban Mati Tambahan (SiDL)} &= 1791,9 \text{ kN} - 273,1 \text{ kN} \\ &= 1518,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Total Beban Mati Tambahan Lantai 1 – 9} = 13669,1 \text{ kN}$$

Lantai 10

Plafond	$= 0,11 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 45,3 \text{ kN}$
Penggantung	$= 0,07 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 28,8 \text{ kN}$
MEP	$= 0,39 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 164,8 \text{ kN}$
Aspal	$= 0,14 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 57,7 \text{ kN}$

$$\text{Total Beban Mati Tambahan (SiDL)} = 296,6 \text{ kN}$$

Beban Hidup (LL)

Lantai 1 – 2

$$\text{Beban Hidup Lantai 1 – 2} = 0,25 \times 2,87 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2 \times 2 = 602,7 \text{ kN}$$

Lantai 3 – 8

$$\text{Beban Hidup Lantai 3 – 8} = 0,25 \times 1,18 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2 \times 6 = 1209,6 \text{ kN}$$

Lantai 9

$$\text{Beban Hidup Lantai 9} = 0,25 \times 4,79 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2 = 503,0 \text{ kN}$$

Lantai 10

$$\text{Beban Hidup Lantai 10} = 0,25 \times 0,96 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2 = 100,8 \text{ kN}$$

Pengurangan beban void Gedung D pada lantai 1 – 9 sebesar 15,24%.

Berat Sendiri Struktur (DL)

Tabel 4. 38 Berat Elemen Struktur Bangunan Pemodelan Gedung D

Tipe Elemen	Dimensi		Jumlah/ Lantai	Panjang/ Tinggi	Luas Area	Berat	Total Lantai	Nilai	Nilai Total
	m			m	m ²	kN/m ³		kN	kN
Balok Induk BI X 1	0,60	0,80	23	4		24	3	1059,8	3179,5
Balok Induk BI X 2	0,55	0,80	23	4,2		24	4	1020,1	4080,4
Balok Induk BI X 3	0,40	0,60	23	4,3		24	3	569,7	1709,0
Balok Induk BI Y 1	0,55	0,70	28	3		24	3	776,2	2328,5
Balok Induk BI Y 2	0,50	0,70	28	3,2		24	4	752,6	3010,6
Balok Induk BI Y 3	0,35	0,50	28	3,3		24	3	388,1	1164,2
Balok Anak B1	0,30	0,50	16	3,4		24	3	195,8	587,5
Balok Anak B2	0,25	0,45	16	3,45		24	4	149,0	596,2
Balok Anak B3	0,20	0,40	16	3,6		24	3	110,6	331,8
Kolom K1	1,00	1,00	32	4		24	3	3072,0	9216,0
Kolom K2	0,80	0,80	32	4		24	4	1966,1	7864,3
Kolom K3	0,70	0,70	32	4		24	3	1505,3	3763,2
Pelat P1/P2/P3	0,11				420	24	10	1108,8	10348,8
Total								12674,1	48180,0

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berat Struktur Bangunan Hasil Analisis Manual

Tabel 4. 39 Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung D Hasil Analisis Manual

Lantai	Berat (kN)
1	1774,21
2	1774,21
3	1689,67
4	1689,67
5	1689,67
6	1689,67
7	1689,67
8	1689,67
9	1945,09
10	397,35
Berat Elemen Struktur	48180,0
TOTAL	64208,82

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berat Struktur Bangunan Hasil *Software* ETABS

Tabel 4. 40 Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung D Hasil Analisis *Software* ETABS

<i>Output Case</i>	<i>Case Type</i>	<i>F_z</i> (kN)
Dead	LinStatic	49165,73
Live	LinStatic	7459,20
SiDL	LinStatic	7317,30
TOTAL		63942,23

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Perbandingan Hasil Analisis Manual dengan Hasil *Software* ETABS

Tabel 4. 41 Perbandingan Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung D Hasil Analisis Manual dan *Software* ETABS

Berat Struktur (kN)		Selisih (%)	Cek < 5%
Analisis Manual	Analisis <i>Software</i> ETABS		
64208,82	63942,23	0,42	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.41 menunjukkan hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh persentase selisih sebesar 0,42% yang didapatkan dari perhitungan berikut:

$$\frac{\frac{(Manual-ETABS)}{Manual} \times 100\%}{(64208,82 \text{ kN} - 63942,23 \text{ kN}) \times 100\%} < 5\%$$

$$\frac{0,42\%}{0,42\%} < 5\% \text{ (OK)}$$

Nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi yang telah ditetapkan, sehingga dapat dinyatakan bahwa hasil perhitungan yang diperoleh masih memenuhi kriteria yang dipersyaratkan.

5. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 4 (Gedung E)

Luas Area Bangunan

$$\begin{aligned} \text{Panjang} \times \text{Lebar} &= 28 \text{ m} \times 15 \text{ m} \\ &= 420 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Beban Mati Tambahan (SiDL)

Lantai 1 – 9

Keramik	$= 0,24 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 98,9 \text{ kN}$
Spesi	$= 0,41 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 173,0 \text{ kN}$
Plafond	$= 0,11 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 45,3 \text{ kN}$
Penggantung	$= 0,07 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 28,8 \text{ kN}$
Sanitasi	$= 0,20 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 82,4 \text{ kN}$
MEP	$= 0,39 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 164,8 \text{ kN}$
Dinding Eksterior	$= 2,45 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 20$	$= 784,5 \text{ kN}$
Dinding Interior	$= 1,18 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 22$	$= 414,2 \text{ kN}$

$$\begin{aligned} \text{Pengurangan Beban Void Gedung E} &= 1791,9 \text{ kN} \times 15,24\% \\ &= 273,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Beban Mati Tambahan (SiDL)} &= 1791,9 \text{ kN} - 273,1 \text{ kN} \\ &= 1518,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Total Beban Mati Tambahan Lantai 1 – 9} = 13669,1 \text{ kN}$$

Lantai 10

Plafond	$= 0,11 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 45,3 \text{ kN}$
Penggantung	$= 0,07 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 28,8 \text{ kN}$
MEP	$= 0,39 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 164,8 \text{ kN}$
Aspal	$= 0,14 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2$	$= 57,7 \text{ kN}$

$$\text{Total Beban Mati Tambahan (SiDL)} = 296,6 \text{ kN}$$

Beban Hidup (LL)

Lantai 1 – 2

$$\text{Beban Hidup Lantai 1 – 2} = 0,25 \times 2,87 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2 \times 2 = 602,7 \text{ kN}$$

Lantai 3 – 8

Beban Hidup Lantai 3 – 8 = $0,25 \times 1,18 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2 \times 6 = 1209,6 \text{ kN}$

Lantai 9

Beban Hidup Lantai 9 = $0,25 \times 4,79 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2 = 503,0 \text{ kN}$

Lantai 10

Beban Hidup Lantai 10 = $0,25 \times 0,96 \text{ kN/m}^2 \times 420 \text{ m}^2 = 100,8 \text{ kN}$

Pengurangan beban void Gedung E pada lantai 1 – 9 sebesar 15,24%.

Berat Sendiri Struktur (DL)

Tabel 4. 42 Berat Elemen Struktur Bangunan Pemodelan Gedung E

Tipe Elemen	Dimensi		Jumlah/ Lantai	Panjang/ Tinggi	Luas Area	Berat	Total Lantai	Nilai	Nilai Total
	m			m	m ²	kN/m ³		kN	kN
Balok Induk BI X 1	0,60	0,80	23	4		24	3	1059,8	3179,5
Balok Induk BI X 2	0,55	0,80	23	4,2		24	4	1020,1	4080,4
Balok Induk BI X 3	0,40	0,60	23	4,3		24	3	569,7	1709,0
Balok Induk BI Y 1	0,55	0,70	28	3		24	3	776,2	2328,5
Balok Induk BI Y 2	0,50	0,70	28	3,2		24	4	752,6	3010,6
Balok Induk BI Y 3	0,35	0,50	28	3,3		24	3	388,1	1164,2
Balok Anak B1	0,30	0,50	16	3,4		24	3	195,8	587,5
Balok Anak B2	0,25	0,45	16	3,45		24	4	149,0	596,2
Balok Anak B3	0,20	0,40	16	3,6		24	3	110,6	331,8
Kolom K1	1,00	1,00	32	4		24	3	3072,0	9216,0
Kolom K2	0,80	0,80	32	4		24	4	1966,1	7864,3
Kolom K3	0,70	0,70	32	4		24	3	1505,3	3763,2
Pelat P1/P2/P3	0,11				420	24	10	1108,8	10348,8
Total								12674,1	48180,0

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berat Struktur Bangunan Hasil Analisis Manual

Tabel 4. 43 Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung E Hasil Analisis Manual

Lantai	Berat (kN)
1	1774,21
2	1774,21
3	1689,67
4	1689,67
5	1689,67
6	1689,67
7	1689,67
8	1689,67
9	1945,09
10	397,35
Berat Elemen Struktur	48180,0
TOTAL	64208,82

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berat Struktur Bangunan Hasil *Software* ETABS

Tabel 4. 44 Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung E Hasil Analisis *Software* ETABS

<i>Output Case</i>	<i>Case Type</i>	<i>F_z</i> (kN)
Dead	LinStatic	49165,73
Live	LinStatic	7459,20
SiDL	LinStatic	7317,30
TOTAL		63942,23

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Perbandingan Hasil Analisis Manual dengan Hasil *Software* ETABS

Tabel 4. 45 Perbandingan Berat Struktur Bangunan Pemodelan Gedung E Hasil Analisis Manual dan *Software* ETABS

Berat Struktur (kN)		Selisih (%)	Cek < 5%
Analisis Manual	Analisis <i>Software</i> ETABS		
64208,82	63942,23	0,42	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.45 menunjukkan hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh persentase selisih sebesar 0,42% yang didapatkan dari perhitungan berikut:

$$\frac{(Manual-ETABS)}{Manual} \times 100\% < 5\%$$

$$\frac{(64208,82 \text{ kN} - 63942,23 \text{ kN})}{64208,82 \text{ kN}} \times 100\% < 5\%$$

$$0,42\% < 5\% \text{ (OK)}$$

Nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi yang telah ditetapkan, sehingga dapat dinyatakan bahwa hasil perhitungan yang diperoleh masih memenuhi kriteria yang dipersyaratkan.

6. Rekapitulasi Berat Struktur Bangunan Setiap Pemodelan

Tabel 4. 46 Rekapitulasi Berat Struktur Bangunan Setiap Pemodelan
Hasil Analisis Manual dan *Software* ETABS

Variasi Pemodelan	Berat Struktur (kN)		Selisih (%)	Cek (< 5%)
	Analisis Manual	Analisis <i>Software</i> ETABS		
Gedung A	68622,13	68111,95	0,74	OK
Gedung B	62504,39	62727,73	0,36	OK
Gedung C	62504,39	62727,73	0,36	OK
Gedung D	64208,82	63942,23	0,42	OK
Gedung E	64208,82	63942,23	0,42	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

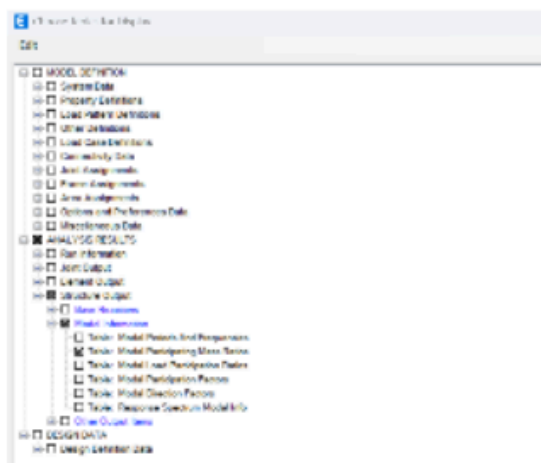
Berdasarkan Tabel 4.46 menunjukkan hasil analisis yang telah dilakukan, perbedaan berat struktur antara perhitungan manual dan hasil pemodelan menggunakan *software* ETABS v.22 menunjukkan nilai yang relatif kecil, yaitu kurang dari 5% (Suprayitno dkk., 2025). Hasil tersebut menunjukkan bahwa seluruh sistem struktur pada setiap model dengan variasi luas dan posisi *void* dan tanpa *void* masih berada dalam batas toleransi yang diperkenankan. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa output yang dihasilkan dari *software* ETABS v.22 memiliki tingkat konsistensi dan akurasi yang baik, sehingga analisis dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya.

4.5.2 Kontrol Partisipasi Massa

Kontrol partisipasi massa merupakan parameter yang menunjukkan seberapa besar kontribusi massa struktur bangunan terhadap respons getaran

ketika terjadi gempa. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1, nilai partisipasi massa perlu dikontrol agar hasil analisis menghasilkan jumlah ragam atau kombinasi ragam yang mampu mewakili paling sedikit 90% dari massa aktual bangunan. Hal ini bertujuan agar analisis dinamik yang dilakukan dapat menggambarkan perilaku struktur secara lebih akurat saat menerima beban gempa.

Pada *software* ETABS v.22, nilai partisipasi massa dapat diketahui melalui tampilan tabel hasil analisis. Langkah yang dilakukan yaitu dengan memilih menu *Display*, kemudian *Show Tables*, selanjutnya masuk ke bagian *Analysis Result*, lalu *Structure Output*, dan memilih *Modal Information*. Setelah itu, nilai partisipasi massa dapat dilihat pada bagian *Modal Participating Mass Ratios*.



Gambar 4. 38 Step Output Partisipasi Massa pada ETABS

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

1. Struktur SRPMK Tanpa Void (Gedung A)

Tabel 4. 47 Kontrol Partisipasi Massa Pemodelan Gedung A

Modal	Periode (detik)	UX (%)	UY (%)	Sum _{UX} (%)	Sum _{UY} (%)	Mode Shape
1	1,096	0	0,706	0,00%	70,60%	1
2	1,095	0,7099	0	70,99%	70,60%	
3	0,962	0	0	70,99%	70,60%	
4	0,433	0	0,1217	70,99%	82,77%	2
5	0,424	0,1215	0	83,14%	82,77%	
6	0,378	0	0	83,14%	82,77%	
7	0,242	0	0,0713	83,14%	89,90%	3
8	0,238	0,0688	0	90,02%	89,90%	
9	0,216	0	0	90,02%	89,90%	
10	0,151	0	0,0307	90,02%	92,97%	4
11	0,15	0,0305	0	93,06%	92,97%	
12	0,137	0	0	93,06%	92,97%	

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 4.47, diperoleh nilai partisipasi massa pada arah x sebesar 93,06% pada modal ke-11, sedangkan pada arah y juga sebesar 92,97% pada modal ke-10 yang berada pada *mode shape* ke-4.

2. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 1 (Gedung B)

Tabel 4. 48 Kontrol Partisipasi Massa Pemodelan Gedung B

Modal	Periode (detik)	UX (%)	UY (%)	SumUX (%)	SumUY (%)	Mode Shape
1	1,142	0,7021	0	70,21%	0,00%	1
2	1,035	0	0,7051	70,21%	70,51%	
3	0,952	0	0	70,21%	70,51%	
4	0,439	0,1254	0	82,75%	70,51%	2
5	0,415	0	0,1215	82,75%	82,66%	
6	0,376	0	0	82,75%	82,66%	
7	0,242	0,0698	0	89,72%	82,66%	3
8	0,232	0	0,0728	89,72%	89,94%	
9	0,214	0	0	89,72%	89,94%	
10	0,15	0,0317	0	92,89%	89,94%	4
11	0,146	0	0,0306	92,89%	93,00%	
12	0,135	0	0	92,89%	93,00%	

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 4.48, diperoleh nilai partisipasi massa pada arah x sebesar 92,89% pada modal ke-10, sedangkan pada arah y juga sebesar 93,00% pada modal ke-11 yang berada pada *mode shape* ke-4.

3. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 2 (Gedung C)

Tabel 4. 49 Kontrol Partisipasi Massa Pemodelan Gedung C

Modal	Periode (detik)	UX (%)	UY (%)	SumUX (%)	SumUY (%)	Mode Shape
1	1,142	0,7021	0	70,21%	0,00%	1
2	1,035	0	0,705	70,21%	70,50%	
3	0,973	0	0	70,21%	70,50%	
4	0,439	0,1253	0	82,75%	70,50%	2
5	0,415	0	0,1217	82,75%	82,66%	
6	0,383	0	0	82,75%	82,66%	
7	0,242	0,0698	0	89,72%	82,66%	3
8	0,232	0	0,0728	89,72%	89,94%	
9	0,218	0	0	89,72%	89,94%	
10	0,15	0,0317	0	92,89%	89,94%	4
11	0,146	0	0,0306	92,89%	93,00%	
12	0,138	0	0	92,89%	93,00%	

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 4.49, diperoleh nilai partisipasi massa pada arah x sebesar 92,89% pada modal ke-10, sedangkan pada arah y juga sebesar 93,00% pada modal ke-11 yang berada pada *mode shape* ke-4.

4. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 3 (Gedung D)

Tabel 4. 50 Kontrol Partisipasi Massa Pemodelan Gedung D

Modal	Periode (detik)	UX (%)	UY (%)	Sumux (%)	Sumuy (%)	Mode Shape
1	1,102	0,706	0	70,60%	0,00%	1
2	1,053	0	0,7049	70,60%	70,49%	
3	0,96	0	0	70,60%	70,49%	
4	0,427	0,1231	0	82,91%	70,49%	2
5	0,421	0	0,1219	82,91%	82,68%	
6	0,378	0	0	82,91%	82,68%	
7	0,238	0,0696	0	89,87%	82,68%	3
8	0,235	0	0,0724	89,87%	89,91%	
9	0,215	0	0	89,87%	89,91%	
10	0,148	0,0311	0	92,98%	89,91%	4
11	0,147	0	0,0307	92,98%	92,98%	
12	0,136	0	0	92,98%	92,98%	

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 4.50, diperoleh nilai partisipasi massa pada arah x sebesar 92,98% pada modal ke-10, sedangkan pada arah y juga sebesar 92,98% pada modal ke-11 yang berada pada *mode shape* ke-4.

5. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 4 (Gedung E)

Tabel 4. 51 Kontrol Partisipasi Massa Pemodelan Gedung E

Modal	Periode (detik)	UX (%)	UY (%)	Sumux (%)	Sumuy (%)	Mode Shape
1	1,102	0,706	0	70,60%	0,00%	1
2	1,053	0	0,705	70,60%	70,50%	
3	0,939	0	0	70,60%	70,50%	
4	0,427	0,1231	0	82,91%	70,50%	2
5	0,421	0	0,1217	82,91%	82,67%	
6	0,371	0	0	82,91%	82,67%	
7	0,238	0,0696	0	89,87%	82,67%	3
8	0,235	0	0,0724	89,87%	89,91%	
9	0,211	0	0	89,87%	89,91%	
10	0,148	0,0311	0	92,98%	89,91%	4
11	0,147	0	0,0307	92,98%	92,98%	
12	0,134	0	0	92,98%	92,98%	

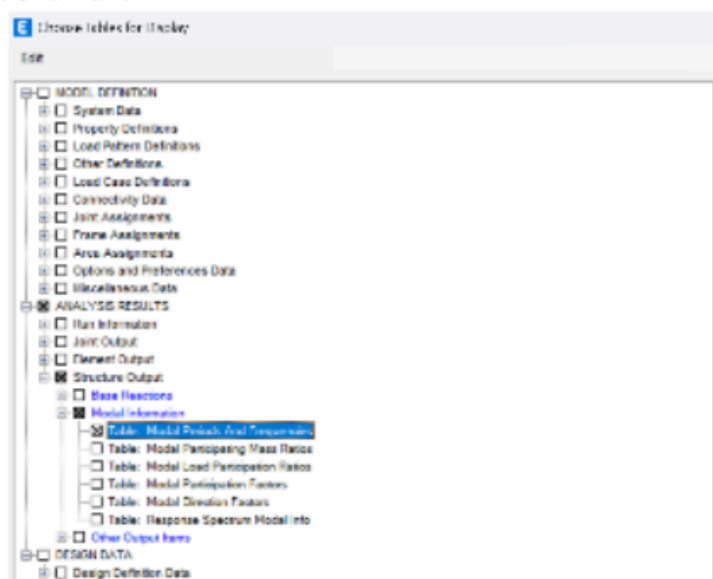
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 4.51, diperoleh nilai partisipasi massa pada arah x sebesar 92,98% pada modal ke-10, sedangkan pada arah y juga sebesar 92,98% pada modal ke-11 yang berada pada *mode shape* ke-4.

Berdasarkan Tabel 4.47 hingga Tabel 4.51, hasil kontrol partisipasi massa menunjukkan bahwa setiap pemodelan dengan variasi luas dan letak *void*, maupun model tanpa *void*, telah memenuhi ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1. Hasil penelitian ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Pangestuti dkk., (2025), yang menunjukkan bahwa nilai partisipasi massa pada mode pertama dan kedua berada pada kisaran 70% hingga 75%, sedangkan akumulasi partisipasi massa gabungan telah melampaui 90% pada mode ke-10 dan seterusnya, baik pada arah X maupun arah Y . Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa keberadaan *void* pada struktur bangunan turut memengaruhi karakteristik modal serta distribusi partisipasi massa struktur terhadap respons gempa.

4.5.3 Kontrol Periode Fundamental

Kontrol periode fundamental struktur dilakukan untuk memastikan bahwa nilai periode fundamental tidak melampaui batas yang telah ditetapkan dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2. Nilai periode yang diperoleh dari hasil analisis tidak diperkenankan melebihi nilai $(C_u \times T_a)$. Kontrol periode efektif ini bertujuan untuk menjaga keseimbangan antara tingkat kekakuan dan kelenturan struktur, sehingga respons seismik yang dihasilkan tetap berada dalam kondisi aman.



Gambar 4. 39 Step Output Periode Fundamental pada ETABS
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Pada *software* ETABS v.22, nilai periode fundamental struktur dapat diketahui melalui tampilan tabel hasil analisis. Langkah yang dilakukan yaitu dengan memilih menu *Display*, kemudian *Show Tables*, selanjutnya masuk ke bagian *Analysis Result*, lalu *Structure Output*, dan memilih *Modal Information*. Setelah itu, nilai periode fundamental struktur dapat dilihat pada bagian *Modal Periods and Frequencies*.

1. Struktur SRPMK Tanpa *Void* (Gedung A)

Tabel 4. 52 Periode Fundamental Pemodelan Gedung A Hasil Analisis Manual

C_t	h_n (m)	x	T_a (detik)	C_u	T_{max} (detik)
0,0466	50	0,9	1,576	1,4	2,206

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 53 Periode Fundamental Pemodelan Gedung A Hasil Analisis *Software* ETABS

T_a arah x (detik)	T_a arah y (detik)
1,101	1,102

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 4.52 dan Tabel 4.53, diperoleh nilai dari perhitungan manual sebesar $T_a = 1,576$ s dan nilai $T_{max} = 2,206$ s yang didapatkan dari perhitungan berikut:

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

$$= 0,0466 \times 50^{0,9}$$

$$= 1,576 \text{ s}$$

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

$$= 1,4 \times 1,576$$

$$= 2,206 \text{ s}$$

Sementara itu, berdasarkan hasil analisis *software* ETABS v.22, diperoleh nilai T_a struktur pada arah x sebesar 1,101 s dan arah y sebesar 1,102 s.

2. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 1 (Gedung B)

Tabel 4. 54 Periode Fundamental Pemodelan Gedung B Hasil Analisis Manual

C_t	h_n (m)	x	T_a (detik)	C_u	T_{max} (detik)
0,0466	50	0,9	1,576	1,4	2,206

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 55 Periode Fundamental Pemodelan Gedung B Hasil Analisis
Software ETABS

	T_a arah x (detik)	T_a arah y (detik)
27	1,142	1,035

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 4.54 dan Tabel 4.55, diperoleh nilai dari perhitungan manual sebesar $T_a = 1,576$ s dan nilai $T_{max} = 2,206$ s yang didapatkan dari perhitungan berikut:

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

$$= 0,0466 \times 50^{0,9}$$

$$17 = 1,576 \text{ s}$$

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

$$= 1,4 \times 1,576$$

$$= 2,206 \text{ s}$$

Sementara itu, berdasarkan hasil analisis *software ETABS v.22*, diperoleh nilai T_a struktur pada arah x sebesar 1,142 s dan arah y sebesar 1,035 s.

3. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 2 (Gedung C)

Tabel 4. 56 Periode Fundamental Pemodelan Gedung C Hasil Analisis
Manual

C_t	h_n (m)	x	T_a (detik)	C_u	T_{max} (detik)
0,0466	50	0,9	1,576	1,4	2,206

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 57 Periode Fundamental Pemodelan Gedung C Hasil Analisis
Software ETABS

	T_a arah x (detik)	T_a arah y (detik)
27	1,142	1,035

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 4.56 dan Tabel 4.57, diperoleh nilai dari perhitungan manual sebesar $T_a = 1,576$ s dan nilai $T_{max} = 2,206$ s yang didapatkan dari perhitungan berikut:

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

$$= 0,0466 \times 50^{0,9}$$

$$17 = 1,576 \text{ s}$$

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

$$= 1,4 \times 1,576$$

$$= 2,206 \text{ s}$$

Sementara itu, berdasarkan hasil analisis *software* ETABS v.22, diperoleh nilai T_a struktur pada arah x sebesar 1,142 s dan arah y sebesar 1,035 s.

4. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 3 (Gedung D)

Tabel 4. 58 Periode Fundamental Pemodelan Gedung D Hasil Analisis Manual

C_t	h_n (m)	x	T_a (detik)	C_u	T_{max} (detik)
0,0466	50	0,9	1,576	1,4	2,206

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 59 Periode Fundamental Pemodelan Gedung D Hasil Analisis *Software* ETABS

T_a arah x (detik)	T_a arah y (detik)
1,102	1,053

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 4.58 dan Tabel 4.59, diperoleh nilai dari perhitungan manual sebesar $T_a = 1,576$ s dan nilai $T_{max} = 2,206$ s yang didapatkan dari perhitungan berikut:

$$\begin{aligned}
 T_a &= C_t \times h_n^x \\
 &= 0,0466 \times 50^{0,9} \\
 &= 1,576 \text{ s} \\
 T_{max} &= C_u \times T_a \\
 &= 1,4 \times 1,576 \\
 &= 2,206 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Sementara itu, berdasarkan hasil analisis *software* ETABS v.22, diperoleh nilai T_a struktur pada arah x sebesar 1,102 s dan arah y sebesar 1,053 s.

5. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 4 (Gedung E)

Tabel 4. 60 Periode Fundamental Pemodelan Gedung E Hasil Analisis Manual

C_t	h_n (m)	x	T_a (detik)	C_u	T_{max} (detik)
0,0466	50	0,9	1,576	1,4	2,206

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 61 Periode Fundamental Pemodelan Gedung E Hasil Analisis *Software* ETABS

T_a arah x (detik)	T_a arah y (detik)
1,102	1,053

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 4.60 dan Tabel 4.61, diperoleh nilai dari perhitungan manual sebesar $T_a = 1,576$ s dan nilai $T_{max} = 2,206$ s yang didapatkan dari perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} T_a &= C_t \times h_n^x \\ &= 0,0466 \times 50^{0,9} \\ &= 1,576 \text{ s} \\ T_{max} &= C_u \times T_a \\ &= 1,4 \times 1,576 \\ &= 2,206 \text{ s} \end{aligned}$$

Sementara itu, berdasarkan hasil analisis *software* ETABS v.22, diperoleh nilai T_a struktur pada arah x sebesar 1,102 s dan arah y sebesar 1,053 s.

6. Rekapitulasi Periode Fundamental Setiap Pemodelan

Tabel 4. 62 Rekapitulasi Periode Fundamental Setiap Pemodelan Hasil Analisis Manual dan *Software* ETABS

Variasi Pemodelan	Analisis Manual		Analisis <i>Software</i> ETABS		Digunakan
	T_a (detik)	T_{max} (detik)	Periode X (detik)	Periode Y (detik)	
Gedung A	1,576	2,206	1,101	1,102	ETABS
Gedung B	1,576	2,206	1,142	1,035	ETABS
Gedung C	1,576	2,206	1,142	1,035	ETABS
Gedung D	1,576	2,206	1,102	1,053	ETABS
Gedung E	1,576	2,206	1,102	1,053	ETABS

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 63 Perbandingan Periode Fundamental terhadap Pemodelan Gedung A

Variasi Pemodelan	Nilai Perbandingan Terhadap Gedung A	
	Arah X	Arah Y
Gedung B	1,04	0,94
Gedung C	1,04	0,94
Gedung D	1,01	0,96
Gedung E	1,01	0,96

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.52 hingga Tabel 4.63, nilai periode fundamental struktur pada setiap pemodelan, baik dengan variasi luas dan letak *void* maupun pada model tanpa *void*, menunjukkan bahwa keberadaan *void*

dapat memengaruhi besarnya periode fundamental bangunan. Perbandingan dilakukan dengan menggunakan model Gedung A sebagai acuan terhadap variasi pemodelan lainnya. Dari hasil tersebut diperoleh nilai perbandingan sebesar 1,04 kali pada arah x dan 0,94 kali pada arah y terhadap Gedung B, 1,04 kali pada arah x dan 0,94 kali pada arah y terhadap Gedung C, 1,01 kali pada arah x dan 0,96 kali pada arah y terhadap Gedung D, dan 1,01 kali pada arah x dan 0,96 kali pada arah y terhadap Gedung E. Adapun contoh perhitungan perbandingan pada pemodelan Gedung B sebagai berikut:

Nilai Perbandingan

$$\begin{aligned} \text{Gedung B terhadap Gedung A} &= \frac{T_a \text{ Pakai Gedung B}}{T_a \text{ Pakai Gedung A}} \\ &= \frac{1,142 \text{ s}}{1,095 \text{ s}} \\ &= 1,04 \end{aligned}$$

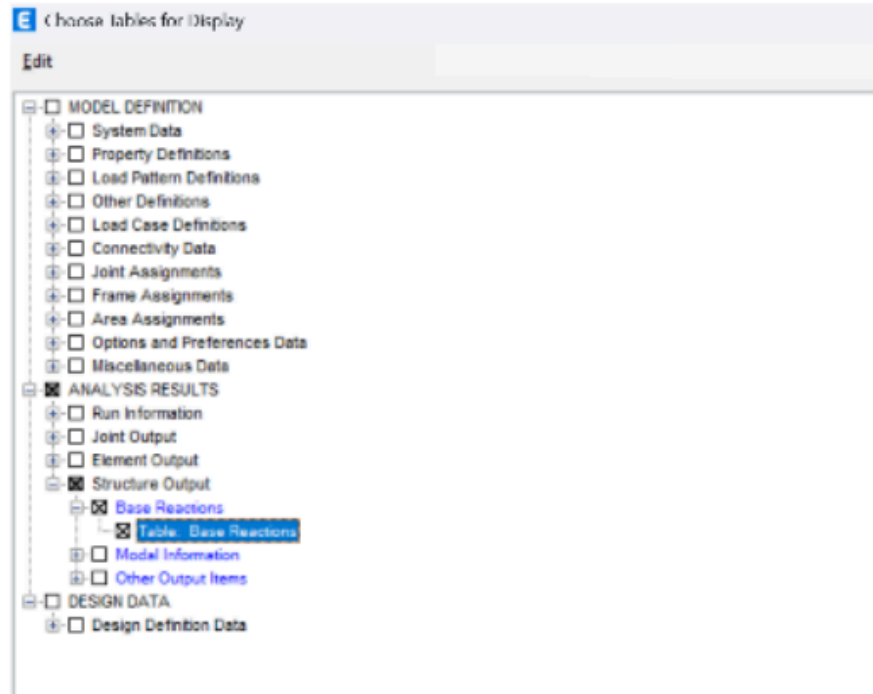
Hasil penelitian ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Pangestuti dkk., (2025), adanya perbedaan nilai periode mengindikasikan bahwa terdapat hubungan antara tingkat kekakuan struktur dengan perubahan nilai periode, baik yang mengalami peningkatan maupun penurunan.

4.5.4 Kontrol Gaya Geser Dasar

Kontrol gaya geser dasar merupakan upaya untuk mengendalikan besarnya gaya geser total yang bekerja pada bagian dasar struktur akibat pengaruh beban lateral, seperti gempa dan angin, agar tetap berada dalam batas yang diperbolehkan sesuai ketentuan peraturan perencanaan. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4, nilai gaya geser dasar hasil analisis dinamik tidak boleh lebih kecil dari 100% gaya geser dasar statik. Apabila nilai gaya geser dinamik lebih kecil dari batas tersebut, maka perlu dilakukan proses penskalaan gaya gempa dengan menggunakan perbandingan ($V_{statik}/V_{dinamik}$). Selain itu, nilai respons spektrum harus dikalikan dengan faktor skala dengan persamaan $SF = (g / (I_e \times R))$. Mengingat beban gempa bekerja pada dua arah utama, yaitu arah x dan y , maka distribusi beban gempa mengikuti ketentuan bahwa apabila ditinjau dari arah x , beban gempa didistribusikan sebesar 100% pada arah x dan 30% pada arah y . Sebaliknya, jika ditinjau dari arah y , maka beban gempa didistribusikan sebesar 100% pada arah y dan 30% pada arah x .

Pada *software* ETABS v.22, nilai gaya geser dari analisis respons spektrum dapat diperoleh melalui tabel hasil analisis. Langkah yang dilakukan adalah membuka menu *Display*, kemudian memilih *Show Tables*, lalu masuk ke bagian *Analysis Result*, dilanjutkan *Structure Output*, dan

memilih *Base Reaction*. Setelah itu, nilai gaya geser dari analisis respons spektrum dapat dilihat dengan menampilkan *Load Cases* yang hanya mencakup beban gempa statik dan dinamik.



Gambar 4. 40 *Step Output* Gaya Geser Dasar pada ETABS
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 64 Nilai *Scale Factor* pada Setiap Pemodelan Gedung

Variasi Pemodelan	g (mm/s ²)	I_e	R	<i>Scale Factor (SF)</i>			
				Arah X		Arah Y	
				U1 (100%) (mm/s ²)	U2 (30%) (mm/s ²)	U2 (100%) (mm/s ²)	U1 (30%) (mm/s ²)
Gedung A	9810	1,50	8	1839,38	551,81	551,81	1839,38
Gedung B	9810	1,50	8	1839,38	551,81	551,81	1839,38
Gedung C	9810	1,50	8	1839,38	551,81	551,81	1839,38
Gedung D	9810	1,50	8	1839,38	551,81	551,81	1839,38
Gedung E	9810	1,50	8	1839,38	551,81	551,81	1839,38

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Adapun contoh perhitungan *scale factor* arah X pada Tabel 4.64 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 U1 (100\%) &= 100\% \times g \times \frac{I_e}{R} \\
 &= 100\% \times 9810 \text{ mm/s}^2 \times \frac{1,50}{8}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1839,38 \text{ mm/s}^2 \\
 \text{U2 (30\%)} &= 30\% \times g \times \frac{I_e}{R} \\
 &= 30\% \times 9810 \text{ mm/s}^2 \times \frac{1,50}{8} \\
 &= 551,81 \text{ mm/s}^2
 \end{aligned}$$

4 Tabel 4. 65 Output Gaya Geser Dasar Sebelum dikali *Scale Factor*

<i>Output Case</i>	<i>Case Type</i>	<i>Step Type</i>	<i>Step Number</i>	<i>F_x</i> (kN)	<i>F_y</i> (kN)
ESX	LinStatic	Step by Step	1	-6075,4	0
ESX	LinStatic	Step by Step	2	-6075,4	0
ESX	LinStatic	Step by Step	3	-6075,4	0
ESY	LinStatic	Step by Step	1	0	-6073,3
ESY	LinStatic	Step by Step	2	0	-6073,3
ESY	LinStatic	Step by Step	3	0	-6073,3
EDX	LinRespSpec	Max		4523,66	1350,57
EDY	LinRespSpec	Max		1357,09	4501,90

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Sebagai contoh, pada pemodelan Gedung A diperoleh nilai gaya geser dinamik yang lebih kecil dibandingkan gaya geser statik sebelum dikalikan dengan *scale factor*. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses penskalaan ulang terhadap gaya gempa dengan menghitung kembali nilai *scale factor* yang baru agar memenuhi ketentuan yang dipersyaratkan melalui perhitungan berikut:

Faktor Skala Gempa Dinamik Arah X

$$\begin{aligned}
 \text{U1 (100\%)} &= SF_x \times V_{sx} / V_{dx} \\
 &= 1839,38 \text{ mm/s}^2 \times 6075,4 \text{ kN} / 4523,66 \text{ kN} \\
 &= 2470,32 \text{ mm/s}^2 \\
 \text{U2 (30\%)} &= 30\% \times SF_x \text{ U1 Baru} \\
 &= 30\% \times 2470,32 \text{ mm/s}^2 \\
 &= 741,09 \text{ mm/s}^2
 \end{aligned}$$

Faktor Skala Gempa Dinamik Arah Y

$$\begin{aligned}
 \text{U2 (100\%)} &= SF_y \times V_{sy} / V_{dy} \\
 &= 1839,38 \text{ mm/s}^2 \times 6073,3 \text{ kN} / 4501,90 \text{ kN} \\
 &= 2481,42 \text{ mm/s}^2 \\
 \text{U1 (30\%)} &= 30\% \times SF_y \text{ U2 Baru} \\
 &= 30\% \times 2481,42 \text{ mm/s}^2 \\
 &= 744,42 \text{ mm/s}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 66 Nilai Scale Factor Penyesuaian pada Setiap Pemodelan Gedung

Variasi Pemodelan	V_{sx}	V_{dx}	V_{sy}	V_{dy}	Scale Factor (SF)			
					Arah X		Arah Y	
					U1 (100%) (mm/s ²)	U2 (30%) (mm/s ²)	U2 (100%) (mm/s ²)	U1 (30%) (mm/s ²)
Gedung A	- 6075,4	4523,66	- 6073,3	4501,90	2470,32	741,09	2481,42	744,42
Gedung B	- 5523,9	4067,47	- 6097,4	4504,85	2498,02	749,40	2489,63	746,89
Gedung C	- 5524,1	4067,63	- 6098,4	4505,08	2497,98	749,39	2489,91	746,97
Gedung D	- 5784,1	4287,19	- 6050,5	4475,32	2481,62	744,49	2486,78	746,03
Gedung E	- 5784,0	4287,06	- 6049,8	4475,33	2481,64	744,49	2486,48	745,94

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 67 Output Gaya Geser Dasar Setelah dikali Scale Factor

Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	F_x (kN)	F_y (kN)
ESX	LinStatic	Step by Step	1	- 6075,4	0
ESX	LinStatic	Step by Step	2	- 6075,4	0
ESX	LinStatic	Step by Step	3	- 6075,4	0
ESY	LinStatic	Step by Step	1	0	- 6073,3
ESY	LinStatic	Step by Step	2	0	- 6073,3
ESY	LinStatic	Step by Step	3	0	- 6073,3
EDX Scale	LinRespSpec	Max		6075,4	1813,8
EDY Scale	LinRespSpec	Max		1830,8	6073,3

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil perhitungan *scale factor* yang baru, diperoleh nilai gaya geser dinamik yang sama dengan nilai gaya geser statik, sehingga kondisi tersebut telah memenuhi ketentuan yang tercantum dalam SNI

1726:2019 Pasal 7.9.1.4. Adapun contoh perhitungan gaya geser pemodelan Gedung A setelah dikalikan dengan *scale factor* yang baru sebagai berikut:

Gaya Geser Dasar Arah X

$$V_{dx} \geq V_{sx}$$

$$6075,4 \text{ kN} \geq 6075,4 \text{ kN (OK)}$$

Gaya Geser Dasar Arah Y

$$V_{dy} \geq V_{sy}$$

$$6073,3 \text{ kN} \geq 6073,3 \text{ kN (OK)}$$

Rekapitulasi nilai gaya geser untuk setiap variasi pemodelan, baik dengan perbedaan luas dan letak *void* maupun pada model tanpa *void*, disajikan pada Tabel 4. 68 berikut.

Tabel 4. 68 Rekapitulasi Gaya Geser Dasar Setiap Pemodelan

Variasi Pemodelan	Output Case	Scale Factor (SF)		F_X (kN)	F_Y (kN)	Cek
		U1	U2			
Gedung A	Statik X	1839,38	551,81	-6075,4	0	OK
	Statik Y	551,81	1839,38	0	-6073,3	
	RespSpec X	2470,32	741,09	6075,4	1813,8	
	RespSpec Y	744,42	2481,42	1830,8	6073,3	
Gedung B	Statik X	1839,38	551,81	-5523,9	0	OK
	Statik Y	551,81	1839,38	0	-6097,4	
	RespSpec X	2498,02	749,40	5523,9	1835,4	
	RespSpec Y	746,89	2489,63	1651,6	6097,4	
Gedung C	Statik X	1839,38	551,81	-5524,1	0	OK
	Statik Y	551,81	1839,38	0	-6098,4	
	RespSpec X	2497,98	749,39	5524,1	1835,4	
	RespSpec Y	746,97	2489,91	1651,9	6098,4	
Gedung D	Statik X	1839,38	551,81	-5784,1	0	OK
	Statik Y	551,81	1839,38	0	-6050,5	
	RespSpec X	2481,62	744,49	5784,1	1811,4	
	RespSpec Y	746,03	2486,78	1738,8	6050,5	
Gedung E	Statik X	1839,38	551,81	-5784,0	0	OK
	Statik Y	551,81	1839,38	0	-6049,8	
	RespSpec X	2486,48	745,94	5784,0	1811,4	
	RespSpec Y	745,94	2486,48	1738,6	6049,8	

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 69 Perbedaan Selisih dan Perbandingan Gaya Geser Dasar terhadap Pemodelan Gedung A

Variasi Pemodelan	Nilai Perbandingan Terhadap Gedung A			
	Arah X		Arah Y	
	%	Kali	%	Kali
Gedung B	9,982	0,9092	0,395	1,0040
Gedung C	9,980	0,9093	0,411	1,0041
Gedung D	5,035	0,9521	0,377	0,9962
Gedung E	5,038	0,9520	0,389	0,9961

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.64 hingga Tabel 4.69, nilai gaya geser dasar struktur pada setiap pemodelan, baik dengan variasi luas dan letak *void* maupun pada model tanpa *void*, menunjukkan bahwa keberadaan *void* dapat memengaruhi besarnya gaya geser dasar bangunan. Perbandingan dilakukan dengan menggunakan model Gedung A sebagai acuan terhadap variasi pemodelan lainnya. Dari hasil tersebut diperoleh nilai perbandingan sebesar 9,982% pada arah x dan 0,395% pada arah y terhadap Gedung B, 9,980% pada arah x dan 0,411% pada arah y terhadap Gedung C, 5,035% pada arah x dan 0,377% pada arah y terhadap Gedung D, dan 5,038% pada arah x dan 0,389% pada arah y terhadap Gedung E. Adapun contoh perhitungan perbandingan pada pemodelan Gedung B sebagai berikut:

Nilai Perbandingan

$$\begin{aligned}
 \text{Gedung B terhadap Gedung A} &= \frac{(V_{dx} \text{ Ged B} - V_{dx} \text{ Ged A})}{V_{dx} \text{ Ged B}} \% \\
 &= \frac{(5523,9 \text{ kN} - 6075,4 \text{ kN})}{5523,9 \text{ kN}} \% \\
 &= 9,982\%
 \end{aligned}$$

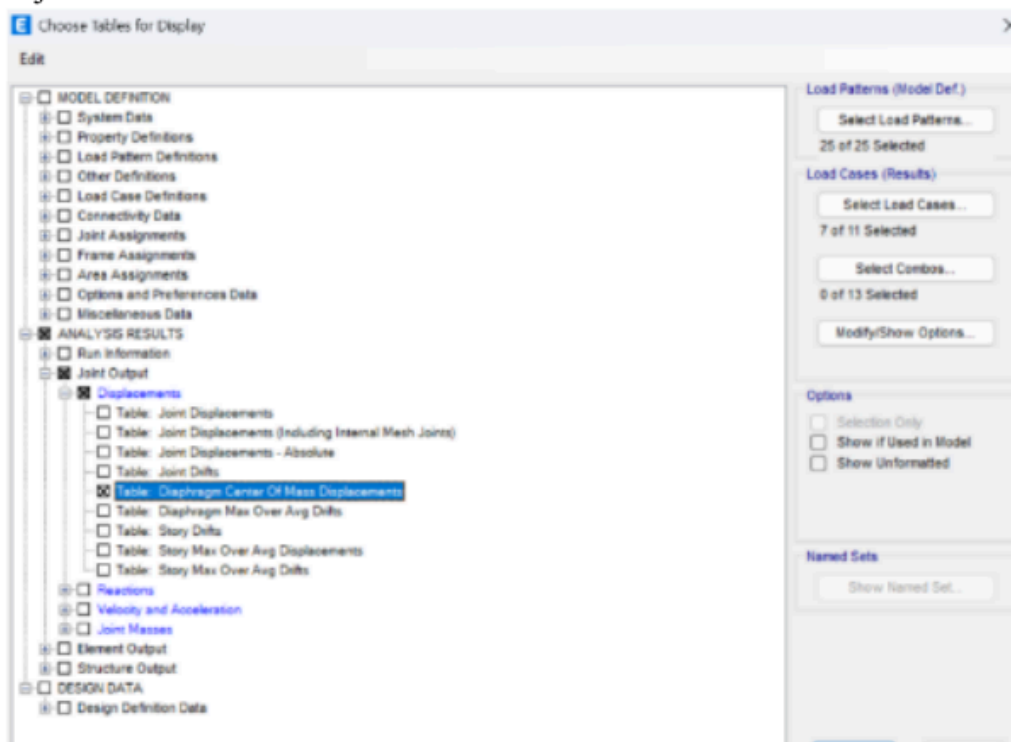
Hasil penelitian ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Pangestuti dkk., (2025), adanya perbedaan pada nilai gaya geser dasar, yang menandakan adanya hubungan antara periode struktur bangunan dengan besarnya gaya geser dasar yang terjadi. Semakin besar nilai periode struktur, maka nilai gaya geser dasar yang dihasilkan cenderung semakin kecil. Sebaliknya, apabila nilai periode struktur semakin kecil, maka gaya geser dasar yang terjadi relatif lebih besar.

4.5.5 Kontrol Simpangan

Kontrol simpangan merupakan parameter penting untuk memastikan bahwa perpindahan atau deformasi yang terjadi pada elemen bangunan masih berada dalam batas yang aman. Apabila simpangan tidak dikendalikan dengan

baik, maka struktur berpotensi mengalami kerusakan yang dapat berujung pada keruntuhan bangunan. Perhitungan simpangan antar lantai dilakukan dengan mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6, dimana nilai simpangan antar tingkat desain (Δ) dihitung menggunakan persamaan $\delta_x = ((C_d \times \delta_{xe}) / I_e)$. Nilai simpangan yang diperoleh tidak boleh melebihi batas simpangan antar tingkat yang diizinkan (Δ_a), yang dihitung dengan persamaan $0,010 h_{sx}$, sesuai ketentuan pada SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1. Selain itu, berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1.1, ketentuan tersebut berlaku untuk sistem struktur yang termasuk dalam kategori desain seismik D hingga F, dengan batas simpangan yang ditentukan sebesar (Δ_a / ρ) .

Pada software ETABS v.22, nilai simpangan dapat diperoleh melalui tabel hasil analisis. Prosesnya dimulai dengan membuka menu *Display*, kemudian memilih *Show Tables*, lalu masuk ke bagian *Analysis Results*. Selanjutnya, pilih *Joint Output* dan klik *Displacements*. Setelah itu, pada bagian pilihan output, pilih *Diaphragm Center of Mass Displacement*, kemudian tentukan *load case* seperti *EDX* atau *EDY* yang telah disesuaikan dengan *scale factor* yang digunakan. Dengan langkah tersebut, nilai simpangan pada arah X maupun Y dapat ditampilkan dan dianalisis lebih lanjut.



Gambar 4. 41 Step Output Simpangan pada ETABS
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 70 Parameter pada Perhitungan Simpangan Setiap Pemodelan

Variasi Pemodelan	C_d	I_e	h_{sx} (m)	ρ
Gedung A	5,5	1,50	4	1,3
Gedung B	5,5	1,50	4	1,3
Gedung C	5,5	1,50	4	1,3
Gedung D	5,5	1,50	4	1,3
Gedung E	5,5	1,50	4	1,3

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Adapun contoh perhitungan simpangan izin pada Tabel 4.71 hingga 4.75 mengacu pada parameter Tabel 4.70 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \Delta_a &= \frac{0,010 h_{sx}}{\rho} \\
 &= \frac{0,010 \times 4000 \text{ mm}}{1,3} \\
 &= 30,77 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

1. Struktur SRPMK Tanpa Void (Gedung A)

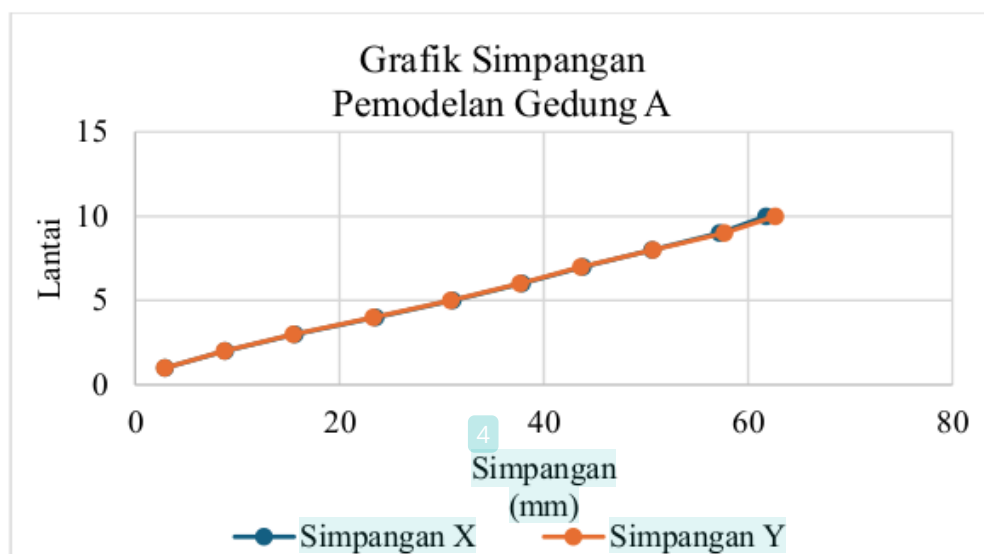
Tabel 4. 71 Kontrol Simpangan Pemodelan Gedung A

Lantai <i>i</i>	Simpangan Hasil ETABS δ_{xe} 23 (mm)		Simpangan Diperbesar δ_x (mm)		Simpangan Antar Lantai Δ_i (mm)		Tinggi Lantai h_{sx} (mm)	Simpangan Izin Δ_a (mm)	Cek
	Arah	Arah	Arah	Arah	Arah	Arah			
	X	Y	X	Y	X	Y			
1	2,94	2,92	10,78	10,70	10,78	10,70	4000	30,77	OK
2	8,84	8,76	32,42	32,13	21,64	21,42	4000	30,77	OK
3	15,66	15,50	57,42	56,85	25,01	24,72	4000	30,77	OK
4	23,54	23,35	86,32	85,60	28,89	28,75	4000	30,77	OK
5	31,10	30,91	114,03	113,34	27,71	27,74	4000	30,77	OK
6	37,87	37,68	138,85	138,17	24,82	24,83	4000	30,77	OK
7	43,84	43,66	160,73	160,09	21,88	21,92	4000	30,77	OK
8	50,62	50,68	185,62	185,82	24,89	25,72	4000	30,77	OK
9	57,21	57,71	209,76	211,59	24,15	25,77	4000	30,77	OK
10	61,78	62,67	226,52	229,80	16,76	18,22	4000	30,77	OK

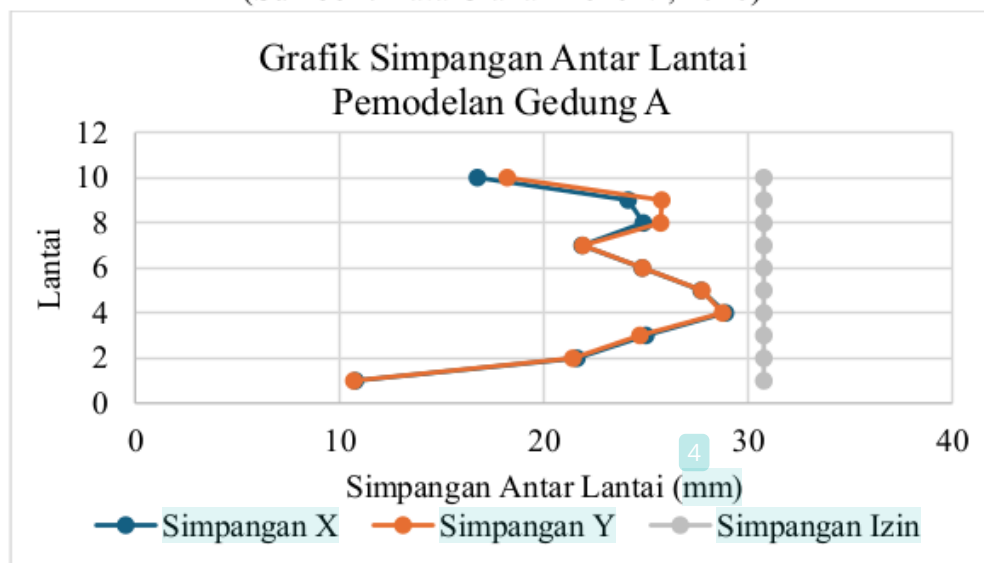
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Adapun contoh perhitungan simpangan arah x dan arah y pada Tabel 4.71 mengacu pada parameter Tabel 4.70 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \Delta_l X &= \frac{C_d \times \delta_{1e} X}{I_e} \\
 &= \frac{5,5 \times 2,94 \text{ mm}}{1,50} \\
 &= 10,78 \text{ mm} \\
 \Delta_l Y &= \frac{C_d \times \delta_{1e} Y}{I_e} \\
 &= \frac{5,5 \times 2,92 \text{ mm}}{1,50} \\
 &= 10,70 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.42 Grafik Simpangan Pemodelan Gedung A
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



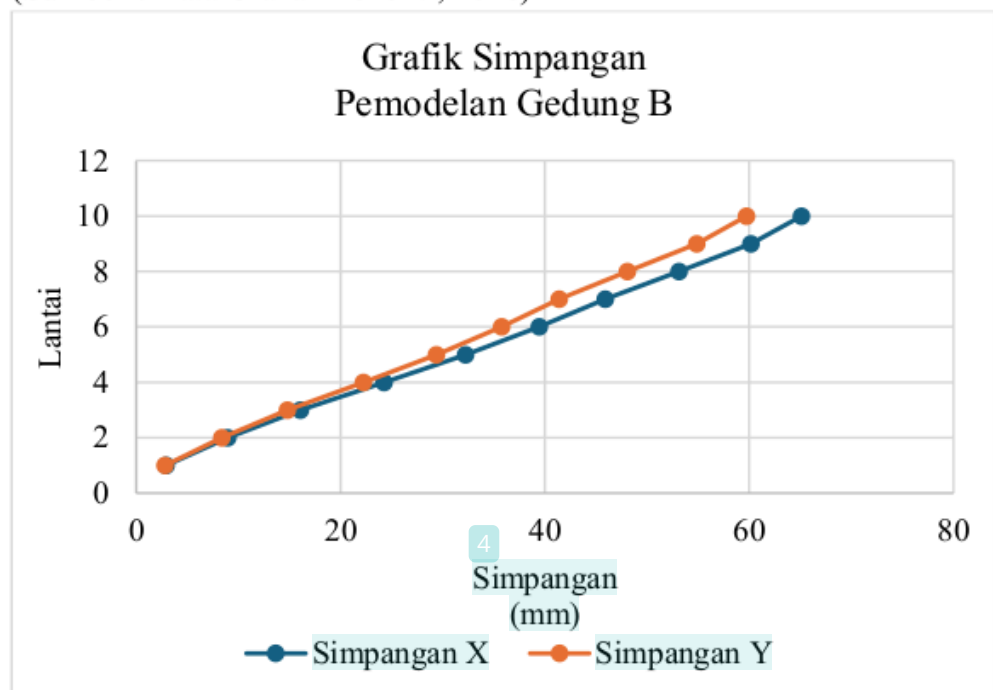
Gambar 4.43 Grafik Simpangan Antar Lantai Pemodelan Gedung A
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

2. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 1 (Gedung B)

Tabel 4. 72 Kontrol Simpangan Pemodelan Gedung B

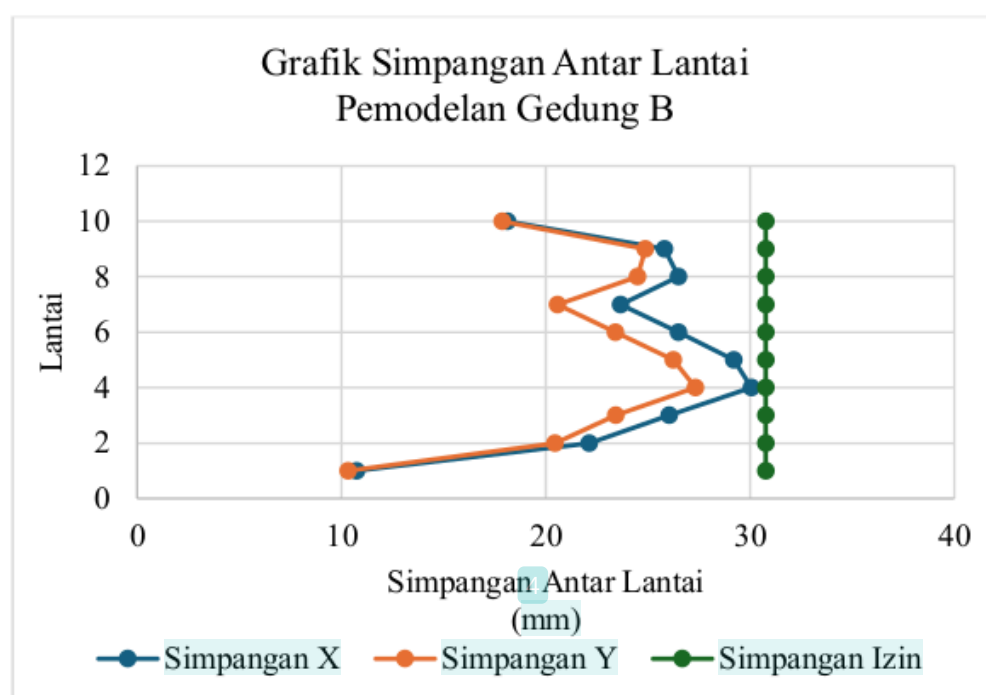
Lantai <i>i</i>	Simpangan Hasil ETABS δ_{xe} (mm)		Simpangan Diperbesar δ_x (mm)		Simpangan Antar Lantai Δ_i (mm)		Tinggi Lantai h_{sx} (mm)	Simpangan Izin Δ_a (mm)	Cek
	23		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y			
	Arah X	Arah Y							
1	2,93	2,82	10,74	10,34	10,74	10,34	4000	30,77	OK
2	8,96	8,40	32,87	30,80	22,13	20,46	4000	30,77	OK
3	16,07	14,79	58,91	54,24	26,04	23,44	4000	30,77	OK
4	24,27	22,25	88,98	81,57	30,07	27,33	4000	30,77	OK
5	32,23	29,41	118,19	107,82	29,21	26,25	4000	30,77	OK
6	39,46	35,79	144,69	131,23	26,50	23,41	4000	30,77	OK
7	45,92	41,40	168,37	151,81	23,68	20,58	4000	30,77	OK
8	53,14	48,08	194,86	176,31	26,50	24,49	4000	30,77	OK
9	60,18	54,87	220,67	201,19	25,81	24,89	4000	30,77	OK
10	65,13	59,75	238,80	219,08	18,13	17,88	4000	30,77	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 44 Grafik Simpangan Pemodelan Gedung B

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



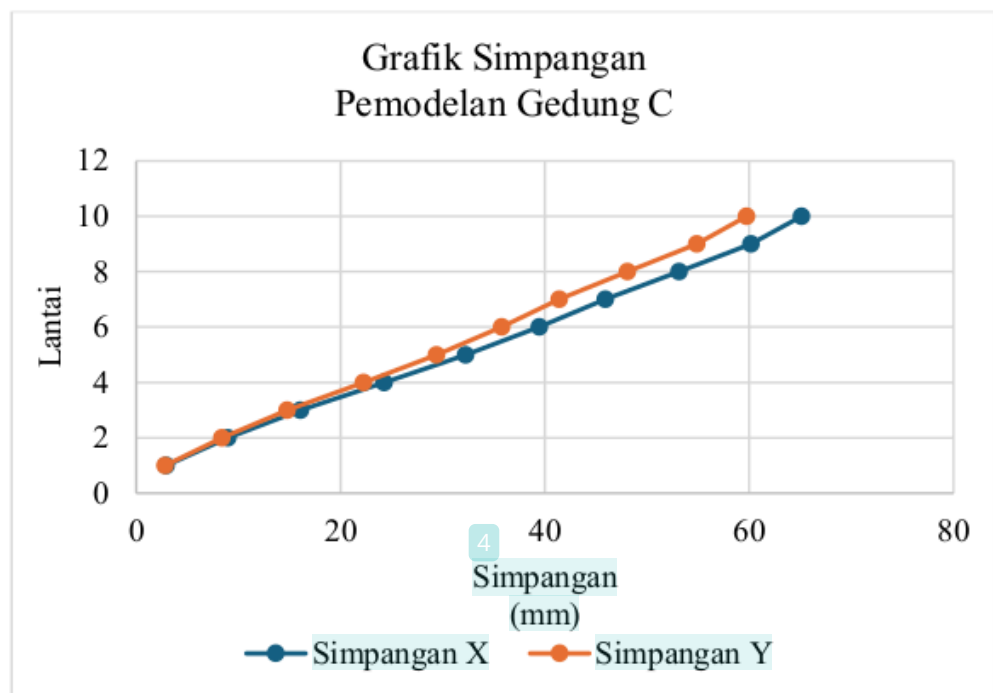
Gambar 4. 45 Grafik Simpangan Antar Lantai Pemodelan Gedung B
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

3. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 2 (Gedung C)

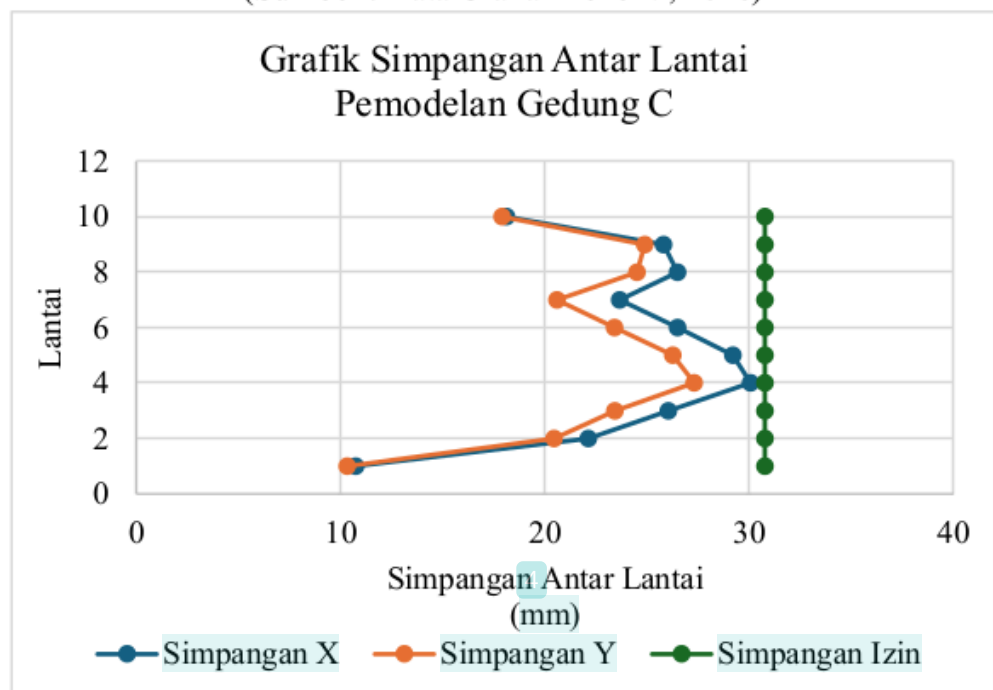
Tabel 4. 73 Kontrol Simpangan Pemodelan Gedung C

Lantai <i>i</i>	Simpangan Hasil ETABS δ_{xe} 23 (mm)		Simpangan Diperbesar δ_x (mm)		Simpangan Antar Lantai Δ_i (mm)		Tinggi Lantai h_{sx} (mm)	Simpangan Izin Δ_a (mm)	Cek
	Arah	Arah	Arah	Arah	Arah	Arah			
	X	Y	X	Y	X	Y			
1	2,93	2,82	10,74	10,33	10,74	10,33	4000	30,77	OK
2	8,96	8,40	32,87	30,78	22,13	20,45	4000	30,77	OK
3	16,07	14,79	58,91	54,22	26,04	23,43	4000	30,77	OK
4	24,27	22,24	88,98	81,53	30,07	27,31	4000	30,77	OK
5	32,23	29,40	118,19	107,78	29,21	26,25	4000	30,77	OK
6	39,46	35,78	144,69	131,20	26,50	23,42	4000	30,77	OK
7	45,92	41,40	168,36	151,79	23,67	20,59	4000	30,77	OK
8	53,14	48,08	194,86	176,29	26,50	24,50	4000	30,77	OK
9	60,18	54,87	220,66	201,19	25,81	24,90	4000	30,77	OK
10	65,13	59,75	238,79	219,09	18,13	17,90	4000	30,77	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 46 Grafik Simpangan Pemodelan Gedung C
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



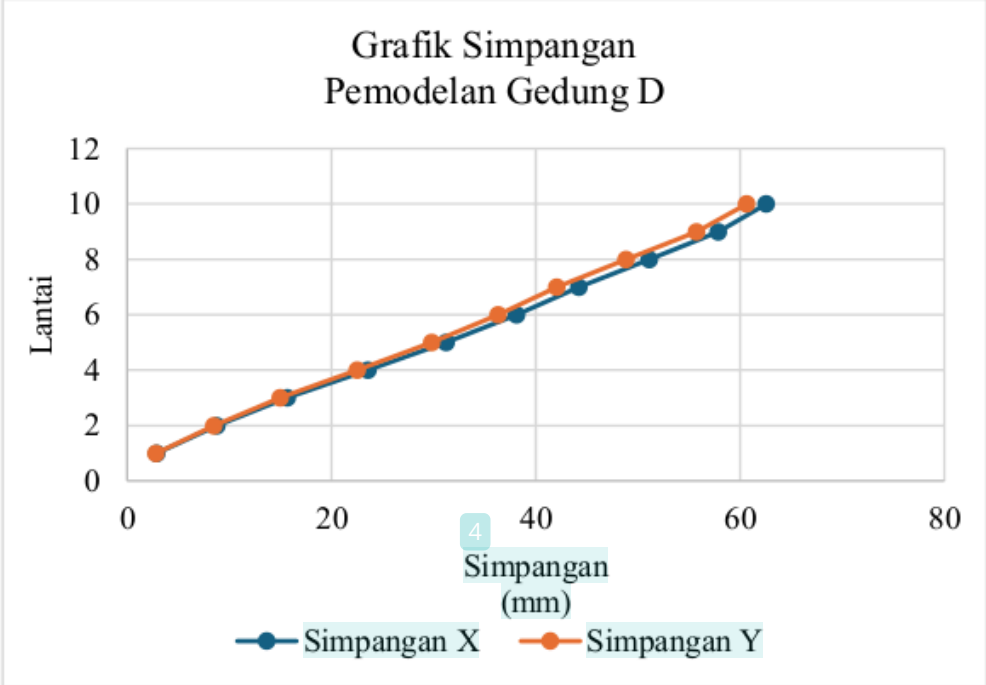
Gambar 4. 47 Grafik Simpangan Antar Lantai Pemodelan Gedung C
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 3 (Gedung D)

Tabel 4. 74 Kontrol Simpangan Pemodelan Gedung D

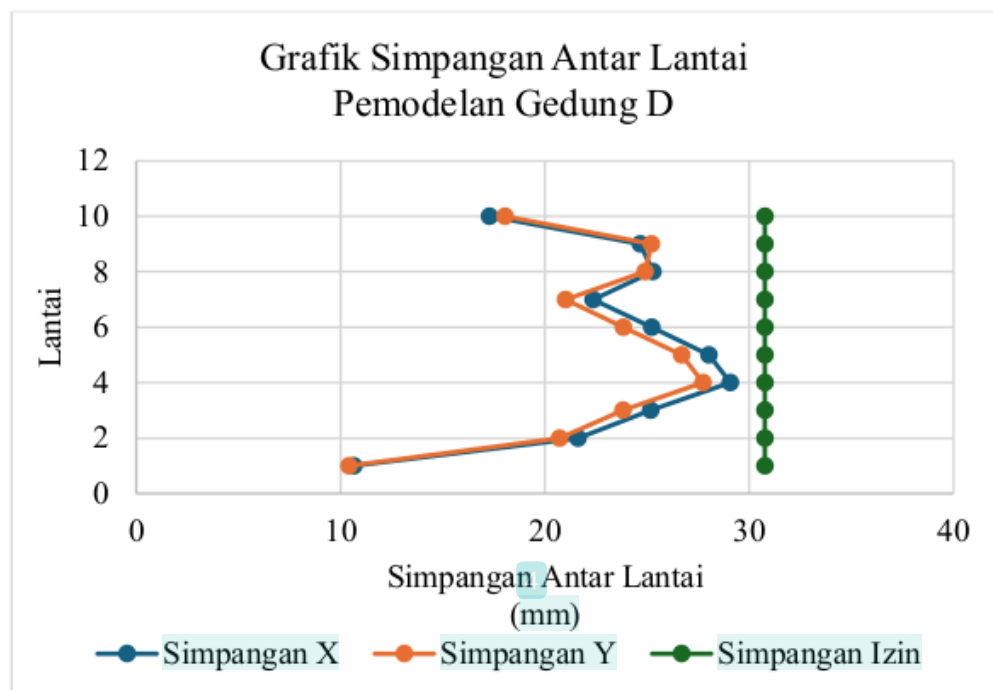
Lantai <i>i</i>	Simpangan Hasil ETABS δ_{xe} (mm)		Simpangan Diperbesar δ_x (mm)		Simpangan Antar Lantai Δ_i (mm)		Tinggi Lantai h_{sx} (mm)	Simpangan Izin Δ_a (mm)	Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y			
1	2,91	2,84	10,66	10,42	10,66	10,42	4000	30,77	OK
2	8,80	8,50	32,28	31,15	21,62	20,73	4000	30,77	OK
3	15,67	14,99	57,46	54,97	25,18	23,82	4000	30,77	OK
4	23,60	22,56	86,54	82,71	29,08	27,74	4000	30,77	OK
5	31,25	29,84	114,58	109,40	28,04	26,69	4000	30,77	OK
6	38,13	36,34	139,81	133,25	25,23	23,85	4000	30,77	OK
7	44,23	42,07	162,17	154,27	22,36	21,02	4000	30,77	OK
8	51,13	48,87	187,47	179,18	25,30	24,91	4000	30,77	OK
9	57,86	55,75	212,15	204,40	24,68	25,22	4000	30,77	OK
10	62,58	60,67	229,45	222,45	17,30	18,05	4000	30,77	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 48 Grafik Simpangan Pemodelan Gedung D

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



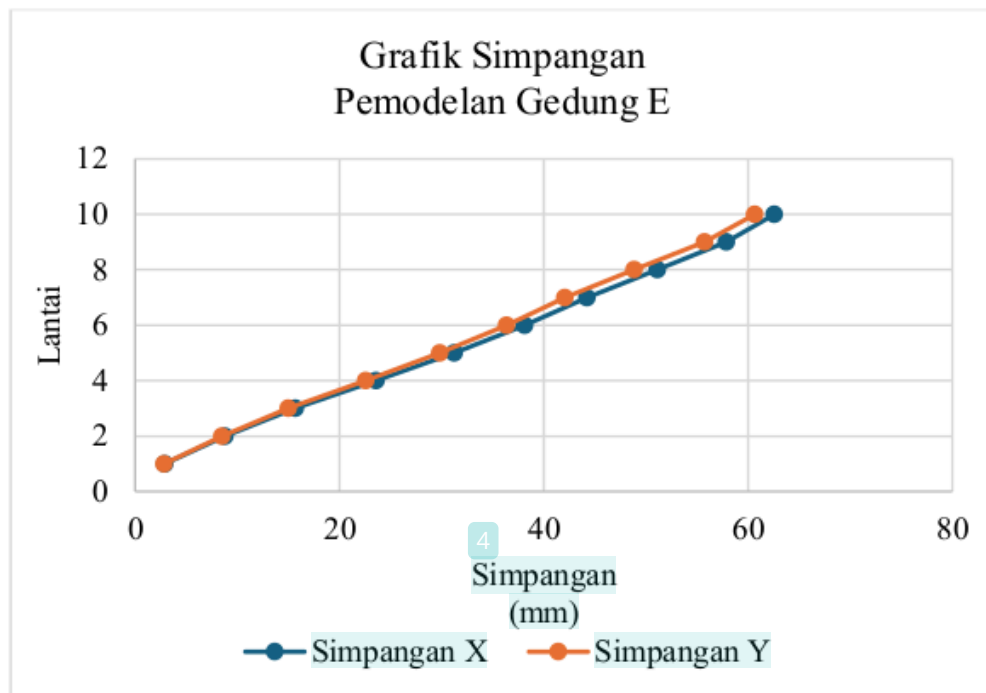
Gambar 4. 49 Grafik Simpangan Antar Lantai Pemodelan Gedung D
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

5. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 4 (Gedung E)

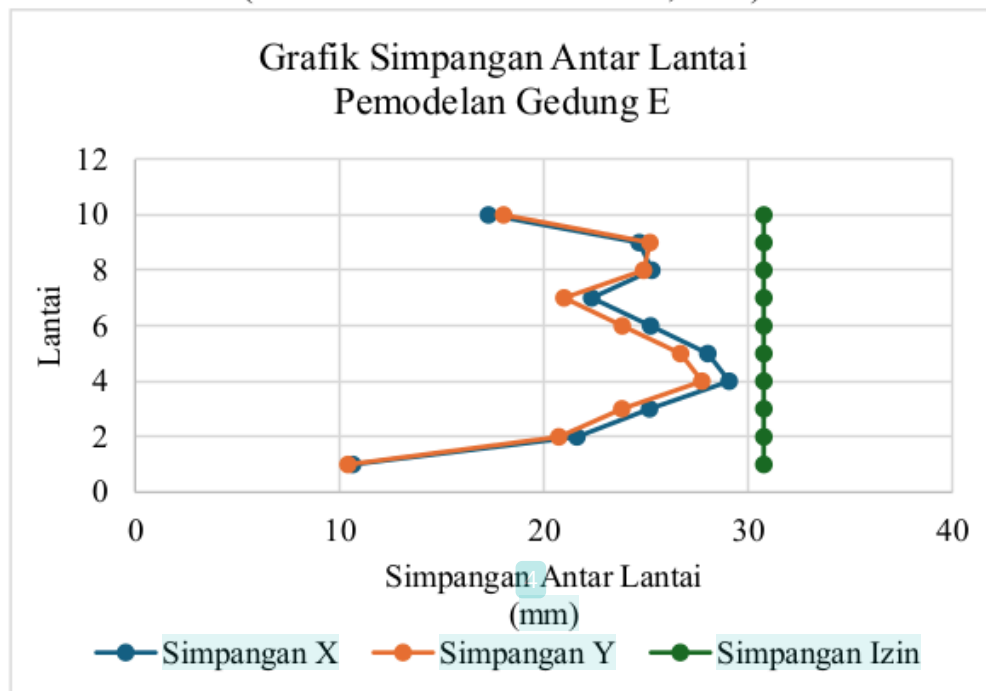
Tabel 4. 75 Kontrol Simpangan Pemodelan Gedung E

Lantai <i>i</i>	Simpangan Hasil ETABS δ_{xe} 23 (mm)		Simpangan Diperbesar δ_x (mm)		Simpangan Antar Lantai Δ_i (mm)		Tinggi Lantai h_{sx} (mm)	Simpangan Izin Δ_a (mm)	Cek
	Arah	Arah	Arah	Arah	Arah	Arah			
	X	Y	X	Y	X	Y			
1	2,91	2,84	10,66	10,42	10,66	10,42	4000	30,77	OK
2	8,80	8,50	32,28	31,17	21,62	20,74	4000	30,77	OK
3	15,67	15,00	57,46	55,00	25,18	23,83	4000	30,77	OK
4	23,60	22,57	86,54	82,75	29,08	27,75	4000	30,77	OK
5	31,25	29,85	114,58	109,44	28,04	26,69	4000	30,77	OK
6	38,13	36,35	139,81	133,28	25,23	23,84	4000	30,77	OK
7	44,23	42,08	162,17	154,29	22,36	21,00	4000	30,77	OK
8	51,13	48,87	187,47	179,18	25,30	24,90	4000	30,77	OK
9	57,86	55,74	212,15	204,39	24,68	25,21	4000	30,77	OK
10	62,58	60,66	229,45	222,42	17,30	18,03	4000	30,77	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 50 Grafik Simpangan Pemodelan Gedung E
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 51 Grafik Simpangan Antar Lantai Pemodelan Gedung E
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

6. Rekapitulasi Simpangan Setiap Pemodelan

Tabel 4. 76 Rekapitulasi Simpangan Setiap Pemodelan

Lantai	Simpangan, δ_{xe} (mm)									
	Gedung A		Gedung B		Gedung C		Gedung D		Gedung E	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
1	2,94	2,92	2,93	2,82	2,93	2,82	2,91	2,84	2,91	2,84
2	8,84	8,76	8,96	8,40	8,96	8,40	8,80	8,50	8,80	8,50
3	15,66	15,50	16,07	14,79	16,07	14,79	15,67	14,99	15,67	15,00
4	23,54	23,35	24,27	22,25	24,27	22,24	23,60	22,56	23,60	22,57
5	31,10	30,91	32,23	29,41	32,23	29,40	31,25	29,84	31,25	29,85
6	37,87	37,68	39,46	35,79	39,46	35,78	38,13	36,34	38,13	36,35
7	43,84	43,66	45,92	41,40	45,92	41,40	44,23	42,07	44,23	42,08
8	50,62	50,68	53,14	48,08	53,14	48,08	51,13	48,87	51,13	48,87
9	57,21	57,71	60,18	54,87	60,18	54,87	57,86	55,75	57,86	55,74
10	61,78	62,67	65,13	59,75	65,13	59,75	62,58	60,67	62,58	60,66

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 77 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Setiap Pemodelan

Lantai	Simpangan Antar Lantai, Δ_i (mm)									
	Gedung A		Gedung B		Gedung C		Gedung D		Gedung E	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
1	10,78	10,70	10,74	10,34	10,74	10,33	10,66	10,42	10,66	10,42
2	21,64	21,42	22,13	20,46	22,13	20,45	21,62	20,73	21,62	20,74
3	25,01	24,72	26,04	23,44	26,04	23,43	25,18	23,82	25,18	23,83
4	28,89	28,75	30,07	27,33	30,07	27,31	29,08	27,74	29,08	27,75
5	27,71	27,74	29,21	26,25	29,21	26,25	28,04	26,69	28,04	26,69
6	24,82	24,83	26,50	23,41	26,50	23,42	25,23	23,85	25,23	23,84
7	21,88	21,92	23,68	20,58	23,67	20,59	22,36	21,02	22,36	21,00
8	24,89	25,72	26,50	24,49	26,50	24,50	25,30	24,91	25,30	24,90
9	24,15	25,77	25,81	24,89	25,81	24,90	24,68	25,22	24,68	25,21
10	16,76	18,22	18,13	17,88	18,13	17,90	17,30	18,05	17,30	18,03

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 78 Perbedaan Selisih dan Perbandingan Simpangan Antar Lantai terhadap Pemodelan Gedung A pada Lantai 10

Variasi Pemodelan	Nilai Perbandingan Terhadap Gedung A			
	Arah X		Arah Y	
	%	Kali	%	Kali
Gedung B	7,544	1,0816	1,866	0,9817
Gedung C	7,544	1,0816	1,762	0,9827
Gedung D	3,116	1,0322	0,914	0,9909
Gedung E	3,116	1,0322	1,037	0,9897

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.70 hingga Tabel 4.78, nilai simpangan antar lantai pada setiap pemodelan, baik dengan variasi luas dan letak *void* maupun pada model tanpa *void*, menunjukkan bahwa keberadaan *void* dapat memengaruhi besarnya simpangan antar lantai pada struktur bangunan. Perbandingan dilakukan dengan menggunakan model Gedung A sebagai acuan terhadap variasi pemodelan lainnya. Dari hasil tersebut diperoleh nilai perbandingan sebesar 7,544% pada arah x dan 1,866% pada arah y terhadap Gedung B, 7,544% pada arah x dan 1,762% pada arah y terhadap Gedung C, 3,116% pada arah x dan 0,914% pada arah y terhadap Gedung D, dan 3,116% pada arah x dan 1,037% pada arah y terhadap Gedung E. Adapun contoh perhitungan perbandingan pada pemodelan Gedung B sebagai berikut:

Nilai Perbandingan

$$\begin{aligned}
 \text{Gedung B terhadap Gedung A} &= \frac{(\Delta_i X_{10} \text{ Ged B} - \Delta_i X_{10} \text{ Ged A})}{\Delta_i X_{10} \text{ Ged B}} \% \\
 &= \frac{(18,13 \text{ mm} - 16,76 \text{ mm})}{18,13 \text{ mm}} \% \\
 &= 7,544\%
 \end{aligned}$$

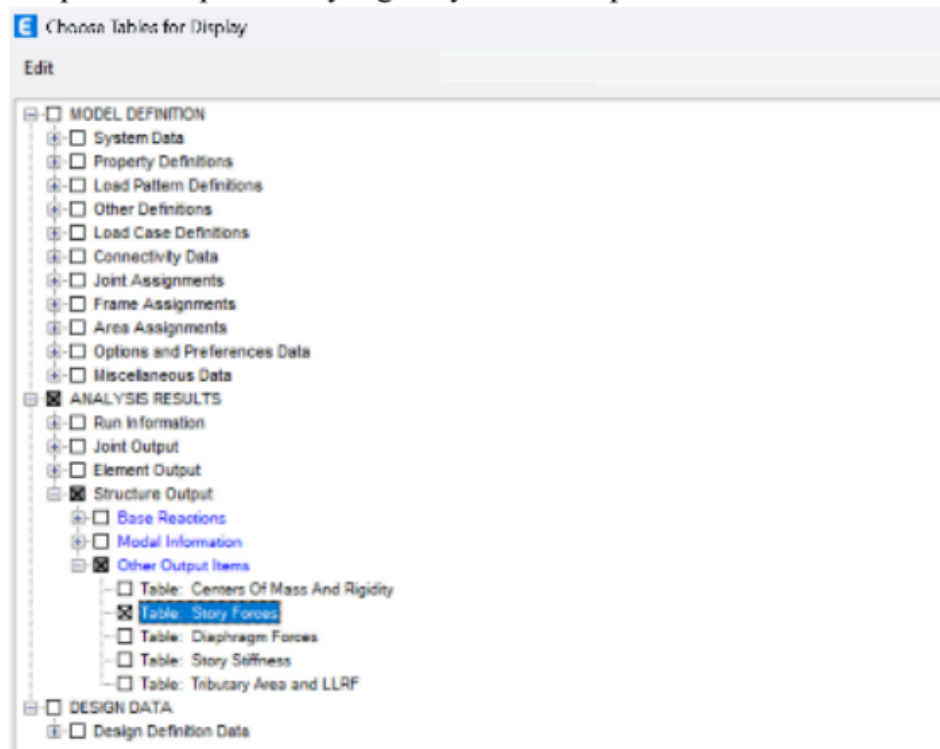
Hasil penelitian ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Pangestuti dkk., (2025), adanya perbedaan nilai simpangan antar lantai, yang mengindikasikan terjadinya peningkatan simpangan pada variasi luas dan letak *void*, akibat perubahan dalam penyerapan gaya vertikal maupun gaya lateral yang bekerja pada struktur bangunan.

4.5.6 Kontrol P- Delta

Kontrol P-Delta merupakan langkah untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya deformasi lateral akibat interaksi antara beban aksial dan beban lateral, yang dapat menyebabkan ketidakstabilan hingga keruntuhan struktur bangunan. Berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019 Pasal

7.8.7, pengaruh P-Delta terhadap geser tingkat, momen, gaya pada elemen struktur, serta simpangan antar tingkat tidak perlu diperhitungkan apabila nilai koefisien stabilitas (θ) lebih kecil atau sama dengan 0,10. Nilai θ tersebut dihitung menggunakan persamaan $\theta = ((P_x \times \Delta_i \times I_e) / (V_x \times h_{sx} \times C_d))$ sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.8.7. Nilai koefisien stabilitas (θ) yang diperoleh dari hasil perhitungan tidak diperkenankan melampaui nilai θ_{max} . Nilai batas tersebut dihitung menggunakan persamaan $\theta_{max} = (0,5 / (\beta \times C_d)) \leq 0,25$, sehingga nilai θ yang dihasilkan harus berada di bawah batas tersebut agar stabilitas struktur tetap terpenuhi.

Pada *software* ETABS v.22, parameter yang diperlukan untuk menghitung P-Delta dari analisis respons spektrum dapat diperoleh melalui tabel hasil analisis. Langkah yang dilakukan yaitu membuka menu *Display*, kemudian memilih *Show Tables*, lalu masuk ke bagian *Analysis Result*, dilanjutkan *Structure Output*, dan memilih *Other Output Items*. Setelah itu, pilih *Story Forces* untuk menampilkan data yang dibutuhkan. Nilai parameter yang digunakan dalam perhitungan P-Delta dapat dilihat dengan menampilkan *Output Case* yang hanya mencakup beban service dan dinamik.



Gambar 4. 52 *Step Output* P-Delta pada ETABS
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 79 Parameter pada Perhitungan P-Delta Setiap Pemodelan

Variasi Pemodelan	C_d	I_e	h_{sx} (m)	β
Gedung A	5,5	1,50	4	1,0
Gedung B	5,5	1,50	4	1,0
Gedung C	5,5	1,50	4	1,0
Gedung D	5,5	1,50	4	1,0
Gedung E	5,5	1,50	4	1,0

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Adapun contoh perhitungan koefisien stabilitas max pada Tabel 4.80 hingga 4.84 mengacu pada parameter Tabel 4.79 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \theta_{max} &= \frac{0,5}{\beta \times C_d} \leq 0,25 \\
 &= \frac{0,5}{1,0 \times 5,5} \leq 0,25 \\
 &= 0,091 \leq 0,25 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

1. Struktur SRPMK Tanpa Void (Gedung A)

Tabel 4. 80 Kontrol P-Delta Pemodelan Gedung A

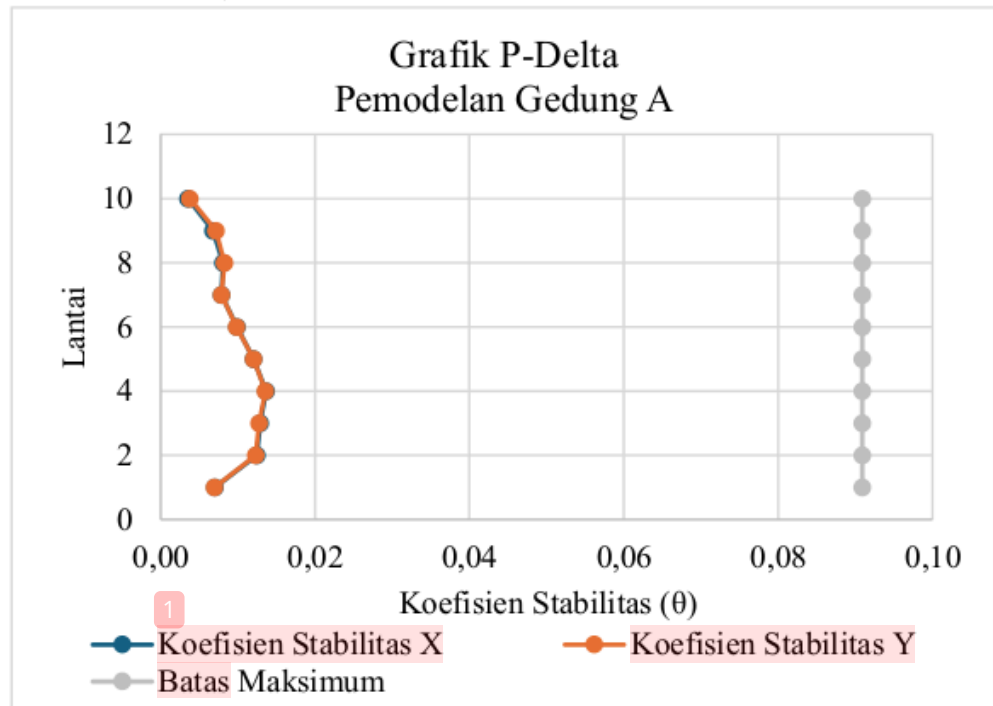
Lantai i	Beban Desain P_x (kN)	Gaya Geser		Simpangan Antar Lantai Δ_i (mm)		Koefisien Stabilitas			Cek
		V_x (kN)	V_y (kN)	Arah X	Arah Y	θ_x	θ_y	θ_{max}	
1	57851,2	6075,4	6073,3	10,78	10,70	0,00700	0,00695	0,09091	OK
2	50386,7	5968,4	5966,5	21,64	21,42	0,01245	0,01234	0,09091	OK
3	42922,3	5683,8	5683,0	25,01	24,72	0,01288	0,01273	0,09091	OK
4	36642,1	5286,7	5288,6	28,89	28,75	0,01365	0,01358	0,09091	OK
5	30499,8	4798,2	4803,7	27,71	27,74	0,01201	0,01201	0,09091	OK
6	24357,5	4178,0	4186,3	24,82	24,83	0,00987	0,00985	0,09091	OK
7	18215,2	3441,9	3452,6	21,88	21,92	0,00789	0,00788	0,09091	OK
8	12524,8	2640,7	2655,3	24,89	25,72	0,00805	0,00827	0,09091	OK
9	7717,1	1871,9	1889,2	24,15	25,77	0,00679	0,00718	0,09091	OK
10	2608,0	843,3	856,9	16,76	18,22	0,00353	0,00378	0,09091	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Adapun contoh perhitungan koefisien stabilitas arah x dan arah y pada Tabel 4.80 mengacu pada parameter Tabel 4.79 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \theta_x &= \frac{P_x \times \Delta_{i1} \times I_e}{V_x \times h_{sx} \times C_d} \\
 &= \frac{57851,2 \text{ kN} \times 10,78 \text{ mm} \times 1,50}{6075,4 \text{ kN} \times 4000 \text{ mm} \times 5,5}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \theta_{l Y} &= 0,00700 \\
 &= \frac{P_x \times \Delta_{i1} Y \times I_e}{V_y \times h_{sx} \times C_d} \\
 &= \frac{57851,2 \text{ kN} \times 10,70 \text{ mm} \times 1,50}{6073,3 \text{ kN} \times 4000 \text{ mm} \times 5,5} \\
 &= 0,00695
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 53 Grafik P-Delta Pemodelan Gedung A

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

2. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 1 (Gedung B)

Tabel 4. 81 Kontrol P-Delta Pemodelan Gedung B

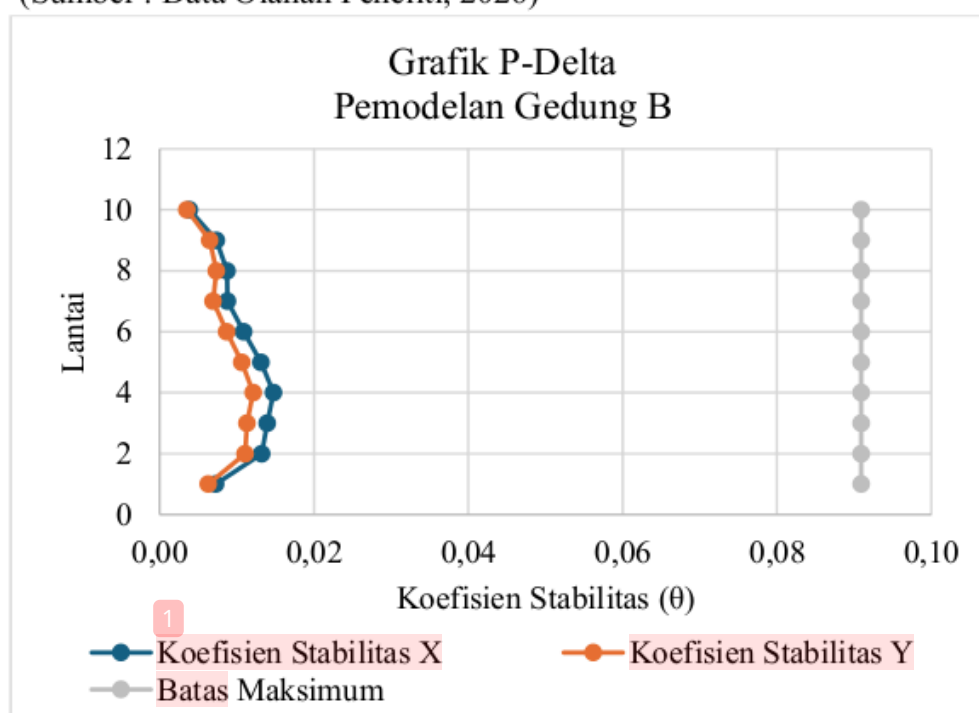
Lantai i	Beban Desain P_x (kN)	Gaya Geser		Simpangan Antar Lantai Δ_i (mm)		Koefisien Stabilitas			Cek
		V_x (kN)	V_y (kN)	Arah X	Arah Y	θ_x	θ_y	θ_{max}	
1	54782,2	5523,9	6097,4	10,74	10,34	0,00726	0,00633	0,09091	OK
2	47649,5	5425,1	5990,8	22,13	20,46	0,01325	0,01110	0,09091	OK
3	40516,8	5161,6	5707,2	26,04	23,44	0,01394	0,01135	0,09091	OK
4	34535,1	4796,0	5308,7	30,07	27,33	0,01476	0,01212	0,09091	OK
5	28692,0	4353,0	4817,0	29,21	26,25	0,01313	0,01066	0,09091	OK
6	22848,9	3792,2	4188,5	26,50	23,41	0,01089	0,00871	0,09091	OK
7	17005,8	3126,8	3439,5	23,68	20,58	0,00878	0,00694	0,09091	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 81 Kontrol P-Delta Pemodelan Gedung B (Lanjutan)

Lantai i	Beban Desain P_x (kN)	Gaya Geser		Simpangan Antar Lantai Δ_i (mm)		Koefisien Stabilitas			Cek
		V_x (kN)	V_y (kN)	Arah X	Arah Y	θ_x	θ_y	θ_{max}	
8	11614,6	2402,1	2627,7	26,50	24,49	0,00873	0,00738	0,09091	OK
9	7211,8	1728,5	1878,6	25,81	24,89	0,00734	0,00651	0,09091	OK
10	2608,0	828,9	895,4	18,13	17,88	0,00389	0,00355	0,09091	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

**Gambar 4. 54** Grafik P-Delta Pemodelan Gedung B

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

3. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 2 (Gedung C)**Tabel 4. 82** Kontrol P-Delta Pemodelan Gedung C

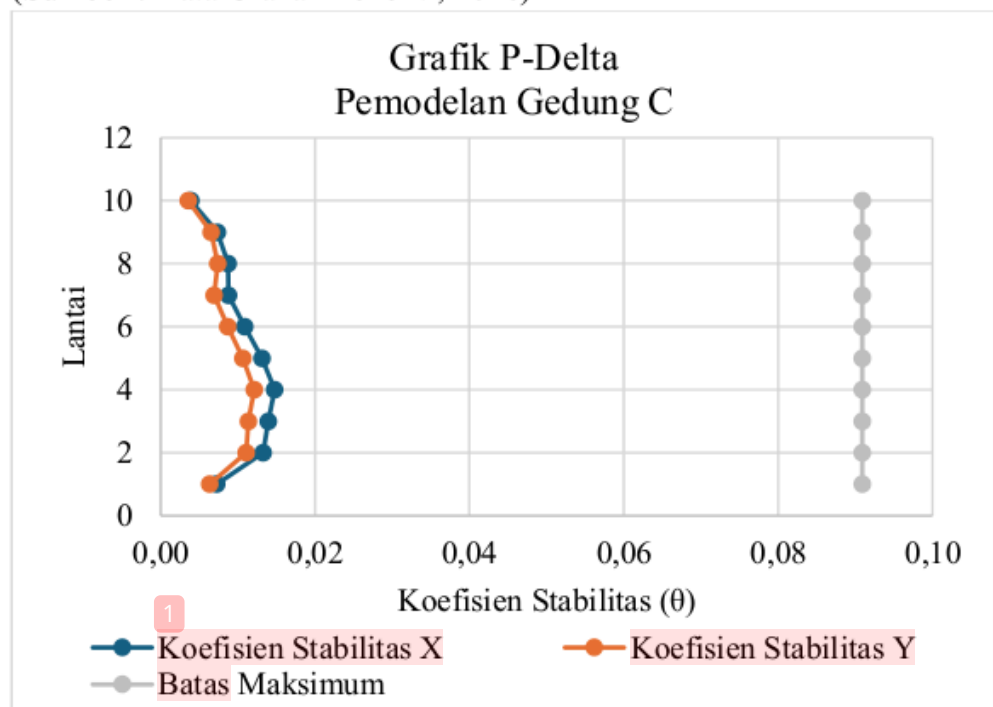
Lantai i	Beban Desain P_x (kN)	Gaya Geser		Simpangan Antar Lantai Δ_i (mm)		Koefisien Stabilitas			Cek
		V_x (kN)	V_y (kN)	Arah X	Arah Y	θ_x	θ_y	θ_{max}	
1	54782,2	5524,1	6098,4	10,74	10,33	0,00726	0,00633	0,09091	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 82 Kontrol P-Delta Pemodelan Gedung C (Lanjutan)

Lantai <i>i</i>	Beban Desain P_x (kN)	Gaya Geser		Simpangan Antar Lantai Δ_i (mm)		Koefisien Stabilitas			Cek
		V_x (kN)	V_y (kN)	Arah X	Arah Y	θ_x	θ_y	θ_{max}	
2	47649,5	5425,2	5991,8	22,13	20,45	0,01325	0,01109	0,09091	OK
3	40516,8	5161,7	5708,1	26,04	23,43	0,01394	0,01134	0,09091	OK
4	34535,1	4796,1	5309,6	30,07	27,31	0,01476	0,01211	0,09091	OK
5	28692,0	4353,1	4818,0	29,21	26,25	0,01313	0,01066	0,09091	OK
6	22848,9	3792,3	4189,4	26,50	23,42	0,01089	0,00871	0,09091	OK
7	17005,8	3126,8	3440,4	23,67	20,59	0,00878	0,00694	0,09091	OK
8	11614,6	2402,1	2628,6	26,50	24,50	0,00873	0,00738	0,09091	OK
9	7211,8	1728,5	1879,3	25,81	24,90	0,00734	0,00651	0,09091	OK
10	2608,0	828,9	895,7	18,13	17,90	0,00389	0,00355	0,09091	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

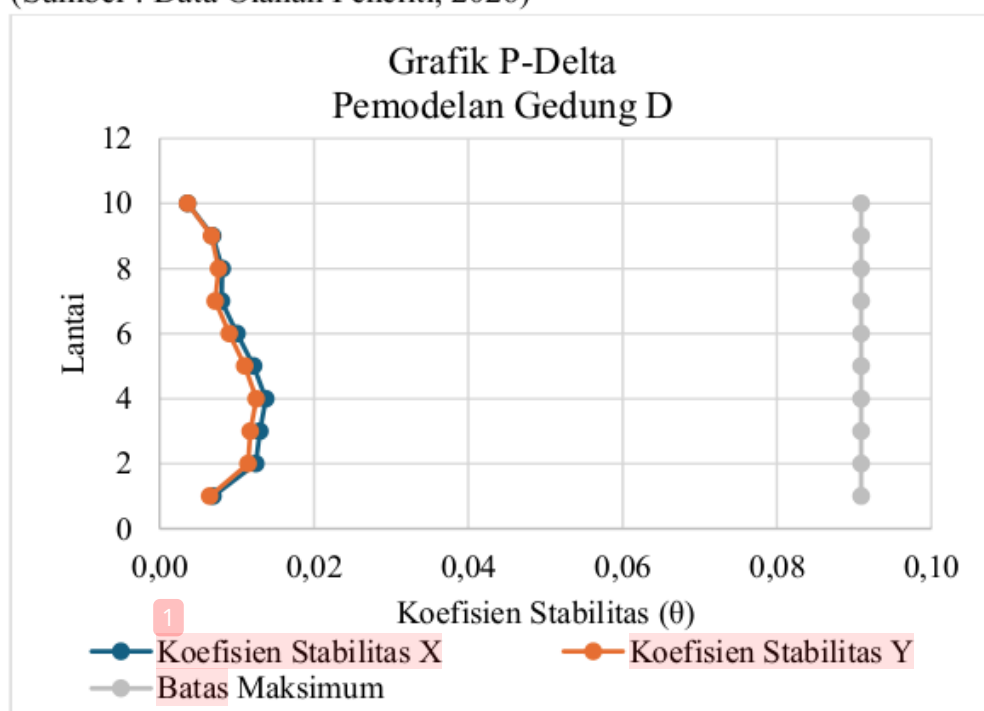
**Gambar 4. 55** Grafik P-Delta Pemodelan Gedung C

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 3 (Gedung D)**Tabel 4. 83** Kontrol P-Delta Pemodelan Gedung D

Lantai i	Beban Desain P_x (kN)	Gaya Geser		Simpangan Antar Lantai Δ_i (mm)		Koefisien Stabilitas			Cek
		V_x (kN)	V_y (kN)	Arah X	Arah Y	θ_x	θ_y	θ_{max}	
1	55335,2	5784,1	6050,5	10,66	10,42	0,00695	0,00650	0,09091	OK
2	48147,5	5682,0	5944,7	21,62	20,73	0,01249	0,01145	0,09091	OK
3	40959,8	5409,6	5663,2	25,18	23,82	0,01300	0,01175	0,09091	OK
4	34932,7	5029,3	5268,9	29,08	27,74	0,01377	0,01254	0,09091	OK
5	29041,8	4564,1	4783,2	28,04	26,69	0,01216	0,01105	0,09091	OK
6	23150,8	3973,3	4162,9	25,23	23,85	0,01002	0,00904	0,09091	OK
7	17259,9	3271,5	3424,2	22,36	21,02	0,00804	0,00722	0,09091	OK
8	11820,9	2508,0	2623,1	25,30	24,91	0,00813	0,00765	0,09091	OK
9	7329,3	1793,1	1874,2	24,68	25,22	0,00688	0,00672	0,09091	OK
10	2608,0	844,1	883,1	17,30	18,05	0,00364	0,00363	0,09091	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

**Gambar 4. 56** Grafik P-Delta Pemodelan Gedung D

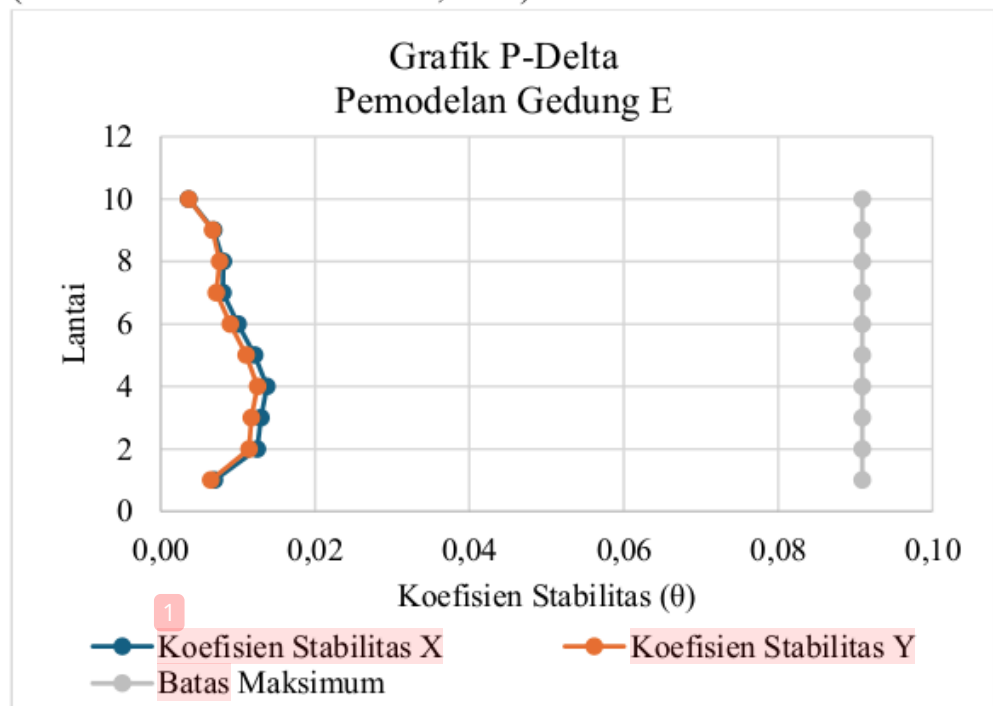
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

5. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 4 (Gedung E)

Tabel 4. 84 Kontrol P-Delta Pemodelan Gedung E

Lantai i	Beban Desain P_x (kN)	Gaya Geser		Simpangan Antar Lantai Δ_i (mm)		Koefisien Stabilitas			Cek
		V_x (kN)	V_y (kN)	Arah X	Arah Y	θ_x	θ_y	θ_{max}	
1	55335,2	5784,0	6049,8	10,66	10,42	0,00695	0,00650	0,09091	OK
2	48147,5	5681,9	5944,0	21,62	20,74	0,01249	0,01146	0,09091	OK
3	40959,8	5409,5	5662,5	25,18	23,83	0,01300	0,01175	0,09091	OK
4	34932,7	5029,2	5268,2	29,08	27,75	0,01377	0,01255	0,09091	OK
5	29041,8	4564,0	4782,5	28,04	26,69	0,01216	0,01105	0,09091	OK
6	23150,8	3973,2	4162,1	25,23	23,84	0,01002	0,00904	0,09091	OK
7	17259,9	3271,4	3423,4	22,36	21,00	0,00804	0,00722	0,09091	OK
8	11820,9	2508,0	2622,3	25,30	24,90	0,00813	0,00765	0,09091	OK
9	7329,3	1793,1	1873,6	24,68	25,21	0,00688	0,00672	0,09091	OK
10	2608,0	844,1	882,8	17,30	18,03	0,00364	0,00363	0,09091	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

**Gambar 4. 57** Grafik P-Delta Pemodelan Gedung E

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

6. Rekapitulasi P-Delta Setiap Pemodelan

Tabel 4. 85 Rekapitulasi P-Delta Setiap Pemodelan

Lantai	P-Delta (θ)									
	Gedung A		Gedung B		Gedung C		Gedung D		Gedung E	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
1	0,0070	0,0070	0,0073	0,0063	0,0073	0,0063	0,0070	0,0065	0,0070	0,0065
2	0,0125	0,0123	0,0133	0,0111	0,0133	0,0111	0,0125	0,0114	0,0125	0,0115
3	0,0129	0,0127	0,0139	0,0113	0,0139	0,0113	0,0130	0,0117	0,0130	0,0118
4	0,0137	0,0136	0,0148	0,0121	0,0148	0,0121	0,0138	0,0125	0,0138	0,0125
5	0,0120	0,0120	0,0131	0,0107	0,0131	0,0107	0,0122	0,0111	0,0122	0,0111
6	0,0099	0,0099	0,0109	0,0087	0,0109	0,0087	0,0100	0,0090	0,0100	0,0090
7	0,0079	0,0079	0,0088	0,0069	0,0088	0,0069	0,0080	0,0072	0,0080	0,0072
8	0,0080	0,0083	0,0087	0,0074	0,0087	0,0074	0,0081	0,0077	0,0081	0,0077
9	0,0068	0,0072	0,0073	0,0065	0,0073	0,0065	0,0069	0,0067	0,0069	0,0067
10	0,0035	0,0038	0,0039	0,0036	0,0039	0,0036	0,0036	0,0036	0,0036	0,0036

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 86 Perbedaan Selisih dan Perbandingan P-Delta terhadap Pemodelan Gedung A pada Lantai 10

Variasi Pemodelan	Nilai Perbandingan Terhadap Gedung A			
	Arah X		Arah Y	
	%	Kali	%	Kali
Gedung B	9,130	1,1005	6,442	0,9395
Gedung C	9,132	1,1005	6,375	0,9401
Gedung D	3,026	1,0312	4,005	0,9615
Gedung E	3,026	1,0312	4,089	0,9607

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.79 hingga Tabel 4.86, nilai P-Delta pada setiap pemodelan, baik dengan variasi luas dan letak *void* maupun pada model tanpa *void*, menunjukkan bahwa keberadaan *void* dapat memengaruhi besarnya nilai P-Delta pada struktur bangunan. Perbandingan dilakukan dengan menggunakan model Gedung A sebagai acuan terhadap variasi pemodelan lainnya. Dari hasil tersebut diperoleh nilai perbandingan sebesar 9,130% pada arah x dan 6,442% pada arah y terhadap Gedung B, 9,132% pada arah x dan 6,375% pada arah y terhadap Gedung C, 3,026% pada arah x dan 4,005% pada arah y terhadap Gedung D, dan 3,026% pada arah x dan 4,089% pada arah y terhadap Gedung E. Adapun contoh perhitungan perbandingan pada pemodelan Gedung B sebagai berikut:

Nilai Perbandingan

$$\begin{aligned}
 \text{Gedung B terhadap Gedung A} &= \frac{(\theta_{X_{10} \text{ Ged B}} - \theta_{X_{10} \text{ Ged A}})}{\theta_{X_{10} \text{ Ged B}}} \% \\
 &= \frac{(0,00389 - 0,00353)}{0,00389} \% \\
 &= 9,130\%
 \end{aligned}$$

Hasil penelitian ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Pangestuti dkk., (2025), adanya perbedaan nilai P-Delta, yang mengindikasikan terjadinya peningkatan P-Delta pada variasi luas dan letak void, akibat perubahan dalam meredam gaya lateral yang bekerja pada struktur bangunan dan mengurangi kekakuan, sehingga perpindahan antar lantai berkontribusi terhadap efek P-Delta.

4.5.7 Kontrol Ketidakberaturan Horizontal

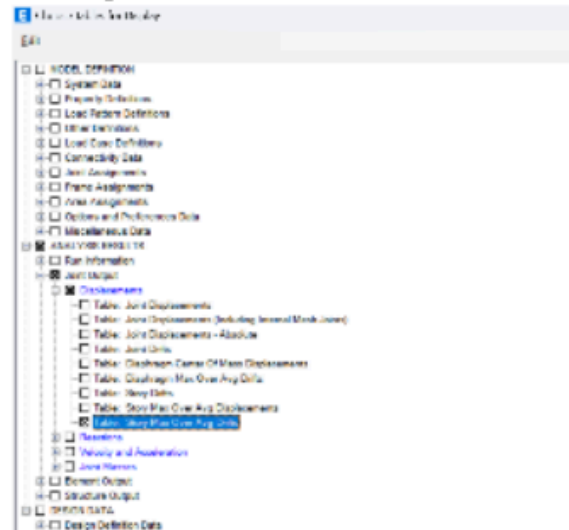
Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.3 dan pembahasan pada Subbab 2.5.9, struktur bangunan yang direncanakan perlu diklasifikasikan sebagai struktur beraturan atau tidak beraturan. Penentuan klasifikasi tersebut didasarkan pada konfigurasi struktur baik secara horizontal maupun vertikal. Dalam proses pemeriksaan struktur, identifikasi terhadap ketidakberaturan horizontal harus mengacu pada ketentuan yang tercantum dalam SNI 1726:2019 Tabel 13 dan Tabel 14.

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

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 13 dan Subbab 2.5.9, ketidakberaturan torsi terjadi akibat perbedaan respons simpangan antar tingkat pada elemen struktur, sehingga menyebabkan distribusi deformasi yang tidak merata pada arah melintang bangunan, kondisi ini dinyatakan terjadi apabila simpangan antar tingkat maksimum pada salah satu sisi struktur, yang telah memperhitungkan torsi tak terduga dengan faktor $A_x = 1,0$, melebihi 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata pada kedua sisi struktur dalam arah yang sama. Apabila perbandingan tersebut meningkat hingga melampaui 1,4 kali, maka kondisi tersebut dikategorikan sebagai ketidakberaturan torsi berlebihan. Ketentuan ini hanya berlaku untuk struktur dengan diafragma kaku atau setengah kaku, di mana distribusi gaya lateral dapat diasumsikan merata pada setiap lantai.

Pada software ETABS v.22, nilai untuk mengevaluasi ketidakberaturan torsi dan torsi berlebihan dapat diperoleh melalui tabel hasil analisis. Prosesnya dilakukan dengan membuka menu *Display*, kemudian memilih *Show Tables*, selanjutnya masuk ke bagian *Analysis Results*, dilanjutkan ke *Joint Output*, lalu memilih *Displacements*, dan

kemudian *Story Max Over Avg Drifts*. Dari menu tersebut, nilai parameter yang diperlukan untuk kontrol ketidakberaturan torsi dapat ditampilkan dan digunakan dalam proses evaluasi.



Gambar 4. 58 *Step Output* untuk Nilai Kontrol Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan pada ETABS
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

1. Struktur SRPMK Tanpa *Void* (Gedung A)

Tabel 4. 87 Kontrol Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan
Pemodelan Gedung A

Lantai	Δ_{max} (mm)		Δ_{avg} (mm)		1,2 Δ_{avg} (mm)		1,4 Δ_{avg} (mm)		Ratio		Cek
	Arah	Arah	Arah	Arah	Arah	Arah	Arah	Arah	Arah	Arah	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
1	3,44	3,09	2,98	2,96	3,58	3,55	4,18	4,14	1,153	1,044	OK
2	6,92	6,21	6,02	5,95	7,22	7,14	8,42	8,33	1,150	1,043	OK
3	8,05	7,22	7,01	6,92	8,41	8,31	9,81	9,69	1,148	1,043	OK
4	9,44	8,51	8,20	8,16	9,84	9,79	11,48	11,42	1,151	1,044	OK
5	9,21	8,34	7,99	7,99	9,59	9,59	11,19	11,18	1,152	1,044	OK
6	8,38	7,58	7,28	7,27	8,73	8,72	10,19	10,17	1,151	1,043	OK
7	7,49	6,79	6,52	6,51	7,82	7,81	9,12	9,11	1,149	1,043	OK
8	8,63	8,03	7,49	7,71	8,99	9,25	10,49	10,79	1,151	1,042	OK
9	8,34	7,99	7,24	7,67	8,69	9,21	10,14	10,74	1,151	1,041	OK
10	5,73	5,58	5,00	5,37	5,99	6,45	6,99	7,52	1,146	1,039	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Adapun contoh perhitungan kontrol ketidakberaturan torsi dan torsi berlebihan pada Tabel 4.87 sebagai berikut:

$$\Delta_{max} X_1 = 3,44 \text{ mm}$$

$$\Delta_{avg} X_I = 2,98 \text{ mm}$$

Pengecekan Ketidakberaturan Torsi 1a

$$\Delta_{max} X_I < 1,2 \times \Delta_{avg} X_I$$

$$3,44 \text{ mm} < 1,2 \times 2,98 \text{ mm}$$

$$3,44 \text{ mm} < 3,58 \text{ mm} \text{ (OK atau Tidak Terjadi Ketidakberaturan)}$$

Pengecekan Ketidakberaturan Torsi Berlebihan 1b

$$\Delta_{max} X_I < 1,4 \times \Delta_{avg} X_I$$

$$3,44 \text{ mm} < 1,4 \times 2,98 \text{ mm}$$

$$3,44 \text{ mm} < 4,18 \text{ mm} \text{ (OK atau Tidak Terjadi Ketidakberaturan)}$$

2. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 1 (Gedung B)

Tabel 4. 88 Kontrol Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan

Pemodelan Gedung B

Lantai	Δ_{max} (mm)		Δ_{avg} (mm)		$1,2 \Delta_{avg}$ (mm)		$1,4 \Delta_{avg}$ (mm)		Ratio		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
1	3,37	2,96	2,96	2,83	3,55	3,40	4,14	3,96	1,141	1,046	OK
2	6,95	5,89	6,13	5,63	7,35	6,75	8,58	7,88	1,134	1,046	OK
3	8,23	6,79	7,28	6,49	8,74	7,79	10,19	9,09	1,130	1,046	OK
4	9,66	8,01	8,53	7,66	10,23	9,19	11,94	10,72	1,133	1,047	OK
5	9,54	7,81	8,43	7,46	10,12	8,95	11,80	10,45	1,132	1,047	OK
6	8,78	7,07	7,78	6,75	9,33	8,10	10,89	9,45	1,129	1,047	OK
7	7,95	6,30	7,06	6,02	8,47	7,23	9,88	8,43	1,126	1,046	OK
8	9,02	7,55	7,98	7,23	9,58	8,67	11,17	10,12	1,130	1,044	OK
9	8,74	7,60	7,74	7,29	9,29	8,75	10,83	10,21	1,129	1,042	OK
10	6,07	5,41	5,39	5,20	6,47	6,24	7,55	7,28	1,125	1,041	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

3. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 2 (Gedung C)

Tabel 4. 89 Kontrol Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan

Pemodelan Gedung C

Lantai	Δ_{max} (mm)		Δ_{avg} (mm)		$1,2 \Delta_{avg}$ (mm)		$1,4 \Delta_{avg}$ (mm)		Ratio		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
1	3,38	2,96	2,96	2,83	3,55	3,40	4,14	3,96	1,141	1,047	OK
2	6,95	5,89	6,13	5,63	7,35	6,75	8,58	7,88	1,134	1,046	OK
3	8,23	6,79	7,28	6,49	8,74	7,79	10,19	9,09	1,131	1,046	OK
4	9,67	8,01	8,53	7,65	10,23	9,18	11,94	10,72	1,134	1,047	OK
5	9,55	7,81	8,43	7,46	10,12	8,95	11,80	10,44	1,132	1,047	OK
6	8,79	7,07	7,78	6,75	9,33	8,10	10,89	9,45	1,130	1,047	OK
7	7,95	6,30	7,06	6,02	8,47	7,23	9,88	8,43	1,127	1,046	OK
8	9,02	7,56	7,98	7,23	9,58	8,68	11,17	10,12	1,131	1,045	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 89 Kontrol Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan
Pemodelan Gedung C (Lanjutan)

Lantai	Δ_{max} (mm)		Δ_{avg} (mm)		1,2 Δ_{avg} (mm)		1,4 Δ_{avg} (mm)		Ratio		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
9	8,75	7,61	7,74	7,30	9,29	8,75	10,83	10,21	1,131	1,043	OK
10	6,08	5,41	5,39	5,20	6,47	6,24	7,55	7,28	1,127	1,041	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 3 (Gedung D)

Tabel 4. 90 Kontrol Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan
Pemodelan Gedung D

Lantai	Δ_{max} (mm)		Δ_{avg} (mm)		1,2 Δ_{avg} (mm)		1,4 Δ_{avg} (mm)		Ratio		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
1	3,36	2,99	2,93	2,86	3,51	3,43	4,10	4,00	1,148	1,045	OK
2	6,82	5,96	5,97	5,71	7,17	6,85	8,36	7,99	1,143	1,045	OK
3	8,00	6,90	7,01	6,61	8,42	7,93	9,82	9,25	1,140	1,045	OK
4	9,38	8,14	8,21	7,79	9,85	9,34	11,49	10,90	1,143	1,045	OK
5	9,19	7,95	8,05	7,60	9,66	9,12	11,26	10,64	1,143	1,045	OK
6	8,40	7,21	7,36	6,90	8,84	8,28	10,31	9,66	1,141	1,045	OK
7	7,54	6,44	6,63	6,17	7,95	7,40	9,28	8,63	1,139	1,044	OK
8	8,65	7,69	7,58	7,37	9,10	8,85	10,61	10,32	1,141	1,043	OK
9	8,40	7,72	7,37	7,41	8,84	8,90	10,31	10,38	1,140	1,041	OK
10	5,83	5,47	5,13	5,26	6,15	6,31	7,18	7,36	1,136	1,039	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

5. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 4 (Gedung E)

Tabel 4. 91 Kontrol Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan
Pemodelan Gedung E

Lantai	Δ_{max} (mm)		Δ_{avg} (mm)		1,2 Δ_{avg} (mm)		1,4 Δ_{avg} (mm)		Ratio		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
1	3,34	2,98	2,93	2,86	3,51	3,43	4,10	4,00	1,140	1,043	OK
2	6,78	5,95	5,97	5,71	7,17	6,85	8,36	7,99	1,135	1,042	OK
3	7,94	6,89	7,01	6,61	8,42	7,93	9,82	9,25	1,132	1,042	OK
4	9,32	8,12	8,21	7,79	9,85	9,34	11,49	10,90	1,135	1,043	OK
5	9,13	7,93	8,05	7,61	9,66	9,13	11,27	10,65	1,135	1,043	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 91 Kontrol Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan
Pemodelan Gedung E (Lanjutan)

Lantai	Δ_{max} (mm)		Δ_{avg} (mm)		$1,2 \Delta_{avg}$ (mm)		$1,4 \Delta_{avg}$ (mm)		Ratio		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
6	8,34	7,19	7,36	6,89	8,84	8,27	10,31	9,65	1,133	1,043	OK
7	7,50	6,44	6,63	6,17	7,96	7,40	9,28	8,64	1,131	1,043	OK
8	8,59	7,67	7,58	7,37	9,09	8,84	10,61	10,32	1,133	1,041	OK
9	8,34	7,70	7,36	7,41	8,83	8,89	10,31	10,37	1,133	1,04	OK
10	5,80	5,47	5,14	5,26	6,16	6,32	7,19	7,37	1,129	1,039	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

6. Rekapitulasi Kontrol Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan
Setiap Pemodelan

Tabel 4. 92 Rekapitulasi Kontrol Ketidakberaturan Torsi dan Torsi
Berlebihan Setiap Pemodelan

Lantai	Ratio Torsi dan Torsi Berlebihan									
	Gedung A		Gedung B		Gedung C		Gedung D		Gedung E	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
1	1,153	1,044	1,141	1,046	1,141	1,047	1,148	1,045	1,140	1,043
2	1,150	1,043	1,134	1,046	1,134	1,046	1,143	1,045	1,135	1,042
3	1,148	1,043	1,130	1,046	1,131	1,046	1,140	1,045	1,132	1,042
4	1,151	1,044	1,133	1,047	1,134	1,047	1,143	1,045	1,135	1,043
5	1,152	1,044	1,132	1,047	1,132	1,047	1,143	1,045	1,135	1,043
6	1,151	1,043	1,129	1,047	1,130	1,047	1,141	1,045	1,133	1,043
7	1,149	1,043	1,126	1,046	1,127	1,046	1,139	1,044	1,131	1,043
8	1,151	1,042	1,130	1,044	1,131	1,045	1,141	1,043	1,133	1,041
9	1,151	1,041	1,129	1,042	1,131	1,043	1,140	1,041	1,133	1,040
10	1,146	1,039	1,125	1,041	1,127	1,041	1,136	1,039	1,129	1,039

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 93 Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Torsi dan Torsi
Berlebihan terhadap Pemodelan Gedung A pada Lantai 10

Variasi Pemodelan	Nilai Perbandingan Terhadap Gedung A			
	Arah X		Arah Y	
	%	Kali	%	Kali
Gedung B	1,87	0,9817	0,19	1,0019
Gedung C	1,69	0,9834	0,19	1,0019
Gedung D	0,88	0,9913	0,00	1
Gedung E	1,51	0,9852	0,00	1

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

71

Berdasarkan Tabel 4.87 hingga Tabel 4.93, hasil evaluasi ketidakberaturan torsi dan torsi berlebihan pada setiap model, baik dengan variasi luas dan posisi *void* maupun tanpa *void*, menunjukkan bahwa keberadaan *void* memengaruhi besarnya nilai tersebut. Namun demikian, seluruh model masih berada dalam batas yang diizinkan sehingga tidak mengalami ketidakberaturan torsi maupun torsi berlebihan. Analisis perbandingan dilakukan dengan menjadikan model Gedung A sebagai acuan terhadap model lainnya. Dari hasil tersebut diperoleh nilai perbandingan sebesar 1,87% pada arah *x* dan 0,19% pada arah *y* terhadap Gedung B, sebesar 1,69% pada arah *x* dan 0,19% pada arah *y* terhadap Gedung C, sebesar 0,88% pada arah *x* dan tidak terjadi perubahan nilai pada arah *y* terhadap Gedung D, serta sebesar 1,51% pada arah *x* dan tidak terjadi perubahan nilai pada arah *y* terhadap Gedung E. Adapun contoh perhitungan perbandingan pada pemodelan Gedung B sebagai berikut:

Nilai Perbandingan

$$\begin{aligned}\text{Gedung B terhadap Gedung A} &= \frac{(\text{Ratio } X_{10} \text{ Ged B} - \text{Ratio } X_{10} \text{ Ged A})}{\text{Ratio } X_{10} \text{ Ged B}} \% \\ &= \frac{(1,125 - 1,146)}{1,125} \% \\ &= 1,87\%\end{aligned}$$

Hasil penelitian ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Usman dkk., (2025), bahwa variasi luas dan letak *void* memberikan pengaruh terhadap distribusi kekakuan struktur, yang kemudian berdampak pada respons bangunan terhadap beban lateral. Meskipun demikian, pengaruh yang terjadi relatif kecil dan masih dalam batas aman, sehingga tidak menyebabkan terjadinya ketidakberaturan torsi maupun torsi berlebihan pada struktur bangunan.

4

2. Ketidakberaturan Sudut Dalam (Poin 2)

16

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 13 Poin 2 dan Subbab 2.5.9, ketidakberaturan sudut dalam dinyatakan terjadi apabila kedua dimensi proyeksi denah struktur pada bagian sudut dalam melebihi 15% dari dimensi total denah bangunan pada arah yang ditinjau. Namun, pada perencanaan setiap pemodelan Gedung model A, B, C, D, dan E, tidak ditemukan adanya konfigurasi denah yang memiliki sudut dalam dengan kriteria tersebut. Seluruh pemodelan pada perencanaan ini tidak termasuk dalam kategori ketidakberaturan sudut dalam, sehingga distribusi gaya lateral pada struktur dapat dianggap lebih merata dan perilaku struktur terhadap beban gempa menjadi lebih stabil.

1
3. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma (Poin 3)

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 13 Poin 3 dan Subbab 2.5.9, ketidakberaturan diskontinuitas diafragma terjadi apabila suatu diafragma lantai mengalami perubahan kekakuan yang signifikan atau memiliki bagian yang terputus secara tiba-tiba. Kondisi ini dapat berupa adanya bukaan atau area terbuka pada diafragma yang luasnya melebihi 50% dari luas total diafragma yang seharusnya tertutup, atau adanya perbedaan kekakuan diafragma yang melebihi 50% antara satu tingkat dengan tingkat di atas atau di bawahnya. Keberadaan diskontinuitas diafragma dapat menyebabkan distribusi gaya lateral menjadi tidak merata, sehingga beban gempa tidak tersalurkan secara optimal ke elemen vertikal pemikul gaya lateral.

1. Struktur SRPMK Tanpa Void (Gedung A)

Pada pemodelan Gedung A, tidak terdapat bukaan atau area terbuka pada diafragma. Oleh karena itu, pada model ini tidak terjadi ketidakberaturan diskontinuitas diafragma.

2. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 1 (Gedung B)

Tabel 4. 94 Kontrol Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma
Pemodelan Gedung B

Dimensi Area		Luas Area (m ²)	Dimensi Bukaan		Luas Bukaan (m ²)	Kekakuan Diafragma Efektif (%)	Cek
<i>x</i> (m)	<i>y</i> (m)		<i>x</i> (m)	<i>y</i> (m)			
15	28	420	4	5	80	30,95	OK
			4	5			
			20	2			

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Adapun contoh perhitungan kontrol ketidakberaturan diskontinuitas diafragma pada Tabel 4.94 sebagai berikut:

Luas Area

$$\begin{aligned}\text{Luas Area} &= \text{Dimensi Area } X \times \text{Dimensi Area } Y \\ &= 15 \text{ m} \times 28 \text{ m} \\ &= 420 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Luas Bukaan

$$\begin{aligned}\text{Luas Bukaan} &= \text{Dimensi Bukaan } X \times \text{Dimensi Bukaan } Y \\ &= (4 \text{ m} \times 5 \text{ m}) + (4 \text{ m} \times 5 \text{ m}) + (20 \text{ m} \times 2 \text{ m}) \\ &= 80 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Kekakuan Diafragma Efektif

$$\begin{aligned}
 & ((\text{Luas Area}/2) - \text{Luas Bukaannya}) / \text{Luas Area} < 50\% \\
 & ((420 \text{ m}^2/2) - 80 \text{ m}^2) / 420 \text{ m}^2 < 50\% \\
 & 30,95\% < 50\%
 \end{aligned}$$

(OK atau Tidak Terjadi Ketidakberaturan)

3. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 2 (Gedung C)

Tabel 4. 95 Kontrol Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma
Pemodelan Gedung C

Dimensi Area		Luas Area (m ²)	Dimensi Bukaannya		Luas Bukaannya (m ²)	Kekuatan Diafragma Efektif (%)	Cek
x (m)	y (m)		x (m)	y (m)			
15	28	420	4	5	80	30,95	OK
			4	5			
			20	2			

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 3 (Gedung D)

Tabel 4. 96 Kontrol Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma
Pemodelan Gedung D

Dimensi Area		Luas Area (m ²)	Dimensi Bukaannya		Luas Bukaannya (m ²)	Kekuatan Diafragma Efektif (%)	Cek
x (m)	y (m)		x (m)	y (m)			
15	28	420	4	5	64	34,76	OK
			4	5			
			12	2			

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

5. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 4 (Gedung E)

Tabel 4. 97 Kontrol Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma
Pemodelan Gedung E

Dimensi Area		Luas Area (m ²)	Dimensi Bukaannya		Luas Bukaannya (m ²)	Kekuatan Diafragma Efektif (%)	Cek
x (m)	y (m)		x (m)	y (m)			
15	28	420	4	5	64	34,76	OK
			4	5			
			20	2			

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

6. Rekapitulasi Kontrol Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma Setiap Pemodelan

Tabel 4. 98 Rekapitulasi Kontrol Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma Setiap Pemodelan

Variasi Pemodelan	Kekakuan Diafragma Efektif (%)
Gedung A	0
Gedung B	30,95
Gedung C	30,95
Gedung D	34,76
Gedung E	34,76

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.94 hingga Tabel 4.98, hasil evaluasi ketidakberaturan diskontinuitas diafragma pada setiap pemodelan, baik dengan variasi luas dan posisi *void* maupun tanpa *void*, menunjukkan bahwa keberadaan *void* berpengaruh terhadap nilai kekakuan diafragma. Meskipun demikian, seluruh model masih berada dalam batas yang diizinkan sehingga tidak mengalami ketidakberaturan diskontinuitas diafragma. Nilai kekakuan diafragma efektif pada Gedung B dan C sebesar 30,95%, sedangkan pada Gedung D dan E sebesar 34,76%. Sementara itu, pada Gedung A tidak diperoleh nilai kekakuan diafragma efektif karena tidak terdapat bukaan pada diafragma. Hasil penelitian ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Usman dkk., (2025), bahwa variasi luas dan letak *void* memengaruhi tingkat kekakuan diafragma, yang selanjutnya berdampak pada kemampuan struktur dalam mendistribusikan gaya lateral secara merata ke seluruh elemen struktur tanpa menimbulkan konsentrasi gaya yang berlebihan.

4. Ketidakberaturan akibat Pergeseran Tegak Lurus terhadap Bidang (Poin 4)

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 13 Poin 4 dan Subbab 2.5.9, ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang dapat terjadi apabila terdapat diskontinuitas pada jalur penyaluran gaya lateral, misalnya adanya pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada salah satu elemen vertikal yaitu kolom yang berfungsi sebagai pemikul gaya lateral. Namun, pada perencanaan setiap pemodelan Gedung model A, B, C, D, dan E tidak ditemukan adanya ketidakberaturan tersebut. Hal ini disebabkan karena elemen kolom pada bangunan direncanakan menerus

dari bagian bawah hingga ke bagian atas, sehingga jalur penyaluran gaya lateral tetap kontinu atau menerus dari bawah hingga atas.

5. Ketidakberaturan Sistem Nonparalel (Poin 5)

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 13 Poin 5 dan Subab 2.5.9, ketidakberaturan sistem nonparalel terjadi apabila elemen vertikal yaitu kolom yang berfungsi sebagai pemikul gaya lateral tidak sejajar dengan sumbu ortogonal utama dari sistem pemikul gaya seismik. Namun, pada perencanaan setiap pemodelan Gedung model A, B, C, D, dan E dalam penelitian ini, elemen struktur utama seperti kolom dan balok direncanakan sejajar serta tegak lurus terhadap sumbu ortogonalnya, sehingga kondisi ketidakberaturan sistem nonparalel tidak terjadi pada perencanaan bangunan ini.

4.5.8 Kontrol Ketidakberaturan Vertikal

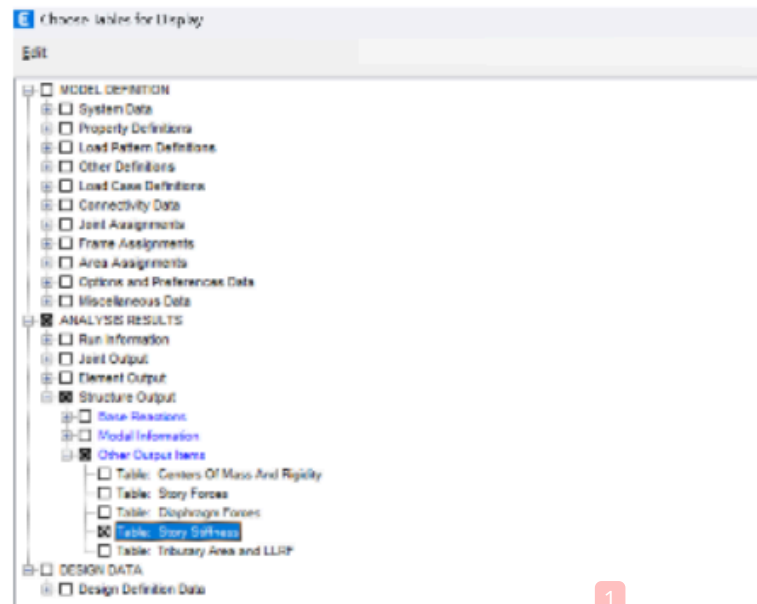
Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.3 dan pembahasan pada Subbab 2.5.9, struktur bangunan yang direncanakan perlu diklasifikasikan sebagai struktur beraturan atau tidak beraturan. Penentuan klasifikasi tersebut didasarkan pada konfigurasi struktur baik secara horizontal maupun vertikal. Dalam proses pemeriksaan struktur, identifikasi terhadap ketidakberaturan horizontal harus mengacu pada ketentuan yang tercantum dalam SNI 1726:2019 Tabel 13 dan Tabel 14.

1. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (Poin 1a) dan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan (Poin 1b)

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 14 serta Subbab 2.5.9, ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dinyatakan terjadi apabila suatu tingkat memiliki kekakuan lateral kurang dari 70% terhadap kekakuan tingkat di atasnya, atau kurang dari 80% terhadap rata-rata kekakuan lateral tiga tingkat di atasnya. Sementara itu, ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan terjadi apabila kekakuan lateral suatu tingkat kurang dari 60% dibandingkan tingkat di atasnya, atau kurang dari 70% terhadap rata-rata kekakuan tiga tingkat di atasnya. Ketentuan ini digunakan sebagai acuan untuk mengidentifikasi adanya perbedaan kekakuan yang signifikan antar tingkat yang dapat memengaruhi kinerja struktur terhadap beban gempa.

Pada *software* ETABS v.22, parameter yang diperlukan untuk mengevaluasi ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dan tingkat lunak berlebihan dapat diperoleh melalui tabel hasil analisis. Langkahnya dimulai dengan membuka menu *Display*, kemudian memilih *Show Tables*, selanjutnya masuk ke bagian *Analysis Results*, dilanjutkan ke

Structure Output, lalu memilih *Other Output Items*, dan kemudian *Story Stiffness*. Melalui menu pada tabel tersebut, nilai parameter yang dibutuhkan untuk melakukan kontrol ketidakberaturan kekakuan antar tingkat dapat ditampilkan dan selanjutnya digunakan dalam proses evaluasi struktur.



Gambar 4. 59 Step Output untuk Nilai Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan pada ETABS

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

1. Struktur SRPMK Tanpa *Void* (Gedung A)

Tabel 4. 99 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Pemodelan Gedung A

Lantai	Kekakuan (kN/m)		Kekakuan Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)		Kekakuan Terhadap Rerata Tiga Tingkat Berikutnya (%)		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
1	2053219,1	2068767,9	204,78	204,25	246,79	246,30	OK
2	1002647,8	1012854,0	121,07	120,84	141,95	142,47	OK
3	828165,1	838147,2	124,52	125,32	131,11	132,36	OK
4	665088,4	668783,7	106,28	106,86	111,60	112,14	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 99 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Pemodelan Gedung A (Lanjutan)

Lantai	Kekakuan (kN/m)		Kekakuan Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)		Kekakuan Terhadap Rerata Tiga Tingkat Berikutnya (%)		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
5	625759,5	625878,8	103,57	103,44	122,90	123,67	OK
6	604192,2	605047,6	108,31	108,40	153,36	156,83	OK
7	557854,3	558153,6	152,65	157,17	213,25	223,66	OK
8	365445,0	355119,5	141,31	145,47	174,29	180,47	OK
9	258613,4	244125,0	160,89	163,37	160,89	163,37	OK
10	160741,7	149427,7	100,00	100,00	100,00	100,00	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Adapun contoh perhitungan kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dan kekakuan tingkat lunak berlebihan pada Tabel 4.99 sebagai berikut:

Kekakuan Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)

$$\begin{aligned}
 \text{Arah } X_1 &= (\text{Kekakuan } X_1 / \text{Kekakuan } X_2) \times 100\% \\
 &= (2053219,1 \text{ kN/m} / 1002647,8 \text{ kN/m}) \times 100\% \\
 &= 207,48\%
 \end{aligned}$$

Kekakuan Terhadap Rerata Tiga Tingkat Berikutnya (%)

$$\begin{aligned}
 \text{Arah } X_1 &= (\text{Kekakuan } X_1 / (\text{Kekakuan } X_2 + \text{Kekakuan } X_3 + \text{Kekakuan } X_4)) \times 100\% \\
 &= (2053219,1 \text{ kN/m} / (1002647,8 \text{ kN/m} + 828165,1 \text{ kN/m} + 665088,4 \text{ kN/m})) \times 100\% \\
 &= 246,79\%
 \end{aligned}$$

Pengecekan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Ia

Kekakuan Terhadap Satu Tingkat Berikutnya $X_1 > 70\%$

204,78% > 70% (**OK atau Tidak Terjadi Ketidakberaturan**)

Kekakuan Terhadap Rerata Tiga Tingkat Berikutnya $X_1 > 80\%$

246,79% > 80% (**OK atau Tidak Terjadi Ketidakberaturan**)

Pengecekan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Ib

Kekakuan Terhadap Satu Tingkat Berikutnya $X_I > 60\%$

204,78% > 60% **(OK atau Tidak Terjadi Ketidakberaturan)**

Kekakuan Terhadap Rerata Tiga Tingkat Berikutnya $X_I > 70\%$

246,79% > 70% **(OK atau Tidak Terjadi Ketidakberaturan)**

2. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 1 (Gedung B)

Tabel 4. 100 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Pemodelan Gedung B

Lantai	Kekakuan (kN/m)		Kekakuan Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)		Kekakuan Terhadap Rerata Tiga Tingkat Berikutnya (%)		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
1	1868004,7	2152744,5	210,24	201,93	256,12	242,69	OK
2	888508,9	1066074,7	123,30	120,03	145,11	141,57	OK
3	720626,3	888180,2	124,49	125,64	132,73	132,28	OK
4	578885,6	706898,0	107,71	106,47	114,50	111,52	OK
5	537446,6	663971,8	104,87	103,18	125,04	123,83	OK
6	512490,9	643518,0	109,80	108,31	154,01	158,42	OK
7	466746,9	594121,6	150,44	160,16	207,11	226,78	OK
8	310263,6	370946,9	140,20	146,30	169,62	178,77	OK
9	221302,2	253560,1	153,12	157,06	153,12	157,06	OK
10	144525,0	161440,2	100,00	100,00	100,00	100,00	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

3. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 2 (Gedung C)

Tabel 4. 101 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Pemodelan Gedung C

Lantai	Kekakuan (kN/m)		Kekakuan Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)		Kekakuan Terhadap Rerata Tiga Tingkat Berikutnya (%)		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
1	1868016,2	2153974,3	210,24	201,92	256,12	242,67	OK
2	888521,9	1066772,0	123,30	120,03	145,10	141,60	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 101 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Pemodelan Gedung C (Lanjutan)

Lantai	Kekakuan (kN/m)		Kekakuan Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)		Kekakuan Terhadap Rerata Tiga Tingkat Berikutnya (%)		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
3	720642,8	888775,9	124,48	125,67	132,72	132,33	OK
4	578899,7	707249,5	107,71	106,49	114,50	111,57	OK
5	537469,9	664142,5	104,87	103,21	125,03	123,87	OK
6	512532,8	643500,7	109,80	108,33	154,00	158,43	OK
7	466801,2	594007,5	150,43	160,14	207,10	226,74	OK
8	310301,9	370938,5	140,20	146,30	169,61	178,77	OK
9	221332,6	253552,6	153,10	157,07	153,10	157,07	OK
10	144563,8	161427,3	100,00	100,00	100,00	100,00	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 3 (Gedung D)

Tabel 4. 102 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Pemodelan Gedung D

Lantai	Kekakuan (kN/m)		Kekakuan Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)		Kekakuan Terhadap Rerata Tiga Tingkat Berikutnya (%)		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
1	1975093,3	2117729,5	207,01	202,88	250,58	244,16	OK
2	954085,2	1043816,6	121,97	120,36	143,21	141,92	OK
3	782206,8	867225,7	124,48	125,49	131,73	132,29	OK
4	628375,3	691068,4	106,86	106,62	112,77	111,81	OK
5	588061,0	648172,6	104,08	103,31	123,83	123,87	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 102 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Pemodelan Gedung D (Lanjutan)

Lantai	Kekakuan (kN/m)		Kekakuan Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)		Kekakuan Terhadap Rerata Tiga Tingkat Berikutnya (%)		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
6	565000,2	627391,2	108,95	108,41	153,85	157,97	OK
7	518601,9	578730,4	152,05	159,14	210,53	225,51	OK
8	341071,9	363659,8	140,91	146,02	171,43	179,04	OK
9	242057,7	249055,1	155,30	158,45	155,30	158,45	OK
10	155867,0	157181,1	100,00	100,00	100,00	100,00	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

5. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 4 (Gedung E)

Tabel 4. 103 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Pemodelan Gedung E

Lantai	Kekakuan (kN/m)		Kekakuan Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)		Kekakuan Terhadap Rerata Tiga Tingkat Berikutnya (%)		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
1	1975086,8	2116527,0	207,02	202,90	250,56	244,14	OK
2	954076,4	1043154,9	121,97	120,36	143,21	141,90	OK
3	782195,5	866677,8	124,45	125,43	131,72	132,21	OK
4	628510,7	690986,3	106,90	106,67	112,82	111,82	OK
5	587930,3	647808,3	104,04	103,20	123,81	123,79	OK
6	565088,7	627734,8	109,02	108,54	153,88	158,04	OK
7	518325,5	578355,6	151,94	158,94	210,42	225,25	OK
8	341143,1	363891,9	140,86	145,95	171,50	179,09	OK
9	242189,9	249328,3	155,61	158,75	155,61	158,75	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 103 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Pemodelan Gedung E (Lanjutan)

Lantai	Kekakuan (kN/m)		Kekakuan Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)		Kekakuan Terhadap Rerata Tiga Tingkat Berikutnya (%)		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
10	155643,0	157055,4	100,00	100,00	100,00	100,00	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

6. Rekapitulasi Kontrol Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Setiap Pemodelan

Tabel 4. 104 Rekapitulasi Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan Setiap Pemodelan

Lantai	Kekakuan (kN/m)									
	Gedung A		Gedung B		Gedung C		Gedung D		Gedung E	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
1	20532 19,1	20687 67,9	18680 04,7	21527 44,5	18680 16,2	21539 74,3	19750 93,3	21177 29,5	19750 86,8	21165 27,0
2	10026 47,8	10128 54,0	88850 8,9	10660 74,7	88852 1,9	10667 72,0	95408 5,2	10438 16,6	95407 6,4	10431 54,9
3	82816 5,1	83814 7,2	72062 6,3	88818 0,2	72064 2,8	88877 5,9	78220 6,8	86722 5,7	78219 5,5	86667 7,8
4	66508 8,4	66878 3,7	57888 5,6	70689 8,0	57889 9,7	70724 9,5	62837 5,3	69106 8,4	62851 0,7	69098 6,3
5	62575 9,5	62587 8,8	53744 6,6	66397 1,8	53746 9,9	66414 2,5	58806 1,0	64817 2,6	58793 0,3	64780 8,3
6	60419 2,2	60504 7,6	51249 0,9	64351 8,0	51253 2,8	64350 0,7	56500 0,2	62739 1,2	56508 8,7	62773 4,8
7	55785 4,3	55815 3,6	46674 6,9	59412 1,6	46680 1,2	59400 7,5	51860 1,9	57873 0,4	51832 5,5	57835 5,6
8	36544 5,0	35511 9,5	31026 3,6	37094 6,9	31030 1,9	37093 8,5	34107 1,9	36365 9,8	34114 3,1	36389 1,9
9	25861 3,4	24412 5,0	22130 2,2	25356 0,1	22133 2,6	25355 2,6	24205 7,7	24905 5,1	24218 9,9	24932 8,3
10	16074 1,7	14942 7,7	14452 5,0	16144 0,2	14456 3,8	16142 7,3	15586 7,0	15718 1,1	15564 3,0	15705 5,4

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 105 Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan terhadap Pemodelan Gedung A pada Lantai 10

Variasi Pemodelan	Nilai Perbandingan Terhadap Gedung A			
	Arah X		Arah Y	
	%	Kali	%	Kali
Gedung B	11,22	0,8991	7,44	1,0804
Gedung C	11,19	0,8994	7,43	1,0803
Gedung D	3,13	0,9697	4,93	1,0519
Gedung E	3,28	0,9683	4,86	1,0510

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.99 hingga Tabel 4.105, nilai ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dan tingkat lunak berlebihan pada setiap pemodelan, baik dengan variasi luas dan letak *void* maupun pada model tanpa *void*, menunjukkan bahwa keberadaan *void* dapat memengaruhi besarnya kekakuan antar tingkat pada struktur bangunan. Perbandingan dilakukan dengan menggunakan model Gedung A sebagai acuan terhadap variasi pemodelan lainnya. Dari hasil tersebut diperoleh nilai perbandingan sebesar 11,22% pada arah *x* dan 7,44% pada arah *y* terhadap Gedung B, 11,19% pada arah *x* dan 7,43% pada arah *y* terhadap Gedung C, 3,13% pada arah *x* dan 4,93% pada arah *y* terhadap Gedung D, serta 3,28% pada arah *x* dan 4,86% pada arah *y* terhadap Gedung E. Adapun contoh perhitungan perbandingan pada pemodelan Gedung B sebagai berikut:

Nilai Perbandingan

$$\begin{aligned}
 \text{Gedung B terhadap Gedung A} &= \frac{(\text{Kekakuan } X_{10} \text{ B} - \text{Kekakuan } X_{10} \text{ A})}{\text{Kekakuan } X_{10} \text{ B}} \% \\
 &= \frac{(144525,0 - 160741,7)}{144525,0} \% \\
 &= 11,22\%
 \end{aligned}$$

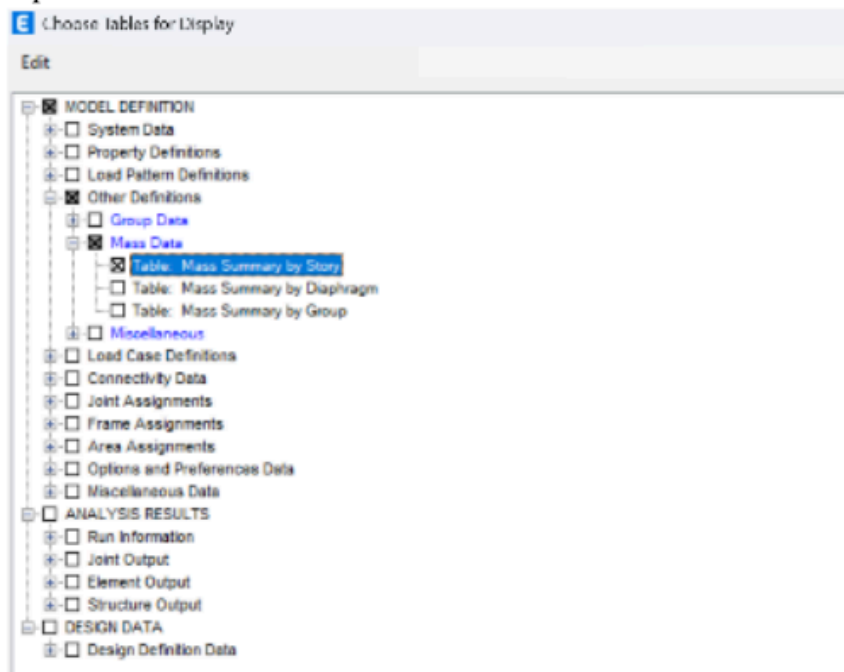
Hasil penelitian ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Usman dkk., (2025), adanya perbedaan nilai kekakuan antar tingkat pada setiap pemodelan, yang mengindikasikan bahwa variasi luas dan letak *void* menyebabkan perubahan distribusi kekakuan struktur. Perubahan tersebut berpengaruh terhadap kemampuan struktur dalam menahan dan merespons beban lateral, karena kekakuan merupakan faktor utama dalam mengendalikan deformasi dan stabilitas bangunan. Meskipun demikian, seluruh pemodelan masih berada

dalam batas yang diizinkan sehingga tidak terjadi ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak maupun tingkat lunak berlebihan.

2. Ketidakberaturan Berat/Massa (Poin 2)

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 4.2.14 serta Subbab 2.5.9, ketidakberaturan berat (massa) dinyatakan terjadi apabila massa efektif pada suatu tingkat melebihi 150% dari massa efektif pada tingkat yang berdekatan. Ketentuan ini digunakan untuk mengidentifikasi adanya lonjakan massa yang signifikan antar lantai yang dapat memengaruhi respons struktur terhadap beban gempa. Namun demikian, untuk bagian atap yang memiliki massa lebih ringan dibandingkan lantai di bawahnya, tidak perlu dilakukan evaluasi dalam kriteria ketidakberaturan ini.

Pada *software* ETABS v.22, parameter yang digunakan untuk mengevaluasi ketidakberaturan berat atau massa dapat diperoleh melalui tabel hasil analisis. Langkahnya diawali dengan membuka menu *Display*, kemudian memilih *Show Tables*, selanjutnya masuk ke bagian *Model Definition*, dilanjutkan ke *Other Definitions*, lalu memilih *Mass Data*, dan tahap akhir memilih *Mass Summary by Story*. Melalui menu tersebut, data massa tiap lantai dapat ditampilkan sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam melakukan kontrol ketidakberaturan berat atau massa pada struktur.



Gambar 4. 60 *Step Output* untuk Nilai Kontrol Ketidakberaturan Berat/Massa pada ETABS
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

1. Struktur SRPMK Tanpa Void (Gedung A)

Tabel 4. 106 Kontrol Ketidakberaturan Berat/Massa Pemodelan Gedung A

Lantai	Massa (kg)	Massa Efektif Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)	Cek
1	761162,81	100,00	OK
2	761162,81	109,41	OK
3	695695,14	111,07	OK
4	626339,94	100,00	OK
5	626339,94	100,00	OK
6	626339,94	103,82	OK
7	603299,94	123,06	OK
8	490250,34	94,10	OK
9	520979,49	152,69	Cek V.2
10	341209,88	100,00	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Adapun contoh perhitungan kontrol ketidakberaturan berat/massa pada Tabel 4.106 sebagai berikut:

Massa Efektif Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Efektif}_2 &= \text{Massa}_2 / \text{Massa}_3 \times 100\% \\
 &= 761162,81 \text{ kg} / 695695,14 \text{ kg} \times 100\% \\
 &= 109,41\%
 \end{aligned}$$

Pengecekan Ketidakberaturan Berat/Massa

$$\text{Massa Efektif}_2 < 1,5 \times \text{Massa Efektif}_1$$

$$109,41\% < 1,5 \times 100\%$$

$$109,41\% < 150\%$$

(OK atau Tidak Terjadi Ketidakberaturan)

$$\text{Massa Efektif}_2 < 1,5 \text{ Massa Efektif}_3$$

$$109,41\% < 1,5 \times 100\%$$

$$109,41\% < 166,61\%$$

(OK atau Tidak Terjadi Ketidakberaturan)

2. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 1 (Gedung B)**Tabel 4. 107** Kontrol Ketidakberaturan Berat/Massa Pemodelan Gedung B

Lantai	Massa (kg)	Massa Efektif Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)	Cek
1	727334,56	100,00	OK
2	727334,56	109,33	OK
3	665257,45	111,65	OK
4	595830,25	100,00	OK
5	595830,25	100,00	OK
6	595830,25	104,02	OK
7	572790,25	127,58	OK
8	448964,65	95,64	OK
9	469450,75	137,58	OK
10	341209,88	100,00	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

3. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 2 (Gedung C)**Tabel 4. 108** Kontrol Ketidakberaturan Berat/Massa Pemodelan Gedung C

Lantai	Massa (kg)	Massa Efektif Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)	Cek
1	727334,56	100,00	OK
2	727334,56	109,33	OK
3	665257,45	111,65	OK
4	595830,25	100,00	OK
5	595830,25	100,00	OK
6	595830,25	104,02	OK
7	572790,25	127,58	OK
8	448964,65	95,64	OK
9	469450,75	137,58	OK
10	341209,88	100,00	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 3 (Gedung D)**Tabel 4. 109** Kontrol Ketidakberaturan Berat/Massa Pemodelan Gedung D

Lantai	Massa (kg)	Massa Efektif Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)	Cek
1	732940,35	100,00	OK
2	732940,35	109,41	OK
3	669894,51	111,52	OK
4	600707,31	100,00	OK
5	600707,31	100,00	OK
6	600707,31	103,99	OK
7	577667,31	126,12	OK
8	458017,71	95,14	OK
9	481430,39	141,10	OK
10	341209,88	100,00	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

5. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 4 (Gedung E)**Tabel 4. 110** Kontrol Ketidakberaturan Berat/Massa Pemodelan Gedung E

Lantai	Massa (kg)	Massa Efektif Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)	Cek
1	732940,35	100,00	OK
2	732940,35	109,41	OK
3	669894,51	111,52	OK
4	600707,31	100,00	OK
5	600707,31	100,00	OK
6	600707,31	103,99	OK
7	577667,31	126,12	OK
8	458017,71	95,14	OK
9	481430,39	141,10	OK
10	341209,88	100,00	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

6. Rekapitulasi Kontrol Ketidakberaturan Berat/Massa Setiap Pemodelan

Tabel 4. 111 Rekapitulasi Kontrol Ketidakberaturan Berat/Massa Setiap Pemodelan

Lantai	Berat/Massa (kg)				
	Gedung A	Gedung B	Gedung C	Gedung D	Gedung E
1	761162,8	727334,6	727334,6	732940,4	732940,4
2	761162,8	727334,6	727334,6	732940,4	732940,4
3	695695,1	665257,5	665257,5	669894,5	669894,5
4	626339,9	595830,3	595830,3	600707,3	600707,3
5	626339,9	595830,3	595830,3	600707,3	600707,3
6	626339,9	595830,3	595830,3	600707,3	600707,3
7	603299,9	572790,3	572790,3	577667,3	577667,3
8	490250,3	448964,7	448964,7	458017,7	458017,7
9	520979,5	469450,8	469450,8	481430,4	481430,4
10	341209,9	341209,9	341209,9	341209,9	341209,9

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 112 Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Berat/Massa terhadap Pemodelan Gedung A pada Lantai 9

Variasi Pemodelan	Nilai Perbandingan Terhadap Gedung A Massa Efektif Terhadap Tingkat Berikutnya (%)
Gedung B	10,98
Gedung C	10,98
Gedung D	8,21
Gedung E	8,21

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.106 hingga Tabel 4.112, nilai ketidakberaturan berat/massa pada setiap pemodelan, baik dengan variasi luas dan letak *void* maupun pada model tanpa *void*, menunjukkan bahwa keberadaan *void* dapat memengaruhi besarnya nilai massa pada struktur bangunan. Perbandingan dilakukan dengan menggunakan model Gedung A sebagai acuan terhadap variasi pemodelan lainnya. Dari hasil tersebut diperoleh nilai perbandingan sebesar 10,98% terhadap Gedung B, 10,98% terhadap Gedung C, 8,21% terhadap Gedung D, dan 8,21% terhadap Gedung E. Adapun contoh

perhitungan perbandingan pada pemodelan Gedung B sebagai berikut:

Nilai Perbandingan

$$\begin{aligned}\text{Gedung B terhadap Gedung A} &= \frac{(\text{Massa Eff}_9 \text{ B} - \text{Massa Eff}_9 \text{ A})}{\text{Massa Eff}_9 \text{ B}} \% \\ &= \frac{(137,58 - 152,69)}{137,58} \% \\ &= 11,22\%\end{aligned}$$

Hasil penelitian ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Usman dkk., (2025), adanya perbedaan nilai massa antar pemodelan, yang mengindikasikan bahwa variasi luas dan letak *void* menyebabkan perubahan distribusi massa pada struktur bangunan. Perubahan tersebut berpengaruh terhadap respons struktur dalam menerima beban lateral, karena massa merupakan salah satu parameter utama dalam menentukan besarnya gaya gempa yang bekerja pada bangunan. Namun demikian, secara umum seluruh pemodelan masih berada dalam batas yang diizinkan, meskipun pada Gedung A terdapat indikasi ketidakberaturan massa pada lantai 9 yang memerlukan peninjauan lebih lanjut sesuai ketentuan yang berlaku.

3. Ketidakberaturan Geometri Vertikal (Poin 3)

4 Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 14 serta Subbab 2.5.9, ketidakberaturan geometri vertikal dinyatakan terjadi apabila dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik pada suatu tingkat melebihi 130% dibandingkan dimensi horizontal pada tingkat yang berdekatan. Ketentuan ini digunakan untuk mengidentifikasi adanya perubahan geometri yang signifikan antar tingkat yang dapat memengaruhi distribusi gaya gempa dan kinerja struktur secara keseluruhan.

Pada perencanaan pemodelan Gedung A hingga Gedung E, elemen geometri vertikal berupa kolom dirancang dengan dimensi yang seragam. Oleh karena itu, hasil pengecekan ketidakberaturan geometri vertikal pada seluruh model bangunan menunjukkan kondisi yang sama.

Tabel 4. 113 Kontrol Ketidakberaturan Geometri Vertikal Setiap Pemodelan

Lantai	Lebar Kolom (mm)	Dimensi Horizontal SRPMK Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)	Cek
1	1000	100,00	OK
2	1000	100,00	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 113 Kontrol Ketidakberaturan Geometri Vertikal Setiap Pemodelan (Lanjutan)

Lantai	Lebar Kolom (mm)	Dimensi Horizontal SRPMK Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)	Cek
3	1000	125,00	OK
4	800	100,00	OK
5	800	100,00	OK
6	800	100,00	OK
7	800	114,29	OK
8	700	100,00	OK
9	700	100,00	OK
10	700	100,00	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.113, nilai kontrol ketidakberaturan geometri vertikal pada setiap pemodelan menunjukkan bahwa seluruh tingkat masih berada dalam batas yang diizinkan, hal ini terlihat dari perbandingan dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik antar tingkat yang tidak melebihi batas 130% terhadap tingkat di bawah atau di atasnya. Adapun contoh perhitungan kontrol ketidakberaturan geometri vertikal pada Tabel 4.113 sebagai berikut:

Dimensi Horizontal SRPMK Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)

$$\begin{aligned}
 \text{Geometri Vertikal}_3 &= \text{Geometri Vertikal}_3 / \text{Geometri Vertikal}_4 \times 100\% \\
 &= 1000 \text{ mm} / 800 \text{ mm} \times 100\% \\
 &= 125\%
 \end{aligned}$$

Pengecekan Ketidakberaturan Berat/Massa

$$\begin{aligned}
 \text{Geometri Vertikal}_3 &< 1,3 \times \text{Geometri Vertikal}_2 \\
 125\% &< 1,3 \times 100\% \\
 125\% &< 130\%
 \end{aligned}$$

(OK atau Tidak Terjadi Ketidakberaturan)

$$\begin{aligned}
 \text{Geometri Vertikal}_3 &< 1,3 \text{ Geometri Vertikal}_4 \\
 125\% &< 1,3 \times 100\% \\
 125\% &< 130\%
 \end{aligned}$$

(OK atau Tidak Terjadi Ketidakberaturan)

Hasil penelitian ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Usman dkk., (2025), bahwa tidak terdapat ketidakberaturan geometri vertikal pada seluruh model bangunan. Dengan demikian, perubahan dimensi kolom yang direncanakan secara bertahap antar lantai masih tergolong

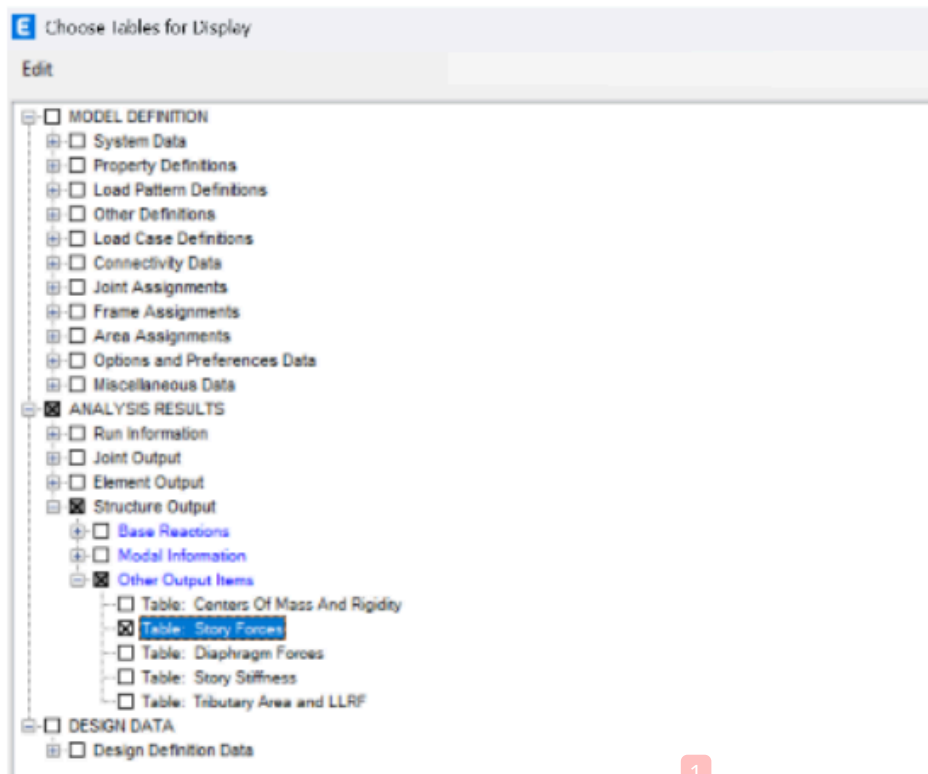
aman dan tidak menyebabkan diskontinuitas geometri yang signifikan. Kondisi ini mendukung distribusi gaya gempa yang lebih merata serta menjaga kinerja struktur tetap stabil dalam menahan beban lateral.

4. Ketidakberaturan akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral (Poin 4)

16 Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 14 serta Subbab 2.5.9, ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral dinyatakan terjadi apabila terdapat pergeseran arah bidang pada elemen tersebut yang nilainya melebihi panjang elemen itu sendiri, atau apabila terjadi penurunan kekakuan pada elemen pemikul gaya lateral di tingkat bawahnya. Ketentuan ini digunakan untuk mengidentifikasi adanya ketidaksinambungan jalur penyaluran gaya lateral yang dapat memengaruhi kinerja struktur dalam menahan beban gempa. Namun demikian, pada perencanaan setiap pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E tidak ditemukan adanya ketidakberaturan tersebut. Hal ini dikarenakan elemen kolom direncanakan menerus dan selaras dari bawah hingga ke atas, sehingga tidak terjadi pergeseran bidang maupun penurunan kekakuan yang signifikan pada elemen pemikul gaya lateral.

5. Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat (Poin 5a) dan Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat (Poin 5b)

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 14 serta Subbab 2.5.9, ketidakberaturan tingkat lemah terjadi akibat adanya perbedaan kapasitas kekuatan lateral antar tingkat pada elemen struktur, sehingga dapat menyebabkan distribusi gaya dan deformasi yang tidak merata sepanjang tinggi bangunan. Kondisi ini dinyatakan terjadi apabila kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80% dibandingkan dengan kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat yang dimaksud merupakan total kapasitas dari seluruh elemen pemikul gaya seismik yang berkontribusi dalam menahan geser tingkat pada arah yang ditinjau. Apabila penurunan kekuatan tersebut semakin signifikan hingga kurang dari 65% terhadap tingkat di atasnya, maka kondisi tersebut dikategorikan sebagai ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan. Ketentuan ini digunakan untuk mengidentifikasi adanya kelemahan lokal pada suatu tingkat yang berpotensi menimbulkan konsentrasi kerusakan serta meningkatkan risiko kegagalan struktur saat menerima beban gempa.



Gambar 4. 61 Step *Output* untuk Nilai Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Pada *software* ETABS v.22, parameter yang digunakan untuk mengevaluasi ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas kekuatan lateral, termasuk tingkat lemah berlebihan, dapat diperoleh melalui tabel hasil analisis. Prosesnya dilakukan dengan membuka menu *Display*, kemudian memilih *Show Tables*, selanjutnya masuk ke bagian *Analysis Result*, dilanjutkan ke *Structure Output*, dan memilih *Other Output Items*. Setelah itu, pilih *Story Forces* untuk menampilkan data yang diperlukan. Melalui menu tersebut, nilai parameter yang dibutuhkan untuk melakukan kontrol ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas kekuatan lateral dapat ditampilkan, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam proses evaluasi kinerja struktur.

1. Struktur SRPMK Tanpa Void (Gedung A)

Tabel 4. 114 Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat
Pemodelan Gedung A

Lantai	Gaya Geser (kN)		Diskontinuitas Kekuatan Lateral Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
1	6075,3	6073,3	101,79	101,79	OK
2	5968,4	5966,5	105,01	104,99	OK
3	5683,8	5683,0	107,51	107,46	OK
4	5286,7	5288,6	110,18	110,09	OK
5	4798,2	4803,7	114,85	114,75	OK
6	4178,0	4186,3	121,38	121,25	OK
7	3441,9	3452,6	130,34	130,03	OK
8	2640,7	2655,3	141,07	140,55	OK
9	1871,9	1889,2	221,97	220,48	OK
10	843,3	856,9	100,00	100,00	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Adapun contoh perhitungan kontrol ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat dan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat pada Tabel 4.114 sebagai berikut:

Diskontinuitas Kekuatan Lateral Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)

$$\begin{aligned}
 \text{Arah } X_2 &= (\text{Gaya Geser } X_2 / \text{Gaya Geser } X_3) \times 100\% \\
 &= (5968,4 \text{ kN} / 5683,8 \text{ kN}) \times 100\% \\
 &= 105,01\%
 \end{aligned}$$

Pengecekan Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat 5a

Diskontinuitas Kekuatan Lateral Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%) $X_2 > 80\%$

$105,01\% > 70\%$ (OK atau Tidak Terjadi Ketidakberaturan)

Pengecekan Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat 5b

Diskontinuitas Kekuatan Lateral Terhadap Satu Tingkat Berikutnya

(%) X_2 > 80%

105,01% > 60%

(OK atau Tidak Terjadi Ketidakberaturan)

2. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 1 (Gedung B)

Tabel 4. 115 Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat
Pemodelan Gedung B

Lantai	Gaya Geser (kN)		Diskontinuitas Kekuatan Lateral Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
1	5523,9	6097,4	101,82	101,78	OK
2	5425,1	5990,8	105,11	104,97	OK
3	5161,6	5707,2	107,62	107,51	OK
4	4796,0	5308,7	110,18	110,21	OK
5	4353,0	4817,0	114,79	115,01	OK
6	3792,2	4188,5	121,28	121,78	OK
7	3126,8	3439,5	130,17	130,89	OK
8	2402,1	2627,7	138,97	139,88	OK
9	1728,5	1878,6	208,53	209,82	OK
10	828,9	895,4	100,00	100,00	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

3. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 2 (Gedung C)

Tabel 4. 116 Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat
Pemodelan Gedung C

Lantai	Gaya Geser (kN)		Diskontinuitas Kekuatan Lateral Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
1	5524,1	6098,4	101,82	101,78	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 116 Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat
Pemodelan Gedung C (Lanjutan)

Lantai	Gaya Geser (kN)		Diskontinuitas Kekuatan Lateral Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
2	5425,2	5991,8	105,11	104,97	OK
3	5161,7	5708,1	107,62	107,51	OK
4	4796,1	5309,6	110,18	110,20	OK
5	4353,1	4818,0	114,79	115,00	OK
6	3792,3	4189,4	121,28	121,77	OK
7	3126,8	3440,4	130,17	130,88	OK
8	2402,1	2628,6	138,97	139,87	OK
9	1728,5	1879,3	208,53	209,81	OK
10	828,9	895,7	100,00	100,00	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 3 (Gedung D)

Tabel 4. 117 Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat
Pemodelan Gedung D

Lantai	Gaya Geser (kN)		Diskontinuitas Kekuatan Lateral Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
1	5784,1	6050,5	101,80	101,78	OK
2	5682,0	5944,7	105,04	104,97	OK
3	5409,6	5663,2	107,56	107,48	OK
4	5029,3	5268,9	110,19	110,16	OK
5	4564,1	4783,2	114,87	114,90	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 117 Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat Pemodelan Gedung D (Lanjutan)

Lantai	Gaya Geser (kN)		Diskontinuitas Kekuatan Lateral Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
6	3973,3	4162,9	121,45	121,57	OK
7	3271,5	3424,2	130,44	130,54	OK
8	2508,0	2623,1	139,87	139,96	OK
9	1793,1	1874,2	212,42	212,23	OK
10	844,1	883,1	100,00	100,00	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

5. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak Void 4 (Gedung E)

Tabel 4. 118 Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat Pemodelan Gedung E

Lantai	Gaya Geser (kN)		Diskontinuitas Kekuatan Lateral Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)		Cek
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
1	5784,0	6049,8	101,80	101,78	OK
2	5681,9	5944,0	105,04	104,97	OK
3	5409,5	5662,5	107,56	107,48	OK
4	5029,2	5268,2	110,19	110,16	OK
5	4564,0	4782,5	114,87	114,91	OK
6	3973,2	4162,1	121,45	121,58	OK
7	3271,4	3423,4	130,44	130,55	OK
8	2508,0	2622,3	139,87	139,96	OK
9	1793,1	1873,6	212,43	212,24	OK
10	844,1	882,8	100,00	100,00	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

6. Rekapitulasi Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat Setiap Pemodelan

Tabel 4. 119 Rekapitulasi Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat Setiap Pemodelan

Lantai	Diskontinuitas Kekuatan Lateral Terhadap Satu Tingkat Berikutnya (%)									
	Gedung A		Gedung B		Gedung C		Gedung D		Gedung E	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
1	101,79	101,79	101,82	101,78	101,82	101,78	101,80	101,78	101,80	101,78
2	105,01	104,99	105,11	104,97	105,11	104,97	105,04	104,97	105,04	104,97
3	107,51	107,46	107,62	107,51	107,62	107,51	107,56	107,48	107,56	107,48
4	110,18	110,09	110,18	110,21	110,18	110,20	110,19	110,16	110,19	110,16
5	114,85	114,75	114,79	115,01	114,79	115,00	114,87	114,90	114,87	114,91
6	121,38	121,25	121,28	121,78	121,28	121,77	121,45	121,57	121,45	121,58
7	130,34	130,03	130,17	130,89	130,17	130,88	130,44	130,54	130,44	130,55
8	141,07	140,55	138,97	139,88	138,97	139,87	139,87	139,96	139,87	139,96
9	221,97	220,48	208,53	209,82	208,53	209,81	212,42	212,23	212,43	212,24
10	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 120 Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat terhadap Pemodelan Gedung A pada Lantai 8

Variasi Pemodelan	Nilai Perbandingan Terhadap Gedung A Diskontinuitas Kekuatan Lateral Terhadap Tingkat Berikutnya (%)	
	Arah X	Arah Y
Gedung B	1,512	0,483
Gedung C	1,511	0,487
Gedung D	0,858	0,425
Gedung E	0,859	0,420

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.114 hingga Tabel 4.120, nilai ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas kekuatan lateral tingkat serta tingkat lemah berlebihan pada setiap pemodelan, baik dengan variasi

luas dan letak *void* maupun pada model tanpa *void*, menunjukkan bahwa keberadaan *void* dapat memengaruhi respons struktur bangunan. Perbandingan dilakukan dengan menggunakan model Gedung A sebagai acuan terhadap variasi pemodelan lainnya. Dari hasil tersebut diperoleh nilai perbandingan sebesar 1,512% pada arah *x* dan 0,483% pada arah *y* terhadap Gedung B, 1,511% pada arah *x* dan 0,487% pada arah *y* terhadap Gedung C, 0,858% pada arah *x* dan 0,425% pada arah *y* terhadap Gedung D, serta 0,859% pada arah *x* dan 0,420% pada arah *y* terhadap Gedung E. Adapun contoh perhitungan perbandingan pada pemodelan Gedung B sebagai berikut:

Nilai Perbandingan

$$\begin{aligned}\text{Gedung B terhadap Gedung A} &= \frac{(\text{Lateral } X_B - \text{Lateral } X_A)}{\text{Lateral } X_B} \% \\ &= \frac{(139,87 - 141,07)}{139,87} \% \\ &= 1,512\%\end{aligned}$$

Hasil penelitian ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Usman dkk., (2025), adanya perbedaan nilai kekuatan lateral antar tingkat pada setiap pemodelan, yang mengindikasikan bahwa variasi luas dan letak *void* memengaruhi distribusi kekuatan struktur dalam menahan beban lateral. Meskipun demikian, seluruh pemodelan masih berada dalam batas yang diizinkan sehingga tidak terjadi ketidakberaturan tingkat lemah maupun tingkat lemah berlebihan pada struktur bangunan.

4.6 Analisa dan Kontrol Tulangan Elemen Struktur SRPMK

Elemen struktur yang telah dimodelkan menggunakan *software* ETABS v.22 selanjutnya dianalisis dan dievaluasi untuk memperoleh gaya dalam yang bekerja, sekaligus memastikan bahwa setiap elemen telah memenuhi ketentuan sesuai standar perencanaan yang berlaku. Proses analisis ini meliputi pemeriksaan kapasitas elemen terhadap beban terfaktor, termasuk kontrol lendutan, momen lentur, gaya geser, gaya aksial, serta interaksi aksial dan lentur, sehingga kinerja struktur tetap terjamin dalam kondisi aman.

4.6.1 Balok Induk

Pada tahap analisis dan kontrol tulangan balok induk yang diperoleh dari hasil *preliminary design* pada Subbab 4.3.1, perencanaan tulangan harus mencakup tulangan lentur, geser, dan torsi. Perencanaan tersebut dilakukan pada dua daerah utama, yaitu daerah tumpuan dan daerah lapangan, dengan

mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 serta pembahasan yang telah dijelaskan pada Subbab 2.7. Untuk melakukan perhitungan tulangan pada balok induk, diperlukan data *output gaya dalam* yang diperoleh dari hasil analisis menggunakan *software ETABS v.22*. Berikut merupakan rekapitulasi gaya dalam balok induk, baik pada arah *X* maupun arah *Y*, untuk seluruh pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E.

Tabel 4. 121 Rekapitulasi *Output Gaya Dalam Balok Induk Pemodelan Gedung A*

Elemen Struktur	Lentur (kN.m)				Geser (kN)			Torsi (kN.m)
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan	
	M_u (-)	M_u (+)	M_u (-)	M_u (+)	V_u	V_g	V_u	T_u
Balok Induk BI X 1	-587,38	501,44	15,00	98,08	361,68	87,43	304,41	83,44
Balok Induk BI X 2	-592,99	496,36	-90,83	173,50	343,79	84,64	293,89	60,51
Balok Induk BI X 3	-233,12	150,41	-54,40	96,86	166,90	81,01	126,44	36,69
Balok Induk BI Y 1	-369,22	340,46	9,12	33,57	280,12	45,97	240,09	14,15
Balok Induk BI Y 2	-382,85	341,98	5,93	36,64	268,31	48,80	229,13	14,01
Balok Induk BI Y 3	-125,61	95,84	-23,84	47,18	109,54	43,66	79,22	11,44

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 122 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Balok Induk Pemodelan Gedung B

Elemen Struktur	Lentur (kN.m)				Geser (kN)			Torsi (kN.m)
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan	
	M_u (-)	M_u (+)	M_u (-)	M_u (+)	V_u	V_g	V_u	
Balok Induk BI X 1	-600,05	529,07	6,38	98,19	389,29	86,59	364,39	292,98
Balok Induk BI X 2	-607,37	527,51	-125,15	204,82	360,71	82,41	345,52	255,18
Balok Induk BI X 3	-238,77	164,57	-58,00	98,64	169,68	80,47	129,23	85,19
Balok Induk BI Y 1	-349,10	321,80	-6,30	34,85	267,05	45,34	229,34	123,75
Balok Induk BI Y 2	-361,61	324,90	-6,89	38,33	255,99	47,05	218,19	107,55
Balok Induk BI Y 3	-121,08	91,44	-24,19	43,88	100,62	43,19	75,64	30,36

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 123 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Balok Induk Pemodelan Gedung C

Elemen Struktur	Lentur (kN.m)				Geser (kN)			Torsi (kN.m)
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan	
	M_u (-)	M_u (+)	M_u (-)	M_u (+)	V_u	V_g	V_u	
Balok Induk BI X 1	-600,00	514,54	13,19	98,18	385,59	86,54	361,75	294,64

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 123 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Balok Induk Pemodelan Gedung C (Lanjutan)

Elemen Struktur	Lentur (kN.m)				Geser (kN)			Torsi (kN.m)
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan	
	M_u (-)	M_u (+)	M_u (-)	M_u (+)	V_u	V_g	V_u	
Balok Induk BI X 2	-607,16	511,92	-124,91	202,27	356,68	82,18	342,58	257,48
Balok Induk BI X 3	-238,77	158,27	-57,48	98,68	169,68	80,42	129,02	86,89
Balok Induk BI Y 1	-349,01	326,76	-5,89	34,90	267,12	45,37	229,36	122,42
Balok Induk BI Y 2	-361,28	329,01	-6,45	38,43	256,18	47,18	218,33	106,13
Balok Induk BI Y 3	-121,22	96,74	-24,85	43,99	100,69	43,24	75,76	29,49

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 124 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Balok Induk Pemodelan Gedung D

Elemen Struktur	Lentur (kN.m)				Geser (kN)			Torsi (kN.m)
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan	
	M_u (-)	M_u (+)	M_u (-)	M_u (+)	V_u	V_g	V_u	
Balok Induk BI X 1	-585,03	498,19	13,19	97,94	361,51	87,03	335,49	301,09
Balok Induk BI X 2	-591,41	493,87	-112,46	189,65	343,79	83,53	317,71	263,04

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 124 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Balok Induk Pemodelan Gedung D (Lanjutan)

Elemen Struktur	Lentur (kN.m)				Geser (kN)			Torsi (kN.m)
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan	
	M_u (-)	M_u (+)	M_u (-)	M_u (+)	V_u	V_g	V_u	
Balok Induk BI X 3	-233,98	151,07	-54,66	97,75	167,80	80,72	126,84	89,30
Balok Induk BI Y 1	-354,36	332,10	-6,40	33,94	271,95	45,92	232,92	108,00
Balok Induk BI Y 2	-366,74	334,46	-7,15	38,43	260,57	48,75	221,74	106,13
Balok Induk BI Y 3	-123,31	98,45	-25,50	47,23	109,68	43,61	78,52	29,49

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 125 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Balok Induk Pemodelan Gedung E

Elemen Struktur	Lentur (kN.m)				Geser (kN)			Torsi (kN.m)
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan	
	M_u (-)	M_u (+)	M_u (-)	M_u (+)	V_u	V_g	V_u	
Balok Induk BI X 1	-585,03	498,19	13,19	97,94	361,51	87,03	335,49	301,09
Balok Induk BI X 2	-591,41	493,87	-112,46	189,65	343,79	83,53	317,71	263,04
Balok Induk BI X 3	-233,98	151,07	-54,66	97,75	167,80	80,72	126,84	89,30

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 125 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Balok Induk Pemodelan Gedung E (Lanjutan)

Elemen Struktur	Lentur (kN.m)				Geser (kN)			Torsi (kN.m)
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan	
	M_u (-)	M_u (+)	M_u (-)	M_u (+)	V_u	V_g	V_u	
Balok Induk BI Y 1	-354,36	332,10	-6,40	33,94	271,95	45,92	232,92	108,00
Balok Induk BI Y 2	-366,74	334,46	-7,15	38,43	260,57	48,75	221,74	106,13
Balok Induk BI Y 3	-123,31	98,45	-25,50	47,23	109,68	43,61	78,52	29,49

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berikut merupakan salah satu contoh analisis dan kontrol perhitungan tulangan balok induk arah *X* tipe *BI X1* pada pemodelan Gedung A, yang meliputi pemeriksaan terhadap lendutan, lentur, geser, serta torsi.

Profil Balok Induk Arah *X* BI X 1

Tabel 4. 126 Profil Balok Induk Arah *X* BI X 1 Gedung A

Data Profil	Notasi	Nilai	Satuan
Panjang/Bentang Balok	L	5000	mm
Lebar Balok	b	600	mm
Tinggi Balok	h	800	mm
Tebal Selimut Beton	c_c	40	mm
Tebal Efektif Balok	d	729,5	mm
Kuat Tekan Beton	f'_c	33,2	MPa
Kuat Leleh Tul. Longitudinal	f_y	420	MPa
Kuat Leleh Tul. Transversal	f_y	280	MPa
Panjang Kolom Pada Area Balok	c_1	1000	mm
Lebar Kolom Pada Area Balok	c_2	1000	mm
Diameter Tul. Transversal Rencana	d_s	16	mm
Diameter Tul. Longitudinal Rencana	d_b	29	mm

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Kontrol Gaya dan Geometri

Syarat Gaya Aksial (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.1 dan Pasal 18.6.4.7)

$$P_u \leq 0,1 \times A_g \times f'_c$$

$$0 \text{ N} \leq 0,1 \times 600 \text{ mm} \times 800 \text{ mm} \times 33 \text{ N/mm}^2$$

$$0 \text{ N} \leq 1.593.600 \text{ N (OK)}$$

Syarat Geometri (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1)

$$L_n \geq 4d$$

$$L - c_1 \geq 4 \times (h - c_c - d_s - d_b) / 2)$$

$$5000 \text{ mm} - 1000 \text{ mm} \geq 4 \times (800 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 16 \text{ mm} - 19 \text{ mm}) / 2)$$

$$4000 \text{ mm} \geq 2918 \text{ mm (OK)}$$

$$b \geq 0,3 h \text{ atau } 250 \text{ mm}$$

$$600 \text{ mm} \geq 0,3 \times 800 \text{ mm atau } 250 \text{ mm}$$

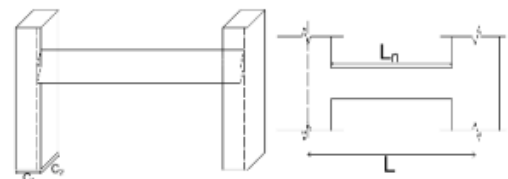
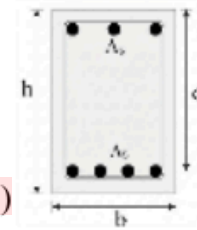
$$600 \text{ mm} \geq 240 \text{ mm atau } 250 \text{ mm (OK)}$$

$$b \leq c_2 + 2 \times (\min(c_2 \text{ atau } 0,75 \times c_1))$$

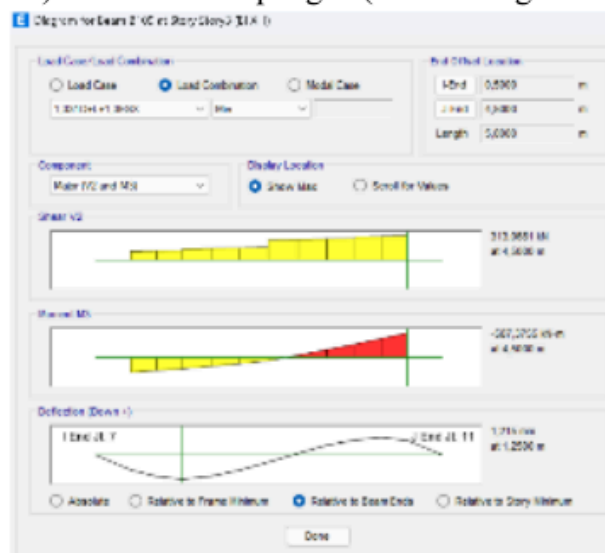
$$600 \text{ mm} \leq 1000 \text{ mm} + 2 \times (\min(1000 \text{ mm atau } 0,75 \times 1000 \text{ mm}))$$

$$600 \text{ mm} \leq 1000 \text{ mm} + 2 \times (\min(1000 \text{ mm atau } 750 \text{ mm}))$$

$$600 \text{ mm} \leq 2500 \text{ mm (OK)}$$



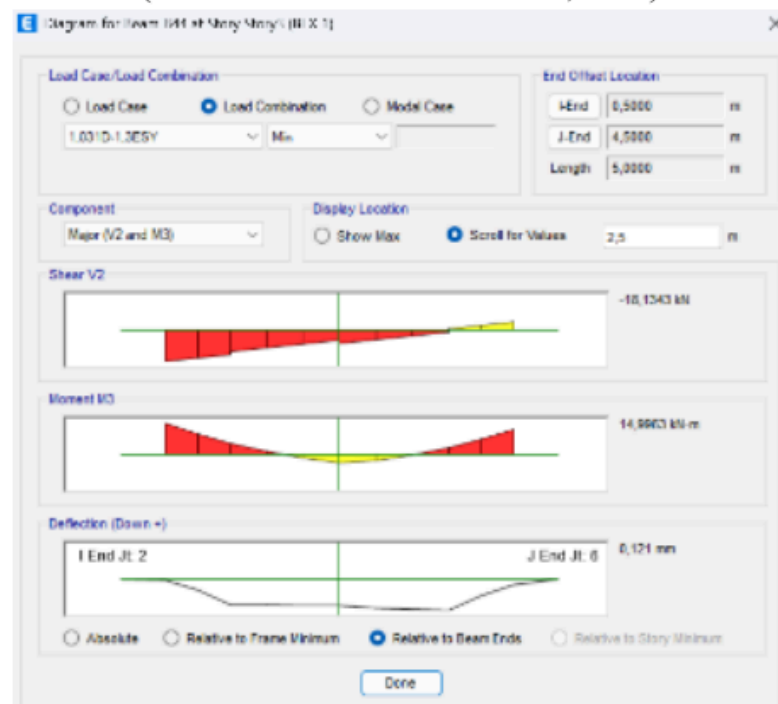
Adapun hasil *output* gaya dalam berupa momen dan lendutan pada balok induk arah *X* tipe BI X1 Gedung A ditampilkan pada Gambar 4.62 hingga Gambar 4.65, yang mencakup kondisi pada daerah tumpuan (momen negatif dan positif) serta daerah lapangan (momen negatif dan positif).



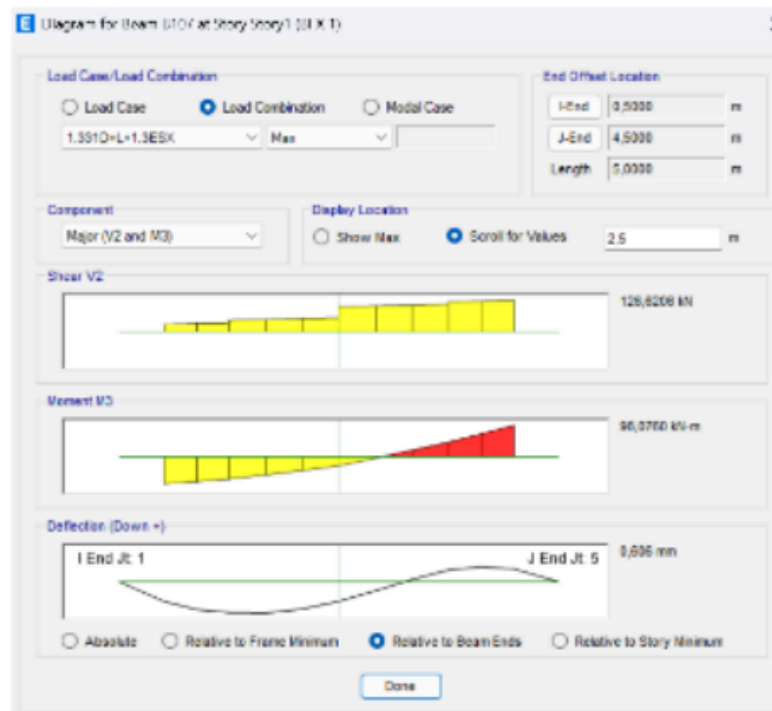
Gambar 4. 62 *Output* Momen dan Lendutan Balok Induk Arah *X* BI X 1 Gedung A pada Daerah Tumpuan Negatif
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 63 *Output* Momen dan Lendutan Balok Induk Arah *X* BI X 1 Gedung A pada Daerah Tumpuan Positif
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 64 *Output* Momen dan Lendutan Balok Induk Arah *X* BI X 1 Gedung A pada Daerah Lapangan Negatif
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 65 *Output Momen dan Lendutan Balok Induk Arah XBI X 1 Gedung A pada Daerah Lapangan Positif*
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Kontrol Lendutan⁵

Syarat Lendutan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

Lendutan Tumpuan Momen Negatif $\leq \ell / 360$
1,215 mm $\leq 5000 \text{ mm} / 360$
1,215 mm $\leq 13,889 \text{ mm (OK)}$

Lendutan Tumpuan Momen Positif $\leq \ell / 360$
1,044 mm $\leq 5000 \text{ mm} / 360$
1,044 mm $\leq 13,889 \text{ mm (OK)}$

Lendutan Tumpuan Momen Negatif $\leq \ell / 360$
0,121 mm $\leq 5000 \text{ mm} / 360$
0,121 mm $\leq 13,889 \text{ mm (OK)}$

Lendutan Tumpuan Momen Negatif $\leq \ell / 360$
0,606 mm $\leq 5000 \text{ mm} / 360$
0,606 mm $\leq 13,889 \text{ mm (OK)}$

Adapun rekapitulasi hasil kontrol lendutan pada seluruh tipe balok induk, baik arah X maupun arah Y, untuk setiap pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E disajikan pada Tabel 4.127 dan Tabel 4.128 berikut.

Tabel 4. 127 Rekapitulasi Kontrol Lendutan Balok Induk Arah *X* Setiap Pemodelan

Variasi Pemodelan	Balok Induk BI X 1				Balok Induk BI X 2				Balok Induk BI X 3			
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan	
	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
<i>Lendutan Ijin, δ_{ijin} (mm)</i>												
13,89												
<i>Lendutan, δ (mm)</i>												
Gedung A	1,22	1,04	0,12	0,61	1,21	1,14	-0,36	1,10	1,81	0,67	-0,28	1,89
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung B	1,17	1,36	-0,36	0,61	1,15	1,50	-0,23	0,61	1,84	1,45	-0,34	1,96
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung C	1,17	1,09	0,10	0,10	1,15	1,19	-0,23	0,86	1,84	0,71	-0,34	1,97
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung D	1,21	1,05	0,11	0,60	1,21	1,14	-0,23	0,85	1,81	0,68	-0,29	1,93
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung E	1,21	1,31	-0,34	0,60	1,20	1,45	-0,23	0,85	1,81	1,39	-0,30	1,97
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 128 Rekapitulasi Kontrol Lendutan Balok Induk Arah *Y* Setiap Pemodelan

Variasi Pemodelan	Balok Induk BI Y 1				Balok Induk BI Y 2				Balok Induk BI Y 3			
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan	
	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
<i>Lendutan Ijin, δ_{ijin} (mm)</i>												
11,11												
<i>Lendutan, δ (mm)</i>												
Gedung A	0,75	0,80	0,04	0,27	-0,78	0,84	0,00	0,35	1,26	0,68	-0,25	1,11
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung B	0,79	0,78	-0,19	0,29	-0,90	0,92	-0,23	0,37	1,11	0,67	-0,38	0,99
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung C	0,83	0,68	-0,22	0,29	-0,73	0,86	-0,26	0,38	1,19	0,67	-0,39	0,96
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung D	0,85	0,83	-0,25	0,25	-0,59	0,87	-0,31	0,35	1,28	0,68	-0,40	1,13
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung E	0,80	0,79	-0,20	0,22	-0,91	0,93	-0,24	0,35	1,25	0,68	-0,37	1,13
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Kontrol Lentur Tumpuan Momen Negatif

Jumlah Tulangan Tumpuan Negatif (Asumsi untuk Perhitungan dengan Mengikuti Syarat SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1 dan Pasal 9.6.1.2)

$$n = 4 \text{ Batang Tulangan}$$

Cek Jarak Bersih (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned} \text{Jarak Bersih} &\geq \text{maks}(d_b \text{ atau } 25 \text{ mm}) \\ \frac{b - 2c_c - 2d_s - n \times d_b}{n - 1} &\geq \text{maks}(29 \text{ mm atau } 25 \text{ mm}) \\ \frac{600 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 16 \text{ mm} - 4 \times 29 \text{ mm}}{4 - 1} &\geq 29 \text{ mm} \\ 124 \text{ mm} &\geq 29 \text{ mm (OK)} \end{aligned}$$

Cek Luas Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2)

$$\begin{aligned} A_s &\geq \text{maks}(A_{s \text{ min1}} \text{ atau } A_{s \text{ min2}}) \\ n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 &\geq \text{maks}\left(\left(\frac{0,25 \times \sqrt{f'_c}}{f_y}\right) \times b \times d\right) \text{ atau } \left(\frac{1,4}{f_y} \times b \times d\right) \\ 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \text{ mm} &\geq \text{maks}\left(\left(\frac{0,25 \times \sqrt{33,2 \text{ N/mm}^2}}{420 \text{ N/mm}^2}\right) \times 600 \text{ mm} \times 729,5 \text{ mm}\right) \\ &\quad \text{atau } \left(\frac{1,4}{420 \text{ N/mm}^2} \times 600 \text{ mm} \times 729,5 \text{ mm}\right) \\ 2642,08 \text{ mm}^2 &\geq \text{maks}(1501,19 \text{ mm}^2 \text{ atau } 1459 \text{ mm}^2) \\ 2642,08 \text{ mm}^2 &\geq 1501,19 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Cek Rasio Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1)

$$\begin{aligned} \rho &\leq \text{maks}(\rho_{\text{max1}} \text{ atau } \rho_{\text{max2}}) \\ A_s / b \times d &\leq \text{maks}\left(\left(0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}\right) \text{ atau } (2,5\%) \right) \\ 2642,08 \text{ mm}^2 / 600 \text{ mm} \times 729,5 \text{ mm} &\leq \text{maks}\left(\left(0,75 \times 0,8129 \times 0,85 \times \frac{33,2 \text{ MPa}}{420 \text{ MPa}} \times \frac{600}{600 + 420 \text{ MPa}}\right) \text{ atau } (2,5\%) \right) \\ 0,60\% &\leq \text{maks}(2,41\% \text{ atau } 2,5\%) \\ 0,60\% &\leq 2,5\% \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Menghitung Distribusi Blok Tegangan Beton (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= A_s \times f_y / 0,85 \times f'_c \times b \\ &= 2641,08 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 / 0,85 \times 33,2 \text{ N/mm}^2 \times 600 \text{ mm}^2 \\ &= 65,54 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung Lokasi Garis Netral (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1, Pasal 22.2.2.4.2, dan Pasal 22.2.2.4.3)

$$\begin{aligned}
 c &= a / \beta_1 \\
 &= 65,54 \text{ mm} / 0,8129 \\
 &= 80,63 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menghitung Regangan Tulangan Tarik (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= ((d - c) / c) \times 0,003 \\
 &= ((729,5 \text{ mm} - 80,63 \text{ mm}) / 80,63 \text{ mm}) \times 0,003 \\
 &= 0,024
 \end{aligned}$$

Menghitung Momen Kapasitas Lentur (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\
 &= 2642,08 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 \times (729,5 \text{ mm} - \frac{65,54 \text{ mm}}{2}) \\
 &= 733.144.353,99 \text{ N.mm} \\
 &= 733,14 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Faktor Reduksi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 21.2.2 dan Tabel 21.2.2)

$$\phi = 0,9 \quad (\epsilon_t \geq 0,005 = 0,024 \geq 0,005)$$

Menghitung Momen Kapasitas Lentur Tereduksi

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times M_n \\
 &= 0,9 \times 733,14 \text{ kN.m} \\
 &= 695,83 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Cek Kapasitas Momen Lentur

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &> M_u \\
 695,83 \text{ kN.m} &> 587,38 \text{ kN.m} \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Menghitung Luas Tulangan Perlu

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ Perlu} &= M_u / f_y \times (d - (a / 2)) \\
 &= 587.375.500 \text{ N.mm} / 420 \text{ N/mm}^2 \times (729,5 \text{ mm} - (65,54 \text{ mm} / 2)) \\
 &= 2007,25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis dan kontrol perhitungan, balok induk arah *X* tipe BI X1 Gedung A pada daerah tumpuan dengan kondisi momen negatif (tarik) direncanakan menggunakan tulangan sebesar 4D29.

Kontrol Lentur Tumpuan Momen Positif

Jumlah Tulangan Tumpuan Positif (Asumsi untuk Perhitungan dengan Mengikuti Syarat SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1 dan Pasal 9.6.1.2)

$n = 3$ Batang Tulangan

1 Cek Jarak Bersih (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

Jarak Bersih $\geq \text{maks}(d_b \text{ atau } 25 \text{ mm})$

$\frac{b-2c_c-2d_s-n \times d_b}{n-1} \geq \text{maks}(29 \text{ mm atau } 25 \text{ mm})$

$\frac{600 \text{ mm}-2 \times 40 \text{ mm}-2 \times 16 \text{ mm}-3 \times 29 \text{ mm}}{3-1} \geq 29 \text{ mm}$

200,5 mm $\geq 29 \text{ mm (OK)}$

1 Cek Luas Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2)

$A_s \geq \text{maks}(A_{s \text{ min1}} \text{ atau } A_{s \text{ min2}})$

$n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \geq \text{maks}((\frac{0,25 \times \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b \times d) \text{ atau } (\frac{1,4}{f_y} \times b \times d) \text{ atau } (0,5 \times A_s \text{ Tumpuan Negatif}))$

$3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \text{ mm} \geq \text{maks}((\frac{0,25 \times \sqrt{33,2 \text{ N/mm}^2}}{420 \text{ N/mm}^2} \times 600 \text{ mm} \times 729,5 \text{ mm}) \text{ atau } (\frac{1,4}{420 \text{ N/mm}^2} \times 600 \text{ mm} \times 729,5 \text{ mm}) \text{ atau } (0,5 \times 2642,08 \text{ mm}^2))$

1981,56 mm² $\geq \text{maks}(1501,19 \text{ mm}^2 \text{ atau } 1459 \text{ mm}^2 \text{ atau } 1321,04 \text{ mm}^2)$

1981,56 mm² $\geq 1501,19 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$

1 Cek Rasio Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1)

$\rho \leq \text{maks}(\rho_{\text{max1}} \text{ atau } \rho_{\text{max2}})$

$A_s / b \times d \leq \text{maks}((0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y}) \text{ atau } (2,5\%))$

$1981,56 \text{ mm}^2 / 600 \text{ mm} \times 729,5 \text{ mm} \leq \text{maks}((0,75 \times 0,8129 \times 0,85 \times \frac{33,2 \text{ MPa}}{420 \text{ MPa}} \times \frac{600}{600+420 \text{ MPa}}) \text{ atau } (2,5\%))$

0,45% $\leq \text{maks}(2,41\% \text{ atau } 2,5\%)$

0,45% $\leq 2,5\% \text{ (OK)}$

1 Menghitung Distribusi Blok Tegangan Beton (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$a = A_s \times f_y / 0,85 \times f'_c \times b$

$= 1981,56 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 / 0,85 \times 33,2 \text{ N/mm}^2 \times 600 \text{ mm}^2$

$= 49,15 \text{ mm}$

3 Menghitung Lokasi Garis Netral (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1, Pasal 22.2.2.4.2, dan Pasal 22.2.2.4.3)

$$\begin{aligned}
 c &= a / \beta_1 \\
 &= 49,15 \text{ mm} / 0,8129 \\
 &= 60,47 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menghitung Regangan Tulangan Tarik (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= ((d - c) / c) \times 0,003 \\
 &= ((729,5 \text{ mm} - 60,47 \text{ mm}) / 60,47 \text{ mm}) \times 0,003 \\
 &= 0,033
 \end{aligned}$$

Menghitung Momen Kapasitas Lentur (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\
 &= 1981,56 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 \times (729,5 \text{ mm} - \frac{49,15 \text{ mm}}{2}) \\
 &= 586.676.208 \text{ N.mm} \\
 &= 586,68 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Faktor Reduksi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 21.2.2 dan Tabel 21.2.2)

$$\phi = 0,9 \quad (\epsilon_t \geq 0,005 = 0,033 \geq 0,005)$$

Menghitung Momen Kapasitas Lentur Tereduksi

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times M_n \\
 &= 0,9 \times 586,68 \text{ kN.m} \\
 &= 528,01 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Cek Kapasitas Momen Lentur

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &> M_u \\
 528,01 \text{ kN.m} &> 501,44 \text{ kN.m} \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Menghitung Luas Tulangan Perlu

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ Perlu} &= M_u / f_y \times (d - (a / 2)) \\
 &= 501.438.600 \text{ N.mm} / 420 \text{ N/mm}^2 \times (729,5 \text{ mm} - (49,15 \text{ mm} / 2)) \\
 &= 1693,66 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis dan kontrol perhitungan, balok induk arah *X* tipe BI X1 Gedung A pada daerah tumpuan dengan kondisi momen positif (tekan) direncanakan menggunakan tulangan sebesar 3D29.

Kontrol Lentur Lapangan Momen Negatif

Jumlah Tulangan Lapangan Negatif (Asumsi untuk Perhitungan dengan Mengikuti Syarat SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1 dan Pasal 9.6.1.2)

$n = 3$ Batang Tulangan

1 Cek Jarak Bersih (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

Jarak Bersih $\geq \text{maks}(d_b \text{ atau } 25 \text{ mm})$

$\frac{b-2c_c-2d_s-n \times d_b}{n-1} \geq \text{maks}(29 \text{ mm atau } 25 \text{ mm})$

$\frac{600 \text{ mm}-2 \times 40 \text{ mm}-2 \times 16 \text{ mm}-3 \times 29 \text{ mm}}{3-1} \geq 29 \text{ mm}$

200,5 mm $\geq 29 \text{ mm (OK)}$

1 Cek Luas Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2)

$A_s \geq \text{maks}(A_{s \text{ min1}} \text{ atau } A_{s \text{ min2}})$

$n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \geq \text{maks}((\frac{0,25 \times \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b \times d) \text{ atau } (\frac{1,4}{f_y} \times b \times d) \text{ atau } (0,25 \times A_s \text{ Tumpuan Negatif}))$

$3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \text{ mm} \geq \text{maks}((\frac{0,25 \times \sqrt{33,2 \text{ N/mm}^2}}{420 \text{ N/mm}^2} \times 600 \text{ mm} \times 729,5 \text{ mm}) \text{ atau } (\frac{1,4}{420 \text{ N/mm}^2} \times 600 \text{ mm} \times 729,5 \text{ mm}) \text{ atau } (0,25 \times 2642,08 \text{ mm}^2))$

1981,56 mm² $\geq \text{maks}(1501,19 \text{ mm}^2 \text{ atau } 1459 \text{ mm}^2 \text{ atau } 660,52 \text{ mm}^2)$

1981,56 mm² $\geq 1501,19 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$

1 Cek Rasio Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1)

$\rho \leq \text{maks}(\rho_{\text{max1}} \text{ atau } \rho_{\text{max2}})$

$A_s / b \times d \leq \text{maks}((0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y}) \text{ atau } (2,5\%))$

$1981,56 \text{ mm}^2 / 600 \text{ mm} \times 729,5 \text{ mm} \leq \text{maks}((0,75 \times 0,8129 \times 0,85 \times \frac{33,2 \text{ MPa}}{420 \text{ MPa}} \times \frac{600}{600+420 \text{ MPa}}) \text{ atau } (2,5\%))$

0,45% $\leq \text{maks}(2,41\% \text{ atau } 2,5\%)$

0,45% $\leq 2,5\% \text{ (OK)}$

1 Menghitung Distribusi Blok Tegangan Beton (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$a = A_s \times f_y / 0,85 \times f'_c \times b$

$= 1981,56 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 / 0,85 \times 33,2 \text{ N/mm}^2 \times 600 \text{ mm}^2$

$= 49,15 \text{ mm}$

3 Menghitung Lokasi Garis Netral (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1, Pasal 22.2.2.4.2, dan Pasal 22.2.2.4.3)

$$\begin{aligned}
 c &= a / \beta_1 \\
 &= 49,15 \text{ mm} / 0,8129 \\
 &= 60,47 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menghitung Regangan Tulangan Tarik (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= ((d - c) / c) \times 0,003 \\
 &= ((729,5 \text{ mm} - 60,47 \text{ mm}) / 60,47 \text{ mm}) \times 0,003 \\
 &= 0,033
 \end{aligned}$$

Menghitung Momen Kapasitas Lentur (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\
 &= 1981,56 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 \times (729,5 \text{ mm} - \frac{49,15 \text{ mm}}{2}) \\
 &= 586.676.208 \text{ N.mm} \\
 &= 586,68 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Faktor Reduksi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 21.2.2 dan Tabel 21.2.2)

$$\phi = 0,9 \quad (\epsilon_t \geq 0,005 = 0,033 \geq 0,005)$$

Menghitung Momen Kapasitas Lentur Tereduksi

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times M_n \\
 &= 0,9 \times 586,68 \text{ kN.m} \\
 &= 528,01 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Cek Kapasitas Momen Lentur

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &> M_u \\
 528,01 \text{ kN.m} &> 14,99 \text{ kN.m (OK)}
 \end{aligned}$$

Menghitung Luas Tulangan Perlu

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ Perlu} &= M_u / f_y \times (d - (a / 2)) \\
 &= 14.996.300 \text{ N.mm} / 420 \text{ N/mm}^2 \times (729,5 \text{ mm} - (49,15 \text{ mm} / 2)) \\
 &= 50,65 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis dan kontrol perhitungan, balok induk arah X tipe BI X1 Gedung A pada daerah lapangan dengan kondisi momen negatif (tarik) direncanakan menggunakan tulangan sebesar 3D29.

Kontrol Lentur Lapangan Momen Positif

Jumlah Tulangan Lapangan Positif (Asumsi untuk Perhitungan dengan Mengikuti Syarat SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1 dan Pasal 9.6.1.2)

$n = 3$ Batang Tulangan

1 Cek Jarak Bersih (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

Jarak Bersih $\geq \text{maks}(d_b \text{ atau } 25 \text{ mm})$

$\frac{b-2c_c-2d_s-n \times d_b}{n-1} \geq \text{maks}(29 \text{ mm atau } 25 \text{ mm})$

$\frac{600 \text{ mm}-2 \times 40 \text{ mm}-2 \times 16 \text{ mm}-3 \times 29 \text{ mm}}{3-1} \geq 29 \text{ mm}$

200,5 mm $\geq 29 \text{ mm (OK)}$

1 Cek Luas Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2)

$A_s \geq \text{maks}(A_{s \text{ min1}} \text{ atau } A_{s \text{ min2}})$

$n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \geq \text{maks}((\frac{0,25 \times \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b \times d) \text{ atau } (\frac{1,4}{f_y} \times b \times d) \text{ atau } (0,25 \times A_s \text{ Tumpuan Negatif}))$

$3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \text{ mm} \geq \text{maks}((\frac{0,25 \times \sqrt{33,2 \text{ N/mm}^2}}{420 \text{ N/mm}^2} \times 600 \text{ mm} \times 729,5 \text{ mm}) \text{ atau } (\frac{1,4}{420 \text{ N/mm}^2} \times 600 \text{ mm} \times 729,5 \text{ mm}) \text{ atau } (0,25 \times 2642,08 \text{ mm}^2))$

1981,56 mm² $\geq \text{maks}(1501,19 \text{ mm}^2 \text{ atau } 1459 \text{ mm}^2 \text{ atau } 660,52 \text{ mm}^2)$

1981,56 mm² $\geq 1501,19 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$

1 Cek Rasio Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1)

$\rho \leq \text{maks}(\rho_{\text{max1}} \text{ atau } \rho_{\text{max2}})$

$A_s / b \times d \leq \text{maks}((0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y}) \text{ atau } (2,5\%))$

$1981,56 \text{ mm}^2 / 600 \text{ mm} \times 729,5 \text{ mm} \leq \text{maks}((0,75 \times 0,8129 \times 0,85 \times \frac{33,2 \text{ MPa}}{420 \text{ MPa}} \times \frac{600}{600+420 \text{ MPa}}) \text{ atau } (2,5\%))$

0,45% $\leq \text{maks}(2,41\% \text{ atau } 2,5\%)$

0,45% $\leq 2,5\% \text{ (OK)}$

1 Menghitung Distribusi Blok Tegangan Beton (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$a = A_s \times f_y / 0,85 \times f'_c \times b$

$= 1981,56 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 / 0,85 \times 33,2 \text{ N/mm}^2 \times 600 \text{ mm}^2$

$= 49,15 \text{ mm}$

3 Menghitung Lokasi Garis Netral (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1, Pasal 22.2.2.4.2, dan Pasal 22.2.2.4.3)

$$\begin{aligned}
 c &= a / \beta_1 \\
 &= 49,15 \text{ mm} / 0,8129 \\
 &= 60,47 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menghitung Regangan Tulangan Tarik (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= ((d - c) / c) \times 0,003 \\
 &= ((729,5 \text{ mm} - 60,47 \text{ mm}) / 60,47 \text{ mm}) \times 0,003 \\
 &= 0,033
 \end{aligned}$$

Menghitung Momen Kapasitas Lentur (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\
 &= 1981,56 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 \times (729,5 \text{ mm} - \frac{49,15 \text{ mm}}{2}) \\
 &= 586.676.208 \text{ N.mm} \\
 &= 586,68 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Faktor Reduksi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 21.2.2 dan Tabel 21.2.2)

$$\phi = 0,9 \quad (\epsilon_t \geq 0,005 = 0,033 \geq 0,005)$$

Menghitung Momen Kapasitas Lentur Tereduksi

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times M_n \\
 &= 0,9 \times 586,68 \text{ kN.m} \\
 &= 528,01 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Cek Kapasitas Momen Lentur

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &> M_u \\
 528,01 \text{ kN.m} &> 98,08 \text{ kN.m (OK)}
 \end{aligned}$$

Menghitung Luas Tulangan Perlu

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ Perlu} &= M_u / f_y \times (d - (a / 2)) \\
 &= 98.076.000 \text{ N.mm} / 420 \text{ N/mm}^2 \times (729,5 \text{ mm} - (49,15 \text{ mm} / 2)) \\
 &= 331,262 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis dan kontrol perhitungan, balok induk arah *X* tipe BI X1 Gedung A pada daerah lapangan dengan kondisi momen positif (tekan) direncanakan menggunakan tulangan sebesar 3D29.

Adapun rekapitulasi hasil kontrol lentur pada seluruh tipe balok induk, baik arah *X* maupun arah *Y*, untuk setiap pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E disajikan pada Tabel 4.129 dan Tabel 4.130 berikut.

Tabel 4. 129 Rekapitulasi Kontrol **Lentur** Balok Induk Arah *X* Setiap Pemodelan

Variasi Pemodelan		Balok Induk BI X 1				Balok Induk BI X 2				Balok Induk BI X 3			
		Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan	
		(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
<i>Lentur (kN.m)</i>													
Gedung A	M_u	587,4	501,4	15,0	98,1	593,0	496,4	90,8	173,5	233,1	150,4	54,4	96,9
	M_n	773,1	586,7	586,7	586,7	769,8	584,8	584,8	584,8	319,8	217,0	217,0	217,0
	ϕM_n	695,8	528,0	528,0	528,0	692,9	526,3	526,3	526,3	287,8	195,3	195,3	195,3
	<i>Rasio</i>	0,844	0,950	0,028	0,186	0,856	0,943	0,173	0,330	0,810	0,770	0,279	0,496
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung B	M_u	600,1	529,1	6,4	98,2	607,4	527,5	125,2	204,8	238,8	164,6	58,0	98,6
	M_n	773,1	773,1	586,7	586,7	769,8	769,8	584,8	584,8	313,6	212,9	212,9	212,9
	ϕM_n	695,8	695,8	528,0	528,0	692,9	692,9	526,3	526,3	282,3	191,6	191,6	191,6
	<i>Rasio</i>	0,862	0,760	0,012	0,186	0,877	0,761	0,238	0,389	0,846	0,859	0,303	0,515
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung C	M_u	600,0	514,5	13,2	98,2	607,2	511,9	124,9	202,3	238,8	158,3	57,5	98,7
	M_n	773,1	773,1	586,7	586,7	769,8	769,8	584,8	584,8	313,6	212,9	212,9	212,9
	ϕM_n	695,8	695,8	528,0	528,0	692,9	692,9	526,3	526,3	282,3	191,6	191,6	191,6
	<i>Rasio</i>	0,862	0,739	0,025	0,186	0,876	0,739	0,237	0,384	0,846	0,826	0,300	0,515
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung D	M_u	585,0	498,2	13,2	97,9	591,4	493,9	112,5	189,6	234,0	151,1	54,7	97,7
	M_n	773,1	773,1	586,7	586,7	769,8	769,8	584,8	584,8	313,6	212,9	212,9	212,9
	ϕM_n	695,8	695,8	528,0	528,0	692,9	692,9	526,3	526,3	282,3	191,6	191,6	191,6
	<i>Rasio</i>	0,841	0,716	0,025	0,185	0,854	0,713	0,214	0,360	0,829	0,789	0,285	0,510
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung E	M_u	582,6	509,2	6,8	97,9	589,0	505,9	112,1	189,4	233,3	156,6	54,8	98,5
	M_n	773,1	773,1	586,7	586,7	769,8	769,8	584,8	584,8	313,6	212,9	212,9	212,9
	ϕM_n	695,8	695,8	528,0	528,0	692,9	692,9	526,3	526,3	282,3	191,6	191,6	191,6
	<i>Rasio</i>	0,837	0,732	0,013	0,185	0,850	0,730	0,213	0,360	0,826	0,818	0,286	0,514
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 130 Rekapitulasi Kontrol **Lentur** Balok Induk Arah *Y* Setiap Pemodelan

Variasi Pemodelan		Balok Induk BI Y 1				Balok Induk BI Y 2				Balok Induk BI Y 3			
		Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan	
		(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
<i>Lentur (kN.m)</i>													
Gedung A	M_u	369,2	340,5	9,1	33,6	382,9	342,0	5,9	36,6	125,6	95,8	23,8	47,2
	M_n	498,9	498,9	378,3	378,3	496,7	496,7	377,0	377,0	170,6	170,6	170,6	170,6
	ϕM_n	449,0	449,0	340,4	340,4	447,0	447,0	339,3	339,3	153,5	153,5	153,5	153,5
	<i>Rasio</i>	0,822	0,758	0,027	0,099	0,856	0,765	0,017	0,108	0,818	0,624	0,155	0,307
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

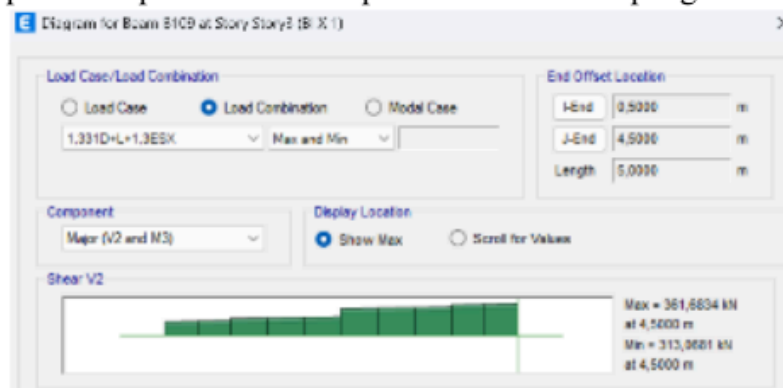
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 130 Rekapitulasi Kontrol Lentur Balok Induk Arah *Y* Setiap Pemodelan (Lanjutan)

Variasi Pemodelan		Balok Induk BI Y 1				Balok Induk BI Y 2				Balok Induk BI Y 3			
		Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan	
		(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
<i>Lentur (kN.m)</i>													
Gedung B	M_u	349,1	321,8	6,3	34,9	361,6	324,9	6,9	38,3	121,1	91,4	24,2	43,9
	M_n	498,9	378,3	378,3	378,3	496,7	377,0	377,0	377,0	170,6	170,6	170,6	170,6
	ϕM_n	449,0	340,4	340,4	340,4	447,0	339,3	339,3	339,3	153,5	153,5	153,5	153,5
	<i>Rasio</i>	0,778	0,945	0,018	0,102	0,809	0,957	0,020	0,113	0,789	0,596	0,158	0,286
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung C	M_u	349,0	326,8	5,9	34,9	361,3	329,0	6,5	38,4	121,2	96,7	24,9	44,0
	M_n	498,9	378,3	378,3	378,3	496,7	377,0	377,0	377,0	170,6	170,6	170,6	170,6
	ϕM_n	449,0	340,4	340,4	340,4	447,0	339,3	339,3	339,3	153,5	153,5	153,5	153,5
	<i>Rasio</i>	0,777	0,960	0,017	0,103	0,808	0,970	0,019	0,113	0,790	0,630	0,162	0,287
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung D	M_u	354,4	332,1	6,4	33,9	366,7	334,5	7,1	38,4	123,3	98,4	25,5	47,2
	M_n	498,9	378,3	378,3	378,3	496,7	377,0	377,0	377,0	170,6	170,6	170,6	170,6
	ϕM_n	449,0	340,4	340,4	340,4	447,0	339,3	339,3	339,3	153,5	153,5	153,5	153,5
	<i>Rasio</i>	0,789	0,976	0,019	0,100	0,820	0,986	0,021	0,113	0,803	0,641	0,166	0,308
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung E	M_u	354,1	326,7	6,5	33,9	366,4	329,4	7,2	38,4	124,1	93,1	24,2	47,0
	M_n	498,9	378,3	378,3	378,3	496,7	377,0	377,0	377,0	170,6	170,6	170,6	170,6
	ϕM_n	449,0	340,4	340,4	340,4	447,0	339,3	339,3	339,3	153,5	153,5	153,5	153,5
	<i>Rasio</i>	0,789	0,960	0,019	0,100	0,820	0,971	0,021	0,113	0,809	0,607	0,158	0,306
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

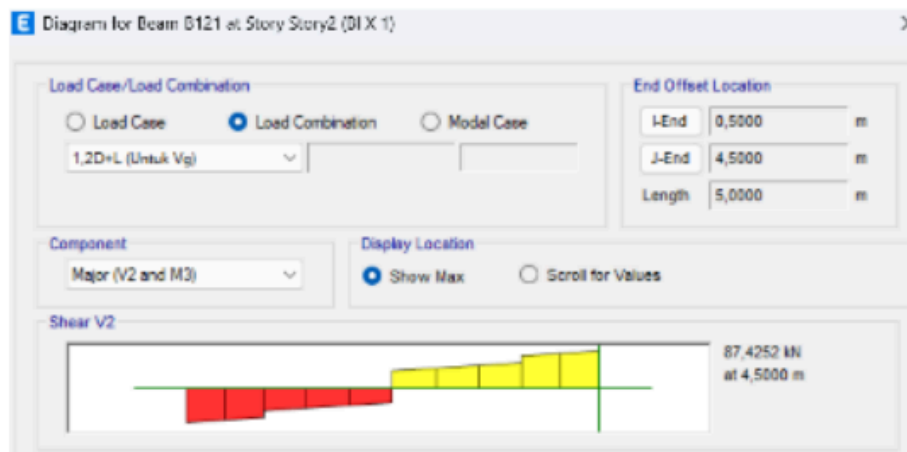
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Adapun hasil *output* gaya dalam berupa geser pada balok induk arah *X* tipe BI X1 ditampilkan pada Gambar 4.66 hingga Gambar 4.68, yang mencakup kondisi pada daerah tumpuan serta daerah lapangan.



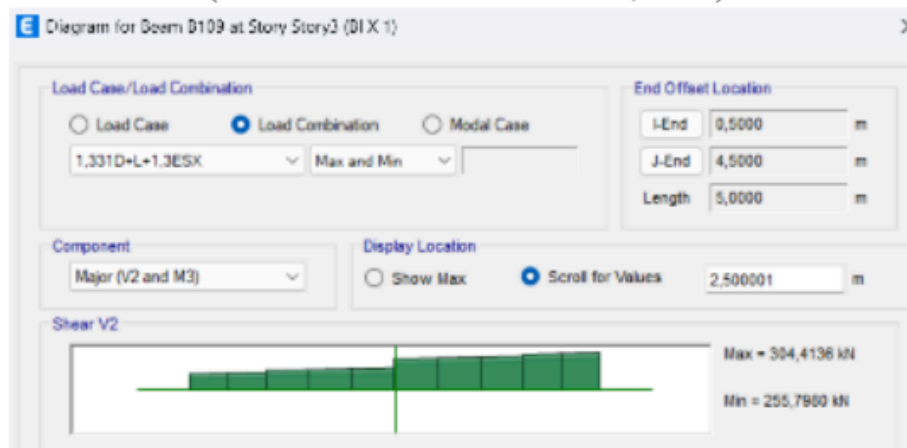
Gambar 4. 66 *Output* Geser V_u Balok Induk Arah *X* BI X 1 Gedung A pada Daerah Tumpuan

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 67 Output Geser V_g Balok Induk Arah X BI X 1 Gedung A pada Daerah Tumpuan

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 68 Output Geser V_u Balok Induk Arah X BI X 1 Gedung A pada Daerah Lapangan

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Kontrol Geser Tumpuan

Menghitung Nilai a

$$\begin{aligned} a_{pr}^{+} &= 1,25 \times a_{lentur}^{+} \\ &= 1,25 \times 49,15 \text{ mm} \\ &= 61,44 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{pr}^{-} &= 1,25 \times a_{lentur}^{-} \\ &= 1,25 \times 65,54 \text{ mm} \\ &= 81,92 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung Momen Ujung M_{pr} (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal R18.6.5)

$$\begin{aligned} M_{pr}^{+} &= A_{slentur}^{+} \times 1,25 f_y \times (d - (a_{pr}^{+} / 2)) \\ &= 1981,56 \text{ mm}^2 \times 1,25 \times 420 \text{ N/mm}^2 \times (729,5 \text{ mm} - (61,44 \text{ mm} / 2)) \end{aligned}$$

$$= 726.953.438,9 \text{ N.mm}$$

$$= 726,95 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^- &= A_{slentur}^- \times 1,25 f_y \times (d - (a_{pr}^- / 2)) \\ &= 2642,08 \text{ mm}^2 \times 1,25 \times 420 \text{ N/mm}^2 \times (729,5 \text{ mm} - (81,92 \text{ mm} / 2)) \\ &= 955.067.204,99 \text{ N.mm} \\ &= 955,07 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Menghitung Geser Ujung V_{pr} (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.1)

$$\begin{aligned} V_{pr} &= (M_{pr}^+ + M_{pr}^-) / L_n \\ &= (726.953.438,9 \text{ N.mm} + 955.067.204,99 \text{ N.mm}) / 4000 \text{ mm} \\ &= 420.505.16 \text{ N} \\ &= 420,51 \text{ kN} \end{aligned}$$

Menghitung Gaya Geser V_e (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.1)

$$\begin{aligned} V_e &= V_{pr} + V_g \\ &= 420,51 \text{ kN} + 87,42 \text{ kN} \\ &= 507,93 \text{ kN} \end{aligned}$$

Menghitung dan Cek Kuat Geser Beton V_c (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.2)

$$\begin{aligned} V_{pr} &\geq \frac{1}{2} V_e \\ 420,51 \text{ kN} &\geq \frac{1}{2} \times 507,93 \text{ kN} \\ 420,51 \text{ kN} &\geq 253,97 \text{ kN} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u &\leq A_g \times f'_c / 20 \\ 0 \text{ kN} &\leq (600 \text{ mm} \times 800 \text{ mm} \times 33,2 \text{ N/mm}^2) / 20 \\ 0 \text{ kN} &\leq 796,80 \text{ kN} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Maka, nilai V_c sama dengan nol.

Jumlah Kaki Tulangan (Asumsi untuk Perhitungan dengan Mengikuti Syarat SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1 dan Pasal 9.6.1.2)

$$n = 3 \text{ Buah Tulangan}$$

Cek Luas Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2)

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16 \text{ mm}^2 \\ &= 603,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek Spasi atau Jarak Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4.4)

$$\begin{aligned} S_{pakai} &\leq S_{max} \\ S_{pakai} &\leq \min(S_{max1} \text{ atau } S_{max2} \text{ atau } S_{max3}) \end{aligned}$$

54

$$\begin{aligned}
 100 \text{ mm} &\leq \min((1/4 \times d) \text{ atau } (6 \times d_b) \text{ atau } (150 \text{ mm})) \\
 100 \text{ mm} &\leq \min((1/4 \times 729,5 \text{ mm}) \text{ atau } (6 \times 29 \text{ mm}) \text{ atau } (150 \text{ mm})) \\
 100 \text{ mm} &\leq \min((182,38 \text{ mm}) \text{ atau } (174 \text{ mm}) \text{ atau } (150 \text{ mm})) \\
 100 \text{ mm} &\leq 150 \text{ mm} \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Menghitung dan Cek Kuat Geser Akibat Penulangan V_s (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.1.2 dan Pasal 22.5.10.5.3)

$$\begin{aligned}
 V_s &\leq \text{Min } V_s \\
 A_v \times f_y \times d / S_{pakai} &\leq 0,66 \times f'_c{}^{0,5} \times b \times d \\
 (603,19 \text{ mm}^2 \times 280 \text{ N/mm}^2 \times 729,5 \text{ mm}) &\leq 0,66 \times 33,2^{0,5} \text{ N/mm}^2 \times 600 \text{ mm} \\
 / 100 \text{ mm} &\quad \quad \quad \times 729,5 \text{ mm} \\
 1.232.067,29 \text{ N} &\leq 1.664.521,94 \text{ N} \\
 1232,07 \text{ kN} &\leq 1664,52 \text{ kN (OK)}
 \end{aligned}$$

Menghitung Kapasitas Geser

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_c + V_s \\
 &= 0 \text{ kN} + 1232,07 \text{ kN} \\
 &= 1232,07 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Faktor Reduksi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 21.2.4 dan Pasal 12.5.3.2)

$$\phi = 0,75$$

Menghitung Kapasitas Geser Tereduksi

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= 0,75 \times V_n \\
 &= 0,75 \times 1232,07 \text{ kN} \\
 &= 924,05 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Cek Kapasitas Geser

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &> V_u \\
 924,05 \text{ kN} &> 507,93 \text{ kN (OK)}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis dan kontrol perhitungan, balok induk arah X tipe BI X1 Gedung A pada daerah tumpuan direncanakan menggunakan tulangan transversal/sengkan 3D-100 guna gaya geser.

Kontrol Geser Lapangan

Jumlah Kaki Tulangan (Asumsi untuk Perhitungan dengan Mengikuti Syarat SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1 dan Pasal 9.6.1.2)

$$n = 2 \text{ Buah Tulangan}$$

Cek Luas Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2)

$$A_v = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16 \text{ mm}^2$$

$$= 402,12 \text{ mm}^2$$

Cek Spasi atau Jarak Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4.4)

$$S_{pakai} \leq S_{max}$$

$$500 \text{ mm} \leq d / 2$$

$$150 \text{ mm} \leq 729,5 \text{ mm} / 2$$

$$150 \text{ mm} \leq 364,75 \text{ mm (OK)}$$

Menghitung dan Cek Kuat Geser Akibat Penulangan V_s (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.1.2 dan Pasal 22.5.10.5.3)

$$V_s \leq \text{Min } V_s$$

$$A_v \times f_y \times d / S_{pakai} \leq 0,66 \times f_c'^{0,5} \times b \times d$$

$$(402,12 \text{ mm}^2 \times 280 \text{ N/mm}^2 \times 729,5 \text{ mm}) \leq 0,66 \times 33,2^{0,5} \text{ N/mm}^2 \times 600 \text{ mm} \times 729,5 \text{ mm}$$

$$547.585,46 \text{ N} \leq 1.664.521,94 \text{ N}$$

$$547,59 \text{ kN} \leq 1664,52 \text{ kN (OK)}$$

Menghitung Kuat Geser Beton V_c (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.5.1)

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times \sqrt{33,2} \text{ N/mm}^2 \times 600 \text{ mm} \times 729,5 \text{ mm}$$

$$= 428,74 \text{ kN}$$

Menghitung Kapasitas Geser

$$V_n = V_c + V_s$$

$$= 428,74 \text{ kN} + 547,59 \text{ kN}$$

$$= 976,33 \text{ kN}$$

Faktor Reduksi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 21.2.4 dan Pasal 12.5.3.2)

$$\phi = 0,75$$

Menghitung Kapasitas Geser Tereduksi

$$\phi V_n = 0,75 \times V_n$$

$$= 0,75 \times 976,33 \text{ kN}$$

$$= 732,24 \text{ kN}$$

Cek Kapasitas Geser

$$\phi V_n > V_u$$

$$732,24 \text{ kN} > 304,41 \text{ kN (OK)}$$

Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis dan kontrol perhitungan, balok induk arah X tipe BI X1 Gedung A pada daerah lapangan direncanakan menggunakan tulangan transversal/sengkan 2D-150 guna gaya geser.

Adapun rekapitulasi hasil kontrol geser pada seluruh tipe balok induk, baik arah X maupun arah Y , untuk setiap pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E disajikan pada Tabel 4.131 dan Tabel 4.132 berikut.

Tabel 4. 131 Rekapitulasi Kontrol Geser Balok Induk Arah X Setiap Pemodelan

Variasi Pemodelan	Balok Induk BI X 1		Balok Induk BI X 2		Balok Induk BI X 3	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
<i>Geser (kN)</i>						
Gedung A	V_u	507,9	304,4	483,2	293,9	235,3
	V_n	1232,1	976,3	1232,1	940,6	607,1
	ϕV_n	924,1	732,2	924,1	705,4	455,3
	<i>Rasio</i>	0,550	0,416	0,523	0,417	0,517
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung B	V_u	564,1	364,4	534,7	345,5	231,7
	V_n	1232,1	976,3	1232,1	940,6	595,9
	ϕV_n	924,1	732,2	924,1	705,4	447,0
	<i>Rasio</i>	0,610	0,498	0,579	0,490	0,519
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung C	V_u	564,1	361,8	534,5	342,6	231,7
	V_n	1232,1	976,3	1232,1	940,6	595,9
	ϕV_n	924,1	732,2	924,1	705,4	447,0
	<i>Rasio</i>	0,610	0,494	0,578	0,486	0,518
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung D	V_u	564,6	335,5	535,9	317,7	232,0
	V_n	1232,1	976,3	1232,1	940,6	595,9
	ϕV_n	924,1	732,2	924,1	705,4	447,0
	<i>Rasio</i>	0,611	0,458	0,580	0,450	0,519
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung E	V_u	564,6	334,5	536,1	316,9	232,1
	V_n	1232,1	976,3	1232,1	940,6	595,9
	ϕV_n	924,1	732,2	924,1	705,4	447,0
	<i>Rasio</i>	0,611	0,457	0,580	0,449	0,519
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK

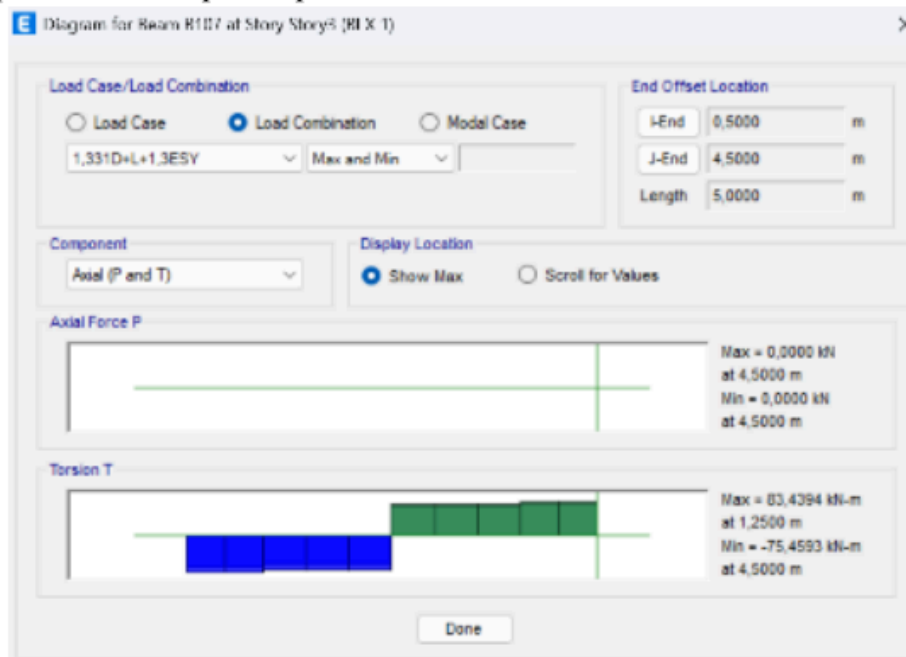
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 132 Rekapitulasi Kontrol Geser Balok Induk Arah *Y* Setiap Pemodelan

Variasi Pemodelan		Balok Induk BI Y 1		Balok Induk BI Y 2		Balok Induk BI Y 3	
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
<i>Geser (kN)</i>							
Gedung A	V_u	457,1	240,1	432,1	229,1	171,2	79,2
	V_n	711,0	814,2	711,0	783,3	323,0	364,3
	ϕV_n	533,3	610,7	533,3	587,5	242,2	273,2
	<i>Rasio</i>	0,857	0,393	0,810	0,390	0,707	0,290
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung B	V_u	407,2	229,3	384,7	218,2	170,8	75,6
	V_n	1066,6	814,2	1066,6	783,3	484,4	364,3
	ϕV_n	799,9	610,7	799,9	587,5	363,3	273,2
	<i>Rasio</i>	0,509	0,376	0,481	0,371	0,470	0,277
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung C	V_u	407,3	229,4	384,8	218,3	170,8	75,8
	V_n	1066,6	814,2	1066,6	783,3	484,4	364,3
	ϕV_n	799,9	610,7	799,9	587,5	363,3	273,2
	<i>Rasio</i>	0,509	0,376	0,481	0,372	0,470	0,277
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung D	V_u	407,8	232,9	386,4	221,7	171,2	78,5
	V_n	1066,6	814,2	1066,6	783,3	484,4	364,3
	ϕV_n	799,9	610,7	799,9	587,5	363,3	273,2
	<i>Rasio</i>	0,510	0,381	0,483	0,377	0,471	0,287
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung E	V_u	354,1	326,7	6,5	33,9	366,4	329,4
	V_n	498,9	378,3	378,3	378,3	496,7	377,0
	ϕV_n	449,0	340,4	340,4	340,4	447,0	339,3
	<i>Rasio</i>	0,789	0,960	0,019	0,100	0,820	0,971
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Adapun hasil *output* gaya dalam berupa torsi pada balok induk arah *X* tipe BI X1 ditampilkan pada Gambar 4.69.



Gambar 4. 69 *Output* Torsi T_u Balok Induk Arah *X* BI X 1 Gedung A
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Kontrol Torsi

Menghitung Luas Batasan Keliling Luar Penampang Beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 600 \text{ mm} \times 800 \text{ mm} \\ &= 4.800.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung Keliling Luar Penampang Beton

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2 \times (600 \text{ mm} + 800 \text{ mm}) \\ &= 2800 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung Luasan Lingkup Garis Pusat Tulangan Torsi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal R22.7.6.1)

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b - 2 \times c_c - d_s) \times (h - 2 \times c_c - d_s) \\ &= (600 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 16 \text{ mm}) \times (800 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 16 \text{ mm}) \\ &= 354.816 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung Luas Bruto Lingkup Lintasan Geser (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.6.1)

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 354.816 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$= 301.593,60 \text{ mm}^2$$

Menghitung Keliling Garis Tengah Terluar Tulangan Torsi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.6.1)

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times ((b - 2 \times c_c - d_s) + (h - 2 \times c_c - d_s)) \\ &= 2 \times ((600 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 16 \text{ mm}) + (800 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 16 \text{ mm})) \\ &= 2416 \text{ mm} \end{aligned}$$

Faktor Reduksi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)

$$\phi = 0,75$$

Cek Perlu Tulangan Torsi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 22.7.4.1)

$$T_u \geq \phi \times \frac{1}{4} \times T_{cr}$$

$$83,44 \text{ kN.m} \geq 0,75 \times \frac{1}{4} \times 0,33 \times \sqrt{f'_c} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$

$$83,44 \text{ kN.m} \geq 0,75 \times \frac{1}{4} \times 0,33 \times \sqrt{33,2} \text{ N/mm}^2 \times \frac{4.800.000^2 \text{ mm}}{2800 \text{ mm}}$$

$$83,44 \text{ kN.m} \geq 0,75 \times \frac{1}{4} \times 156.461.476,81 \text{ N.mm}$$

$$83,44 \text{ kN.m} \geq 0,75 \times \frac{1}{4} \times 156,46 \text{ kN.m}$$

$$83,44 \text{ kN.m} \geq 0,75 \times 39,12 \text{ kN.m}$$

$$83,44 \text{ kN.m} \geq 29,34 \text{ kN.m (PERLU)}$$

Menentukan T_u Pakai (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.3.2 dan Pasal 22.7.5)

$$\begin{aligned} T_u \text{ Pakai} &= \min(\phi T_{cr} \text{ atau } T_u \text{ ETABS}) \\ &= \min((117,35 \text{ kN.m}) \text{ atau } (83,44 \text{ kN.m})) \\ &= 83,44 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Cek Dimensi Penampang (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.5.1 dan Pasal 22.7.7.1)

$$\sigma_u \text{ Geser} + \sigma_u \text{ Torsi} \leq \text{Kapasitas Tegangan Beton}$$

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \times \left(\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times \sqrt{f'_c}\right)$$

$$\begin{aligned} \sqrt{\left(\frac{507.930,36 \text{ N}}{600 \text{ mm} \times 729,5 \text{ mm}}\right)^2 + \left(\frac{83.349.400 \text{ N.mm} \times 2416 \text{ mm}}{1,7 \times 354.816^2 \text{ mm}^2}\right)^2} &\leq 0,75 \times \frac{428.740,5 \text{ N}}{600 \text{ mm} \times 729,5 \text{ mm}} \\ &\quad + 0,66 \times \sqrt{33,2} \text{ N/mm}^2 \\ 1,495 \text{ N/mm}^2 &\leq 3,587 \text{ N/mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Cek Tulangan Transversal Torsi

Jumlah Kaki Tulangan (Diambil dari Perhitungan Geser Tulangan Transversal/Sengkan Tumpuan dan Lapangan)

$$n_{tumpuan} = 3 \text{ Buah Tulangan}$$

$$n_{lapangan} = 2 \text{ Buah Tulangan}$$

Spasi/Jarak Tulangan (Diambil dari Perhitungan Geser Tulangan Transversal/Sengkan Tumpuan dan Lapangan)

$$s_{tumpuan} = 100 \text{ mm}$$

$$s_{lapangan} = 150 \text{ mm}$$

Cek Spasi atau Jarak Tulangan Torsi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.7.6.3.3)

$$S_{tumpuan} \text{ dan } S_{lapangan} \leq \min(S_{max1} \text{ atau } S_{max2})$$

$$100 \text{ mm dan } 150 \text{ mm} \leq \min((1/8 \times 2416 \text{ mm}) \text{ atau } (300 \text{ mm}))$$

$$100 \text{ mm dan } 150 \text{ mm} \leq \min((302 \text{ mm}) \text{ atau } (300 \text{ mm}))$$

$$100 \text{ mm dan } 150 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm (OK)}$$

Menghitung A_{torsi} / S (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.6.1)

$$\begin{aligned} A_{torsi} / S &= T_u / 2 \times \phi \times A_o \times f_y \\ &= 83.439.400 \text{ N.mm} / 2 \times 0,75 \times 301.593,60 \text{ mm}^2 \times \\ &\quad 280 \text{ N/mm}^2 \\ &= 0,659 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Menghitung $A_{v+t} / S_{tumpuan \text{ pasang}}$ dan $A_{v+t} / S_{lapangan \text{ pasang}}$

$$\begin{aligned} A_{v+t} / S_{tumpuan \text{ pasang}} &= n \times \pi / 4 \times d_s / S_{tumpuan} \\ &= 3 \times \pi / 4 \times 16 \text{ mm} / 100 \text{ mm} \\ &= 6,032 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t} / S_{lapangan \text{ pasang}} &= n \times \pi / 4 \times d_s / S_{lapangan} \\ &= 2 \times \pi / 4 \times 16 \text{ mm} / 150 \text{ mm} \\ &= 2,681 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Menghitung $A_v / S_{tumpuan \text{ perlu}}$ dan $A_v / S_{lapangan \text{ perlu}}$

$$\begin{aligned} A_v / S_{tumpuan \text{ perlu}} &= (V_{u \text{ tumpuan}} / \phi - V_c) / (f_y \times d) \\ &= (507.930,36 \text{ N} / 0,75 - 0 \text{ N}) / (280 \text{ N/mm}^2 - 729,5 \text{ mm}) \\ &= 3,316 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v / S_{lapangan \text{ perlu}} &= (V_{u \text{ lapangan}} / \phi - V_c) / (f_y \times d) \\ &= (304.413,60 \text{ N} / 0,75 - 428.740,50 \text{ N}) / (280 \text{ N/mm}^2 - 729,5 \text{ mm}) \\ &= -0,112 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Menghitung $A_{v+t} / S_{tumpuan\ perlu}$ dan $A_{v+t} / S_{lapangan\ perlu}$ (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal R9.5.4.3)

$$\begin{aligned} A_{v+t} / S_{tumpuan\ perlu} &= 2 \times ((A_{torsi} / S) + (A_v / S_{tumpuan\ perlu})) \\ &= 2 \times ((0,659 \text{ mm}^2/\text{mm}) + (3,316 \text{ mm}^2/\text{mm})) \\ &= 4,633 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t} / S_{lapangan\ perlu} &= 2 \times ((A_{torsi} / S) + (A_v / S_{lapangan\ perlu})) \\ &= 2 \times ((0,659 \text{ mm}^2/\text{mm}) + (-0,112 \text{ mm}^2/\text{mm})) \\ &= 1,206 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Menghitung A_{v+t} / S_{min1} dan A_{v+t} / S_{min2} (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.4.2)

$$\begin{aligned} A_{v+t} / S_{min1} &= 0,062 \times f'_c{}^{0,5} \times b / f_y \\ &= 0,062 \times 33,2^{0,5} \text{ N/mm}^2 \times 600 \text{ mm} / 280 \text{ N/mm}^2 \\ &= 0,766 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t} / S_{min2} &= 0,35 \times b / f_y \\ &= 0,35 \times 600 \text{ mm} / 280 \text{ N/mm}^2 \\ &= 0,750 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Cek Geser + Torsi Tumpuan dan Torsi Lapangan

$$A_{v+t} / S_{tumpuan\ pasang} \geq \text{maks}((A_{v+t} / S_{tumpuan\ perlu}) \text{ atau } (A_{v+t} / S_{min1} \text{ atau } A_{v+t} / S_{min2}))$$

$$6,032 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq \text{maks}((4,633 \text{ mm}^2/\text{mm}) \text{ atau } ((0,766 \text{ mm}^2/\text{mm}) \text{ atau } (0,750 \text{ mm}^2/\text{mm})))$$

$$6,032 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 4,633 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (OK)}$$

$$A_{v+t} / S_{lapangan\ pasang} \geq \text{maks}((A_{v+t} / S_{lapangan\ perlu}) \text{ atau } (A_{v+t} / S_{min1} \text{ atau } A_{v+t} / S_{min2}))$$

$$2,681 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq \text{maks}((1,206 \text{ mm}^2/\text{mm}) \text{ atau } ((0,766 \text{ mm}^2/\text{mm}) \text{ atau } (0,750 \text{ mm}^2/\text{mm})))$$

$$2,681 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 1,206 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (OK)}$$

Cek Tulangan Longitudinal Torsi

Cek Diameter Tulangan Torsi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.7.5.2)

$$d_{bt} \text{ (Asumsi untuk Perhitungan)} \geq d_{bt\ min}$$

$$16 \text{ mm} \geq \text{maks}((0,042 S_{tumpuan} \text{ atau } S_{lapangan}) \text{ atau } (10 \text{ mm}))$$

$$16 \text{ mm} \geq \text{maks}((0,042 \times 100 \text{ mm} \text{ atau } 150 \text{ mm}) \text{ atau } (10 \text{ mm}))$$

$$16 \text{ mm} \geq \text{maks}(4,2 \text{ mm} \text{ atau } 6,3 \text{ mm}) \text{ atau } (10 \text{ mm})$$

$$16 \text{ mm} \geq 10 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Luas Tulangan Perlu (Berdasarkan Perhitungan pada Tulangan Geser)

$$A_{s \text{ perlu tumpuan atas}} = 2007,25 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ perlu tumpuan bawah}} = 1693,66 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ perlu lapangan atas}} = 50,65 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ perlu lapangan bawah}} = 331,26 \text{ mm}^2$$

Cek Luas Tulangan Torsi Longitudinal (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.4.3 dan Pasal 22.7.6.1)

$$\begin{aligned} A_t &\geq A_{t \min} \\ (A_t / S \times P_h) &\geq (0,42 \times f'_c{}^{0,5} \times A_{cp} / f_y - A_t / S \times P_h) \\ (0,659 \text{ mm}^2/\text{mm} \times 2416 \text{ mm}) &\geq (0,42 \times 33,2^{0,5} \text{ N/mm}^2 \times 480.000 \text{ mm}^2 / 280 \\ &\quad \text{N/mm}^2 - 0,659 \text{ mm}^2/\text{mm} \times 2416 \text{ mm}) \\ 1591,46 \text{ mm}^2 &\geq 1174,27 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Menghitung $A_s + A_t$ Perlu Tumpuan dan Lapangan

$$\begin{aligned} A_{s \text{ tumpuan}} + A_{t \text{ perlu tumpuan}} &= A_t + A_{s \text{ perlu tumpuan atas}} + A_{s \text{ perlu tumpuan bawah}} \\ &= 1591,46 \text{ mm}^2 + 2007,25 \text{ mm}^2 + 1693,66 \text{ mm}^2 \\ &= 5292,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ lapangan}} + A_{t \text{ perlu lapangan}} &= A_t + A_{s \text{ perlu lapangan atas}} + A_{s \text{ perlu lapangan bawah}} \\ &= 1591,46 \text{ mm}^2 + 50,65 \text{ mm}^2 + 331,26 \text{ mm}^2 \\ &= 1973,38 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung Spasi atau Jarak Tulangan Longitudinal Tumpuan dan Lapangan

$$\begin{aligned} S_{\text{tumpuan}} &= \text{maks}((S_{\text{horizontal tumpuan}} \text{ atau } S_{\text{vertikal tumpuan}}) \\ &= \text{maks}\left(\left(\frac{b-2 \times c_c-2 \times d_s-d_{bt}}{\min(n_{\text{horizontal tumpuan}})-1}\right) \text{ atau } \left(\frac{h-2 \times c_c-2 \times d_s-d_{bt}}{n_{\text{vertikal}}-1}\right)\right) \\ &= \text{maks}\left(\left(\frac{600 \text{ mm}-2 \times 40 \text{ mm}-2 \times 16 \text{ mm}-16 \text{ mm}}{3-1}\right) \text{ atau } \left(\frac{800 \text{ mm}-2 \times 40 \text{ mm}-2 \times 16 \text{ mm}-16 \text{ mm}}{4-1}\right)\right) \\ &= \text{maks}((230 \text{ mm}) \text{ atau } (220 \text{ mm})) \\ &= 230 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{lapangan}} &= \text{maks}((S_{\text{horizontal lapangan}} \text{ atau } S_{\text{vertikal lapangan}}) \\ &= \text{maks}\left(\left(\frac{b-2 \times c_c-2 \times d_s-d_{bt}}{\min(n_{\text{horizontal lapangan}})-1}\right) \text{ atau } \left(\frac{h-2 \times c_c-2 \times d_s-d_{bt}}{n_{\text{vertikal}}-1}\right)\right) \\ &= \text{maks}\left(\left(\frac{600 \text{ mm}-2 \times 40 \text{ mm}-2 \times 16 \text{ mm}-16 \text{ mm}}{3-1}\right) \text{ atau } \left(\frac{800 \text{ mm}-2 \times 40 \text{ mm}-2 \times 16 \text{ mm}-16 \text{ mm}}{4-1}\right)\right) \\ &= \text{maks}((230 \text{ mm}) \text{ atau } (220 \text{ mm})) \\ &= 230 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek Spasi atau Jarak Tulangan Longitudinal Tumpuan dan Lapangan
(Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11.5.6.2)

$$S_{tumpuan} \text{ atau } S_{lapangan} \leq 300 \text{ mm}$$

$$(230 \text{ mm}) \text{ atau } (230 \text{ mm}) \leq 300 \text{ mm (OK)}$$

Menghitung Luas Tulangan Longitudinal dan Luas Tulangan Longitudinal Torsi Pasang Tumpuan dan Lapangan

$$A_{s \text{ tumpuan}} + A_{t \text{ pasang tumpuan}} = ((n_{atas} + n_{bawah}) \times \pi/4 \times d_b^2) + (n_{tengah} \times \pi/4 \times d_{bt}^2)$$

$$= ((4+3) \times \pi/4 \times 29^2 \text{ mm}) + (4 \times \pi/4 \times 16^2 \text{ mm})$$

$$= 4623,64 \text{ mm}^2 + 804,25 \text{ mm}^2$$

$$= 5427,89 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ lapangan}} + A_{t \text{ pasang lapangan}} = ((n_{atas} + n_{bawah}) \times \pi/4 \times d_b^2) + (n_{tengah} \times \pi/4 \times d_{bt}^2)$$

$$= ((3+3) \times \pi/4 \times 29^2 \text{ mm}) + (4 \times \pi/4 \times 16^2 \text{ mm})$$

$$= 3963,12 \text{ mm}^2 + 804,25 \text{ mm}^2$$

$$= 4767,37 \text{ mm}^2$$

Cek Lentur Torsi Tumpuan dan Lapangan

$$A_{s \text{ tumpuan}} + A_{t \text{ pasang tumpuan}} \geq A_{s \text{ tumpuan}} + A_{t \text{ perlu tumpuan}}$$

$$5427,89 \text{ mm}^2 \geq 5292,37 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$A_{s \text{ lapangan}} + A_{t \text{ pasang lapangan}} \geq A_{s \text{ lapangan}} + A_{t \text{ perlu lapangan}}$$

$$4767,37 \text{ mm}^2 \geq 1973,38 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis dan kontrol perhitungan, balok induk arah *X* tipe BI X1 Gedung A pada daerah tumpuan direncanakan menggunakan tulangan longitudinal tengah guna gaya torsi 4D16 dan pada daerah lapangan menggunakan 4D16.

Adapun rekapitulasi hasil kontrol torsi pada seluruh tipe balok induk, baik arah *X* maupun arah *Y*, untuk setiap pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E disajikan pada Tabel 4.133 berikut.

Tabel 4. 133 Rekapitulasi Kontrol Torsi Balok Induk Setiap Pemodelan

Variasi Pemodelan		Balok Induk BI X 1	Balok Induk BI X 2	Balok Induk BI X 3	Balok Induk BI Y 1	Balok Induk BI Y 2	Balok Induk BI Y 3
Torsi (kN.m)							
Gedung A	T_u	83,4	60,5	36,7	14,1	14,0	11,4
	T_{cr}	156,5	136,3	54,8	112,7	97,1	34,3
	$\phi T_{cr} / 4$	29,3	25,6	10,3	21,1	18,2	6,4
	Cek	Perlu	Perlu	Perlu	Tidak Perlu	Tidak Perlu	Perlu

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 133 Rekapitulasi Kontrol Torsi Balok Induk Setiap Pemodelan
(Lanjutan)

Variasi Pemodelan		Balok Induk BI X 1	Balok Induk BI X 2	Balok Induk BI X 3	Balok Induk BI Y 1	Balok Induk BI Y 2	Balok Induk BI Y 3
<i>Torsi (kN.m)</i>							
Gedung B	T_u	293,0	255,2	85,2	123,8	107,6	30,4
	T_{cr}	156,5	136,3	54,8	112,7	97,1	34,3
	$\phi T_{cr} / 4$	29,3	25,6	10,3	21,1	18,2	6,4
	<i>Cek</i>	Perlu	Perlu	Perlu	Perlu	Perlu	Perlu
Gedung C	T_u	294,6	257,5	86,9	122,4	106,1	29,5
	T_{cr}	156,5	136,3	54,8	112,7	97,1	34,3
	$\phi T_{cr} / 4$	29,3	25,6	10,3	21,1	18,2	6,4
	<i>Cek</i>	Perlu	Perlu	Perlu	Perlu	Perlu	Perlu
Gedung D	T_u	301,1	263,0	89,3	108,0	106,1	29,5
	T_{cr}	156,5	136,3	54,8	112,7	97,1	34,3
	$\phi T_{cr} / 4$	29,3	25,6	10,3	21,1	18,2	6,4
	<i>Cek</i>	Perlu	Perlu	Perlu	Perlu	Perlu	Perlu
Gedung E	T_u	297,6	263,0	89,3	107,0	106,1	29,5
	T_{cr}	156,5	136,3	54,8	112,7	97,1	34,3
	$\phi T_{cr} / 4$	29,3	25,6	10,3	21,1	18,2	6,4
	<i>Cek</i>	Perlu	Perlu	Perlu	Perlu	Perlu	Perlu

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Adapun rekapitulasi tulangan berdasarkan hasil analisa dan kontrol lentur, geser, dan torsi pada seluruh tipe balok induk, baik arah *X* maupun arah *Y*, untuk setiap pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E disajikan pada Tabel 4.134 berikut.

Tabel 4. 134 Rekapitulasi Tulangan Balok Induk Setiap Pemodelan

Elemen Struktur	Tulangan Longitudinal						Tulangan Transversal/Sengkang	
	Tumpuan Atas	Tumpuan Tengah	Tumpuan Bawah	Lapangan Atas	Lapangan Tengah	Lapangan Bawah	Tumpuan	Lapangan
Gedung A								
Balok Induk BI X 1	21 4 D29	4 D16	3 D29	3 D29	4 D16	3 D29	3D16-100	2D16-150
Balok Induk BI X 2	21 4 D29	4 D16	3 D29	3 D29	4 D16	3 D29	3D16-100	2D16-150
Balok Induk BI X 3	3 D25	2 D16	2 D25	2 D25	2 D16	2 D25	3D13-100	2D13-150
Balok Induk BI Y 1	21 4 D25	-	4 D25	3 D25	-	3 D25	2D16-100	2D16-150
Balok Induk BI Y 2	21 4 D25	-	4 D25	3 D25	-	3 D25	2D16-100	2D16-150
Balok Induk BI Y 3	2 D25	2 D13	2 D25	2 D25	2 D13	2 D25	2D13-100	2D13-150
Gedung B								
Balok Induk BI X 1	21 4 D29	4 D19	4 D29	3 D29	4 D19	3 D29	3D16-100	2D16-150
Balok Induk BI X 2	21 4 D29	4 D19	4 D29	3 D29	4 D19	3 D29	3D16-100	2D16-150
Balok Induk BI X 3	3 D25	4 D16	2 D25	2 D25	2 D16	2 D25	3D13-100	2D13-150
Balok Induk BI Y 1	21 4 D25	4 D19	3 D25	3 D25	2 D19	3 D25	3D16-100	2D16-150
Balok Induk BI Y 2	21 4 D25	4 D19	3 D25	3 D25	2 D19	3 D25	3D16-100	2D16-150
Balok Induk BI Y 3	2 D25	2 D13	2 D25	2 D25	2 D13	2 D25	3D13-100	2D13-150
Gedung C								
Balok Induk BI X 1	21 4 D29	4 D19	4 D29	3 D29	4 D19	3 D29	3D16-100	2D16-150
Balok Induk BI X 2	21 4 D29	4 D19	4 D29	3 D29	4 D19	3 D29	3D16-100	2D16-150

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 134 Rekapitulasi Tulangan Balok Induk Setiap Pemodelan
(Lanjutan)

Elemen Struktur	Tulangan Longitudinal						Tulangan Transversal/Sengkang	
	Tumpuan Atas	Tumpuan Tengah	Tumpuan Bawah	Lapangan Atas	Lapangan Tengah	Lapangan Bawah	Tumpuan	Lapangan
Balok Induk BI X 3	3 D25	4 D16	2 D25	2 D25	2 D16	2 D25	3D13-100	2D13-150
Balok Induk BI Y 1	²¹ 4 D25	4 D19	3 D25	3 D25	2 D19	3 D25	3D16-100	2D16-150
Balok Induk BI Y 2	²¹ 4 D25	4 D19	3 D25	3 D25	2 D19	3 D25	3D16-100	2D16-150
Balok Induk BI Y 3	2 D25	2 D13	2 D25	2 D25	2 D13	2 D25	3D13-100	2D13-150
Gedung D								
Balok Induk BI X 1	²¹ 4 D29	4 D19	4 D29	3 D29	4 D19	3 D29	3D16-100	2D16-150
Balok Induk BI X 2	²¹ 4 D29	4 D19	4 D29	3 D29	4 D19	3 D29	3D16-100	2D16-150
Balok Induk BI X 3	3 D25	4 D16	2 D25	2 D25	2 D16	2 D25	3D13-100	2D13-150
Balok Induk BI Y 1	²¹ 4 D25	4 D19	3 D25	3 D25	2 D19	3 D25	3D16-100	2D16-150
Balok Induk BI Y 2	²¹ 4 D25	4 D19	3 D25	3 D25	2 D19	3 D25	3D16-100	2D16-150
Balok Induk BI Y 3	2 D25	2 D13	2 D25	2 D25	2 D13	2 D25	3D13-100	2D13-150
Gedung E								
Balok Induk BI X 1	²¹ 4 D29	4 D19	4 D29	3 D29	4 D19	3 D29	3D16-100	2D16-150
Balok Induk BI X 2	²¹ 4 D29	4 D19	4 D29	3 D29	4 D19	3 D29	3D16-100	2D16-150
Balok Induk BI X 3	3 D25	4 D16	2 D25	2 D25	2 D16	2 D25	3D13-100	2D13-150
Balok Induk BI Y 1	²¹ 4 D25	4 D19	3 D25	3 D25	2 D19	3 D25	3D16-100	2D16-150
Balok Induk BI Y 2	²¹ 4 D25	4 D19	3 D25	3 D25	2 D19	3 D25	3D16-100	2D16-150

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 134 Rekapitulasi Tulangan Balok Induk Setiap Pemodelan
(Lanjutan)

Elemen Struktur	Tulangan Longitudinal						Tulangan Transversal/Senggang	
	Tumpuan Atas	Tumpuan Tengah	Tumpuan Bawah	Lapangan Atas	Lapangan Tengah	Lapangan Bawah	Tumpuan	Lapangan
Balok Induk BI Y 3	2 D25	2 D13	2 D25	2 D25	2 D13	2 D25	3D13-100	2D13-150

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4.6.2 Balok Anak

Pada tahap analisis dan kontrol tulangan balok anak yang diperoleh dari hasil *preliminary design* pada Subbab 4.3.1, perencanaan tulangan harus mencakup tulangan lentur, geser, dan torsi. Perencanaan tersebut dilakukan pada dua daerah utama, yaitu daerah tumpuan dan daerah lapangan, dengan mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 serta pembahasan yang telah dijelaskan pada Subbab 2.7. Untuk melakukan perhitungan tulangan pada balok anak, diperlukan data *output* gaya dalam yang diperoleh dari hasil analisis menggunakan *software* ETABS v.22. Berikut merupakan rekapitulasi gaya dalam balok anak, baik pada arah *X* maupun arah *Y*, untuk seluruh pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E.

Tabel 4. 135 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Balok Anak Pemodelan Gedung A

Elemen Struktur	Lentur (kN.m)				Geser (kN)		Torsi (kN.m)
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan	
	M_u (-)	M_u (+)	M_u (-)	M_u (+)	V_u	V_g	
Balok Anak BA 1	-104,716	54,020	-35,292	44,325	74,983	70,284	0,800
Balok Anak BA 2	-77,686	31,625	-23,002	31,193	58,190	54,665	0,587
Balok Anak BA 3	-51,582	13,771	-10,314	33,906	48,235	45,729	0,298

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 136 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Balok Anak Pemodelan Gedung B

Elemen Struktur	Lentur (kN.m)				Geser (kN)		Torsi (kN.m)
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan	
	M_u (-)	M_u (+)	M_u (-)	M_u (+)	V_u	V_g	
Balok Anak BA 1	-100,168	49,966	-33,048	42,358	73,203	68,504	1,543
Balok Anak BA 2	-74,517	28,856	-21,460	29,880	56,644	53,120	1,346
Balok Anak BA 3	-50,538	14,022	-10,139	34,139	48,318	45,812	1,256

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 137 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Balok Anak Pemodelan Gedung C

Elemen Struktur	Lentur (kN.m)				Geser (kN)		Torsi (kN.m)
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan	
	M_u (-)	M_u (+)	M_u (-)	M_u (+)	V_u	V_g	
Balok Anak BA 1	-100,167	49,911	-33,039	42,326	73,425	68,726	1,508
Balok Anak BA 2	-74,536	28,827	-21,462	29,862	56,657	53,133	1,306
Balok Anak BA 3	-50,846	14,264	-10,327	34,264	48,524	46,018	1,049

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 138 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Balok Anak Pemodelan Gedung D

Elemen Struktur	Lentur (kN.m)				Geser (kN)		Torsi (kN.m)
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan	
	M_u (-)	M_u (+)	M_u (-)	M_u (+)	V_u	V_g	
Balok Anak BA 1	-101,372	50,705	-33,542	42,608	73,904	69,205	1,421
Balok Anak BA 2	-75,406	29,369	-21,804	30,022	57,115	53,591	1,208
Balok Anak BA 3	-51,089	14,255	-10,482	33,914	48,499	45,993	0,983

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 139 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Balok Anak Pemodelan Gedung E

Elemen Struktur	Lentur (kN.m)				Geser (kN)		Torsi (kN.m)
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan	
	M_u (-)	M_u (+)	M_u (-)	M_u (+)	V_u	V_g	
Balok Anak BA 1	-101,648	51,863	-33,499	42,890	74,228	69,529	1,441
Balok Anak BA 2	-75,317	29,565	-21,765	29,999	57,341	53,817	1,236
Balok Anak BA 3	-51,445	14,804	-10,724	33,959	48,734	46,228	1,002

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berikut merupakan salah satu contoh analisis dan kontrol perhitungan tulangan balok anak tipe *BA 1* pada pemodelan Gedung A, yang meliputi pemeriksaan terhadap lendutan, lentur, geser, serta torsi.

Profil Balok Anak BA 1

Tabel 4. 140 Profil Balok Anak BA 1 Gedung A

3 Data Profil	Notasi	Nilai	Satuan
Panjang/Bentang Balok	L	4000	mm
Lebar Balok	b	300	mm
Tinggi Balok	h	500	mm
Tebal Selimut Beton	c_c	40	mm
Tebal Efektif Balok	d	440,5	mm
Kuat Tekan Beton	f'_c	33,2	MPa
Kuat Leleh Tul. Longitudinal	f_y	420	MPa
Kuat Leleh Tul. Transversal	f_y	280	MPa
Diameter Tul. Transversal Rencana	d_s	10	mm
Diameter Tul. Longitudinal Rencana	d_b	19	mm

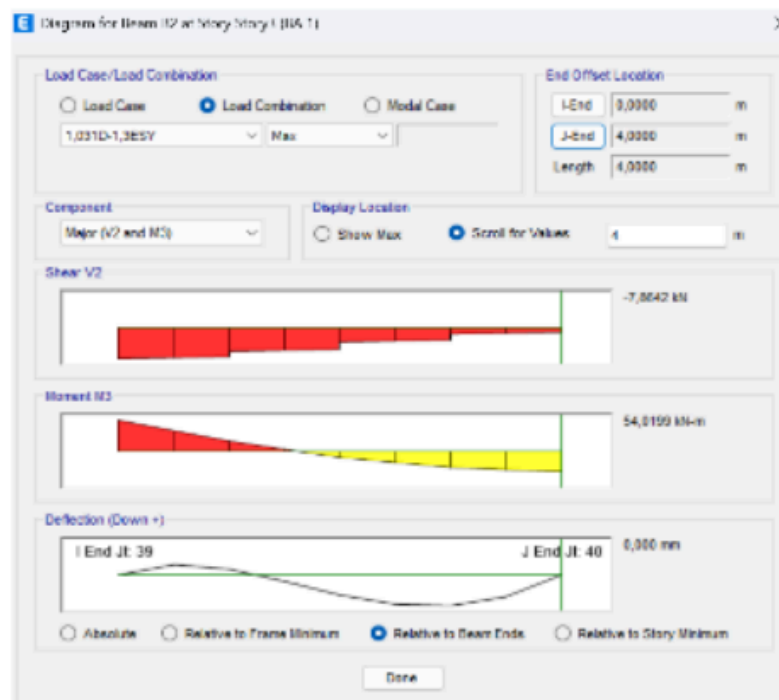
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Adapun hasil *output* gaya dalam berupa momen dan lendutan pada balok anak tipe BA 1 Gedung A ditampilkan pada Gambar 4.70 hingga Gambar 4.73, yang mencakup kondisi pada daerah tumpuan (momen negatif dan positif) serta daerah lapangan (momen negatif dan positif).

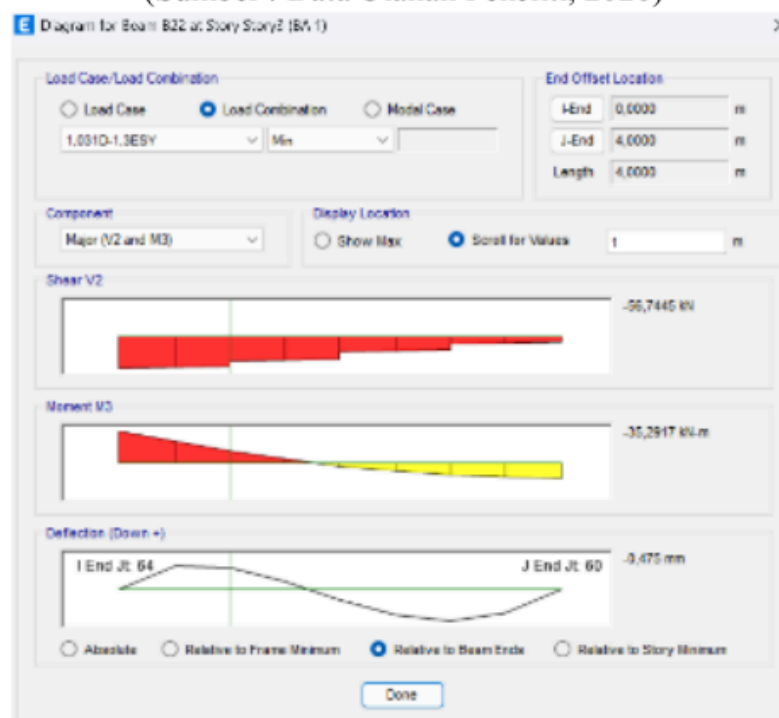


Gambar 4. 70 *Output* Momen dan Lendutan Balok Anak BA 1 Gedung A pada Daerah Tumpuan Negatif

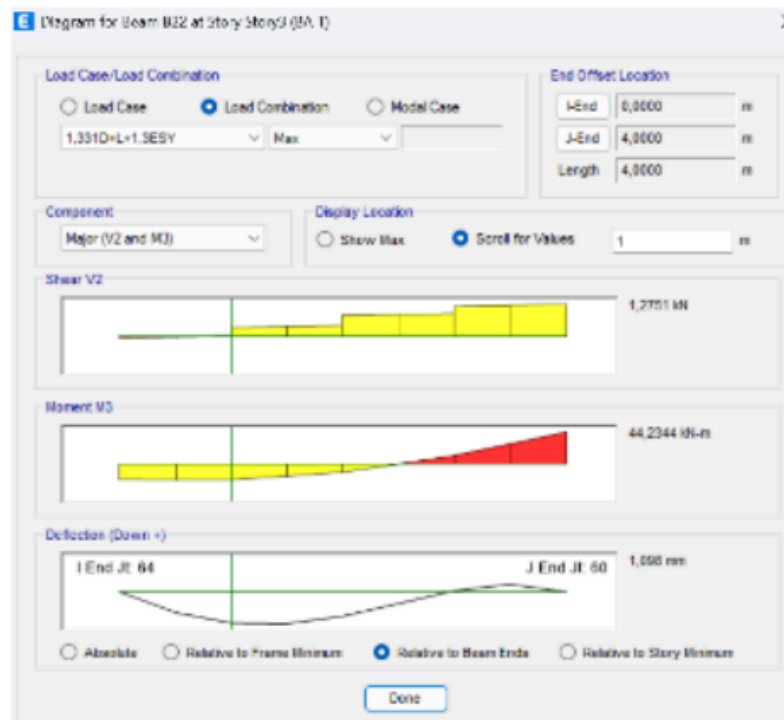
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 71 *Output Momen dan Lendutan Balok Anak BA 1 Gedung A pada Daerah Tumpuan Positif*
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 72 *Output Momen dan Lendutan Balok Anak BA 1 Gedung A pada Daerah Lapangan Negatif*
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 73 *Output Momen dan Lendutan Balok Anak BA 1 Gedung A pada Daerah Lapangan Positif*
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Kontrol Lendutan

Syarat Lendutan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

Lendutan Tumpuan Momen Negatif $\leq \ell / 360$
0,831 mm $\leq 4000 \text{ mm} / 360$
0,831 mm $\leq 11,111 \text{ mm}$ (**OK**)

Lendutan Tumpuan Momen Positif $\leq \ell / 360$
0,966 mm $\leq 4000 \text{ mm} / 360$
0,966 mm $\leq 11,111 \text{ mm}$ (**OK**)

Lendutan Tumpuan Momen Negatif $\leq \ell / 360$
- 0,475mm $\leq 4000 \text{ mm} / 360$
- 0,475mm $\leq 11,111 \text{ mm}$ (**OK**)

Lendutan Tumpuan Momen Negatif $\leq \ell / 360$
1,098 mm $\leq 4000 \text{ mm} / 360$
1,098mm $\leq 11,111 \text{ mm}$ (**OK**)

Adapun rekapitulasi hasil kontrol lendutan pada seluruh tipe balok anak untuk setiap pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E disajikan pada Tabel 4.141 berikut.

Tabel 4. 141 Rekapitulasi Kontrol Lendutan Balok Anak Setiap Pemodelan

Variasi Pemodelan	Balok Anak BA 1				Balok Anak BA 2				Balok Anak BA 3			
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan	
	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
Lendutan Ijin, δ_{ijin} (mm)												
11,11												
Lendutan, δ (mm)												
Gedung A	0,83	0,97	-0,48	1,10	1,04	1,16	-0,45	1,36	1,86	0,83	-0,15	2,41
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung B	0,80	0,93	-0,43	1,06	1,02	1,13	-0,41	1,32	1,87	0,82	-0,12	2,60
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung C	0,80	0,95	-0,43	1,06	1,02	1,13	-0,41	1,32	2,03	0,83	-0,14	2,64
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung D	0,81	0,93	-0,44	1,07	1,03	0,93	-0,44	1,13	1,87	0,84	-0,16	2,42
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung E	0,87	0,90	-0,44	1,03	1,03	1,13	-0,42	1,32	2,04	0,85	-0,15	2,41
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Kontrol Lentur Tumpuan Momen Negatif

Jumlah Tulangan Tumpuan Negatif (Asumsi untuk Perhitungan dengan Mengikuti Syarat SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1 dan Pasal 9.6.1.2)

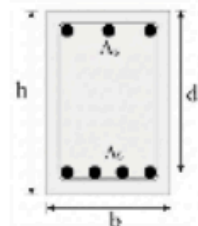
$n = 3$ Batang Tulangan

Cek Jarak Bersih (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned}
 &\text{Jarak Bersih} \geq \text{maks}(d_b \text{ atau } 25 \text{ mm}) \\
 &\frac{b - 2c_c - 2d_s - n \times d_b}{n - 1} \geq \text{maks}(19 \text{ mm atau } 25 \text{ mm}) \\
 &\frac{300 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm} - 3 \times 19 \text{ mm}}{3 - 1} \geq 25 \text{ mm} \\
 &71,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (OK)}
 \end{aligned}$$

Cek Luas Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2)

$$\begin{aligned}
 &A_s \geq \text{maks}(A_{s \text{ min1}} \text{ atau } A_{s \text{ min2}}) \\
 &n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \geq \text{maks}\left(\left(\frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y}\right) \times b \times d \text{ atau } \left(\frac{1,4}{4 \times f_y}\right) \times b \times d\right) \\
 &3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \text{ mm} \geq \text{maks}\left(\left(\frac{\sqrt{33,2} \text{ N/mm}^2}{4 \times 420 \text{ N/mm}^2}\right) \times 300 \text{ mm} \times 440,5 \text{ mm}\right) \\
 &\quad \text{atau } \left(\frac{1,4}{4 \times 420 \text{ N/mm}^2}\right) \times 300 \text{ mm} \times 440,5 \text{ mm} \\
 &850,59 \text{ mm}^2 \geq \text{maks}(453,24 \text{ mm}^2 \text{ atau } 440,5 \text{ mm}^2) \\
 &850,59 \text{ mm}^2 \geq 453,24 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$



Menghitung Distribusi Blok Tegangan Beton (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= A_s \times f_y / 0,85 \times f'_c \times b \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 / 0,85 \times 33,2 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}^2 \\ &= 42,20 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung Lokasi Garis Netral (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1, Pasal 22.2.2.4.2, dan Pasal 22.2.2.4.3)

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 42,20 \text{ mm} / 0,8129 \\ &= 51,91 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung Regangan Tulangan Tarik (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= ((d - c) / c) \times 0,003 \\ &= ((440,5 \text{ mm} - 51,91 \text{ mm}) / 51,91 \text{ mm}) \times 0,003 \\ &= 0,022 \end{aligned}$$

Menghitung Momen Kapasitas Lentur (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 850,59 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 \times (440,5 \text{ mm} - \frac{51,91 \text{ mm}}{2}) \\ &= 149.829.460,59 \text{ N.mm} \\ &= 149,83 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Faktor Reduksi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 21.2.2 dan Tabel 21.2.2)

$$\phi = 0,9 \quad (\epsilon_t \geq 0,005 = 0,022 \geq 0,005)$$

Menghitung Momen Kapasitas Lentur Tereduksi

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 149,83 \text{ kN.m} \\ &= 134,847 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Cek Kapasitas Momen Lentur

$$\begin{aligned} \phi M_n &> M_u \\ 134,847 \text{ kN.m} &> 104,72 \text{ kN.m (OK)} \end{aligned}$$

Menghitung Luas Tulangan Perlu

$$\begin{aligned} A_s \text{ Perlu} &= M_u / f_y \times (d - (a / 2)) \\ &= 149.829.460,59 \text{ N.mm} / 420 \text{ N/mm}^2 \times (440,5 \text{ mm} - (51,91 \text{ mm} / 2)) \end{aligned}$$

$$= 594,48 \text{ mm}^2$$

Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis dan kontrol perhitungan, balok anak tipe BA 1 Gedung A pada daerah tumpuan dengan kondisi momen negatif (tarik) direncanakan menggunakan tulangan sebesar 3D19.

Kontrol Lentur Tumpuan Momen Positif

Jumlah Tulangan Tumpuan Positif (Asumsi untuk Perhitungan dengan Mengikuti Syarat SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1 dan Pasal 9.6.1.2)

$$n = 2 \text{ Batang Tulangan}$$

Cek Jarak Bersih (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\text{Jarak Bersih} \geq \text{maks}(d_b \text{ atau } 25 \text{ mm})$$

$$\frac{b - 2c_c - 2d_s - n \times d_b}{n - 1} \geq \text{maks}(19 \text{ mm atau } 25 \text{ mm})$$

$$\frac{300 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm} - 2 \times 19 \text{ mm}}{2 - 1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$162 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (OK)}$$

Cek Luas Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2)

$$A_s \geq \text{maks}(A_{s \text{ min1}} \text{ atau } A_{s \text{ min2}})$$

$$n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \geq \text{maks}\left(\left(\frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y}\right) \times b \times d \text{ atau } \left(\frac{1,4}{4 \times f_y}\right) \times b \times d\right)$$

$$2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \text{ mm} \geq \text{maks}\left(\left(\frac{\sqrt{33,2} \text{ N/mm}^2}{4 \times 420 \text{ N/mm}^2}\right) \times 300 \text{ mm} \times 440,5 \text{ mm}\right)$$

$$\text{atau } \left(\frac{1,4}{4 \times 420 \text{ N/mm}^2}\right) \times 300 \text{ mm} \times 440,5 \text{ mm}$$

$$567,06 \text{ mm}^2 \geq \text{maks}(453,24 \text{ mm}^2 \text{ atau } 440,5 \text{ mm}^2)$$

$$567,06 \text{ mm}^2 \geq 453,24 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Menghitung Distribusi Blok Tegangan Beton (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$a = A_s \times f_y / 0,85 \times f'_c \times b$$

$$= 567,06 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 / 0,85 \times 33,2 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}^2$$

$$= 28,13 \text{ mm}$$

Menghitung Lokasi Garis Netral (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1, Pasal 22.2.2.4.2, dan Pasal 22.2.2.4.3)

$$c = a / \beta_1$$

$$= 28,13 \text{ mm} / 0,8129$$

$$= 34,61 \text{ mm}$$

Menghitung Regangan Tulangan Tarik (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\begin{aligned}\epsilon_t &= ((d - c) / c) \times 0,003 \\ &= ((440,5 \text{ mm} - 34,61 \text{ mm}) / 34,61 \text{ mm}) \times 0,003 \\ &= 0,035\end{aligned}$$

Menghitung Momen Kapasitas Lentur (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}M_n &= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 \times (440,5 \text{ mm} - \frac{28,13 \text{ mm}}{2}) \\ &= 101.561.305,79 \text{ N.mm} \\ &= 101,56 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

Faktor Reduksi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 21.2.2 dan Tabel 21.2.2)

$$\phi = 0,9 (\epsilon_t \geq 0,005 = 0,035 \geq 0,005)$$

Menghitung Momen Kapasitas Lentur Tereduksi

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 101,56 \text{ kN.m} \\ &= 91,41 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

Cek Kapasitas Momen Lentur

$$\begin{aligned}\phi M_n &> M_u \\ 91,41 \text{ kN.m} &> 54,02 \text{ kN.m (OK)}\end{aligned}$$

Menghitung Luas Tulangan Perlu

$$\begin{aligned}A_s \text{ Perlu} &= M_u / f_y \times (d - (a / 2)) \\ &= 54.019.900 \text{ N.mm} / 420 \text{ N/mm}^2 \times (440,5 \text{ mm} - (28,13 \text{ mm} / 2)) \\ &= 301,62 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis dan kontrol perhitungan, balok anak tipe BA 1 Gedung A pada daerah tumpuan dengan kondisi momen positif (tekan) direncanakan menggunakan tulangan sebesar 2D19.

Kontrol Lentur Lapangan Momen Negatif

Jumlah Tulangan Lapangan Negatif (Asumsi untuk Perhitungan dengan Mengikuti Syarat SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1 dan Pasal 9.6.1.2)

$$n = 2 \text{ Batang Tulangan}$$

Cek Jarak Bersih (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Jarak Bersih} &\geq \text{maks}(d_b \text{ atau } 25 \text{ mm}) \\ \frac{b - 2c_c - 2d_s - n \times d_b}{n - 1} &\geq \text{maks}(19 \text{ mm atau } 25 \text{ mm})\end{aligned}$$

$$\frac{300 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm} - 2 \times 19 \text{ mm}}{2-1} \geq 25 \text{ mm}$$

$$162 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (OK)}$$

Cek Luas Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2)

$$A_s \geq \text{maks}(A_{s \text{ min1}} \text{ atau } A_{s \text{ min2}})$$

$$n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \geq \text{maks}\left(\left(\frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y}\right) \times b \times d\right) \text{ atau } \left(\frac{1,4}{4 \times f_y}\right) \times b \times d$$

$$2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \text{ mm} \geq \text{maks}\left(\left(\frac{\sqrt{33,2} \text{ N/mm}^2}{4 \times 420 \text{ N/mm}^2}\right) \times 300 \text{ mm} \times 440,5 \text{ mm}\right) \\ \text{atau } \left(\frac{1,4}{4 \times 420 \text{ N/mm}^2}\right) \times 300 \text{ mm} \times 440,5 \text{ mm}$$

$$567,06 \text{ mm}^2 \geq \text{maks}(453,24 \text{ mm}^2 \text{ atau } 440,5 \text{ mm}^2)$$

$$567,06 \text{ mm}^2 \geq 453,24 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Menghitung Distribusi Blok Tegangan Beton (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$a = A_s \times f_y / 0,85 \times f'_c \times b \\ = 567,06 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 / 0,85 \times 33,2 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}^2 \\ = 28,13 \text{ mm}$$

Menghitung Lokasi Garis Netral (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1, Pasal 22.2.2.4.2, dan Pasal 22.2.2.4.3)

$$c = a / \beta_1 \\ = 28,13 \text{ mm} / 0,8129 \\ = 34,61 \text{ mm}$$

Menghitung Regangan Tulangan Tarik (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\epsilon_t = ((d - c) / c) \times 0,003 \\ = ((440,5 \text{ mm} - 34,61 \text{ mm}) / 34,61 \text{ mm}) \times 0,003 \\ = 0,035$$

Menghitung Momen Kapasitas Lentur (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ = 567,06 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 \times \left(440,5 \text{ mm} - \frac{28,13 \text{ mm}}{2}\right) \\ = 101.561.305,79 \text{ N.mm} \\ = 101,56 \text{ kN.m}$$

Faktor Reduksi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 21.2.2 dan Tabel 21.2.2)

$$\phi = 0,9 (\epsilon_t \geq 0,005 = 0,035 \geq 0,005)$$

Menghitung Momen Kapasitas Lentur Tereduksi

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 101,56 \text{ kN.m} \\ &= 91,41 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

Cek Kapasitas Momen Lentur

$$\begin{aligned}\phi M_n &> M_u \\ 91,41 \text{ kN.m} &> 35,29 \text{ kN.m (OK)}\end{aligned}$$

Menghitung Luas Tulangan Perlu

$$\begin{aligned}A_s \text{ Perlu} &= M_u / f_y \times (d - (a / 2)) \\ &= 35.291.700 \text{ N.mm} / 420 \text{ N/mm}^2 \times (440,5 \text{ mm} - (28,13 \\ &\quad \text{mm} / 2)) \\ &= 197,05 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis dan kontrol perhitungan, balok anak tipe BA 1 Gedung A pada daerah lapangan dengan kondisi momen negatif (tarik) direncanakan menggunakan tulangan sebesar 2D19.

Kontrol Lentur Lapangan Momen Positif

Jumlah Tulangan Lapangan Positif (Asumsi untuk Perhitungan dengan Mengikuti Syarat SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1 dan Pasal 9.6.1.2)

$$n = 2 \text{ Batang Tulangan}$$

Cek Jarak Bersih (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Jarak Bersih} &\geq \text{maks}(d_b \text{ atau } 25 \text{ mm}) \\ \frac{b-2c_c-2d_s-n \times d_b}{n-1} &\geq \text{maks}(19 \text{ mm atau } 25 \text{ mm}) \\ \frac{300 \text{ mm}-2 \times 40 \text{ mm}-2 \times 10 \text{ mm}-2 \times 19 \text{ mm}}{2-1} &\geq 25 \text{ mm} \\ 162 \text{ mm} &\geq 25 \text{ mm (OK)}\end{aligned}$$

Cek Luas Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2)

$$\begin{aligned}A_s &\geq \text{maks}(A_{s \text{ min1}} \text{ atau } A_{s \text{ min2}}) \\ n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 &\geq \text{maks}\left(\left(\frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times b \times d\right) \text{ atau } \left(\frac{1,4}{4 \times f_y} \times b \times d\right)\right) \\ 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \text{ mm} &\geq \text{maks}\left(\left(\frac{\sqrt{33,2} \text{ N/mm}^2}{4 \times 420 \text{ N/mm}^2} \times 300 \text{ mm} \times 440,5 \text{ mm}\right)\right. \\ &\quad \left.\text{atau } \left(\frac{1,4}{4 \times 420 \text{ N/mm}^2} \times 300 \text{ mm} \times 440,5 \text{ mm}\right)\right) \\ 567,06 \text{ mm}^2 &\geq \text{maks}(453,24 \text{ mm}^2 \text{ atau } 440,5 \text{ mm}^2) \\ 567,06 \text{ mm}^2 &\geq 453,24 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

Menghitung Distribusi Blok Tegangan Beton (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= A_s \times f_y / 0,85 \times f'_c \times b \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 / 0,85 \times 33,2 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm}^2 \\ &= 28,13 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung Lokasi Garis Netral (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1, Pasal 22.2.2.4.2, dan Pasal 22.2.2.4.3)

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 28,13 \text{ mm} / 0,8129 \\ &= 34,61 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung Regangan Tulangan Tarik (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= ((d - c) / c) \times 0,003 \\ &= ((440,5 \text{ mm} - 34,61 \text{ mm}) / 34,61 \text{ mm}) \times 0,003 \\ &= 0,035 \end{aligned}$$

Menghitung Momen Kapasitas Lentur (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 \times (440,5 \text{ mm} - \frac{28,13 \text{ mm}}{2}) \\ &= 101.561.305,79 \text{ N.mm} \\ &= 101,56 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Faktor Reduksi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 21.2.2 dan Tabel 21.2.2)

$$\phi = 0,9 (\epsilon_t \geq 0,005 = 0,035 \geq 0,005)$$

Menghitung Momen Kapasitas Lentur Tereduksi

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 101,56 \text{ kN.m} \\ &= 91,41 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Cek Kapasitas Momen Lentur

$$\begin{aligned} \phi M_n &> M_u \\ 91,41 \text{ kN.m} &> 44,33 \text{ kN.m (OK)} \end{aligned}$$

Menghitung Luas Tulangan Perlu

$$\begin{aligned} A_s \text{ Perlu} &= M_u / f_y \times (d - (a / 2)) \\ &= 44.325.000 \text{ N.mm} / 420 \text{ N/mm}^2 \times (440,5 \text{ mm} - (28,13 \text{ mm} / 2)) \end{aligned}$$

$$= 247,48 \text{ mm}^2$$

Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis dan kontrol perhitungan, balok anak tipe BA 1 Gedung A pada daerah lapangan dengan kondisi momen positif (tekan) direncanakan menggunakan tulangan sebesar 2D19.

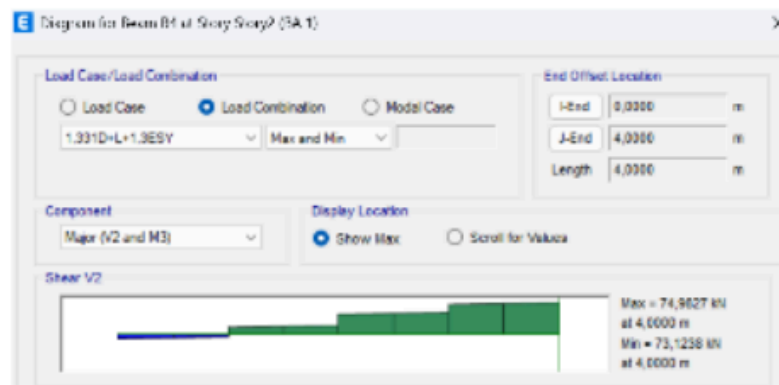
Adapun rekapitulasi hasil kontrol lentur pada seluruh tipe balok anak untuk setiap pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E disajikan pada Tabel 4.142 berikut.

Tabel 4. 142 Rekapitulasi Kontrol Lentur Balok Anak Setiap Pemodelan

Variasi Pemodelan		Balok Anak BA 1				Balok Anak BA 2				Balok Anak BA 2			
		Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan		Tumpuan		Lapangan	
		(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
Lentur (kN.m)													
Gedung A	M_u	104,7	54,0	35,3	44,3	77,7	31,6	23,0	31,2	51,6	13,8	10,3	33,9
	M_n	149,8	101,6	101,6	101,6	89,0	89,0	89,0	89,0	81,0	55,2	55,2	55,2
	ϕM_n	134,8	91,4	91,4	91,4	80,1	80,1	80,1	80,1	72,9	49,7	49,7	49,7
	Rasio	0,777	0,591	0,386	0,485	0,970	0,395	0,287	0,389	0,708	0,277	0,207	0,682
	Cek	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung B	M_u	100,2	50,0	33,0	42,4	74,5	28,9	21,5	29,9	50,5	14,0	10,1	34,1
	M_n	149,8	101,6	101,6	101,6	89,0	89,0	89,0	89,0	81,0	55,2	55,2	55,2
	ϕM_n	134,8	91,4	91,4	91,4	80,1	80,1	80,1	80,1	72,9	49,7	49,7	49,7
	Rasio	0,743	0,547	0,362	0,463	0,930	0,360	0,268	0,373	0,694	0,282	0,204	0,687
	Cek	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung C	M_u	100,2	49,9	33,0	42,3	74,5	28,8	21,5	29,9	50,8	14,3	10,3	34,3
	M_n	149,8	101,6	101,6	101,6	89,0	89,0	89,0	89,0	81,0	55,2	55,2	55,2
	ϕM_n	134,8	91,4	91,4	91,4	80,1	80,1	80,1	80,1	72,9	49,7	49,7	49,7
	Rasio	0,743	0,546	0,361	0,463	0,931	0,360	0,268	0,373	0,698	0,287	0,208	0,689
	Cek	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung D	M_u	101,4	50,7	33,5	42,6	75,4	29,4	21,8	30,0	51,1	14,3	10,5	33,9
	M_n	149,8	101,6	101,6	101,6	89,0	89,0	89,0	89,0	81,0	55,2	55,2	55,2
	ϕM_n	134,8	91,4	91,4	91,4	80,1	80,1	80,1	80,1	72,9	49,7	49,7	49,7
	Rasio	0,752	0,555	0,367	0,466	0,942	0,367	0,272	0,375	0,701	0,287	0,211	0,682
	Cek	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung E	M_u	101,6	51,9	33,5	42,9	75,3	29,6	21,8	30,0	51,4	14,8	10,7	34,0
	M_n	149,8	101,6	101,6	101,6	89,0	89,0	89,0	89,0	81,0	55,2	55,2	55,2
	ϕM_n	134,8	91,4	91,4	91,4	80,1	80,1	80,1	80,1	72,9	49,7	49,7	49,7
	Rasio	0,754	0,567	0,366	0,469	0,940	0,369	0,272	0,375	0,706	0,298	0,216	0,683
	Cek	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

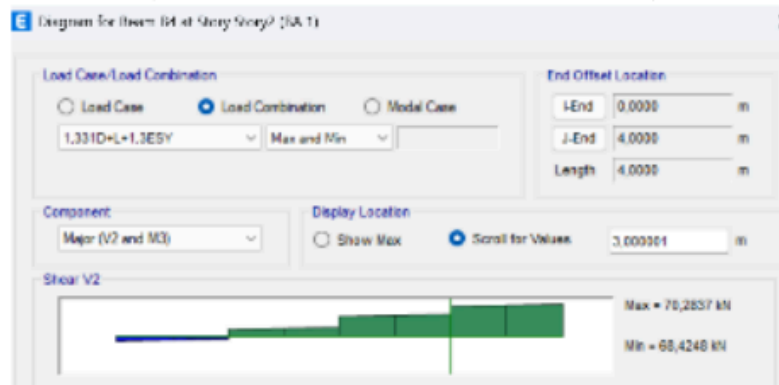
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Adapun hasil *output* gaya dalam berupa geser pada balok anak tipe BA 1 ditampilkan pada Gambar 4.74 hingga Gambar 4.75, yang mencakup kondisi pada daerah tumpuan serta daerah lapangan.



Gambar 4. 74 Output Geser V_u Balok Anak BA 1 Gedung A pada Daerah Tumpuan

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 75 Output Geser V_u Balok Anak BA 1 Gedung A pada Daerah Lapangan

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Kontrol Geser Tumpuan

Jumlah Kaki Tulangan (Asumsi untuk Perhitungan dengan Mengikuti Syarat SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1 dan Pasal 9.6.1.2)

$n = 2$ Buah Tulangan

Cek Luas Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2)

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10 \text{ mm}^2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek Spasi atau Jarak Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4.4)

$$S_{pakai} \leq S_{max}$$

$$S_{pakai} \leq \min(S_{max1} \text{ atau } S_{max2})$$

$$150 \text{ mm} \leq \min((1/2 \times d) \text{ atau } (600 \text{ mm}))$$

$$150 \text{ mm} \leq \min((1/4 \times 440,5 \text{ mm}) \text{ atau } 600 \text{ mm}))$$

$$150 \text{ mm} \leq \min((220,25 \text{ mm}) \text{ atau } (600 \text{ mm}))$$

$$150 \text{ mm} \leq 220,25 \text{ mm (OK)}$$

Menghitung Luas per Spasi Minimum (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.4.2)

$$\text{Luas per Spasi} \geq \text{maks}(\text{Luas per Spasi}_{\min 1} \text{ atau Luas per Spasi}_{\min 2})$$

$$A_v / S_{pakai} \geq \text{maks}((0,062 \times f'_c{}^{0,5} \times b / f_y) \text{ atau } (0,35 \times b / f_y))$$

$$157,08 \text{ mm}^2 / 150 \text{ mm} \geq \text{maks}((0,062 \times 33,2 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm} / 280 \text{ N/mm}^2) \text{ atau } (0,35 \times 300 \text{ mm} \times 280 \text{ N/mm}^2))$$

$$1,047 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq \text{maks}((0,383 \text{ mm}^2/\text{mm}) \text{ atau } (0,375 \text{ mm}^2/\text{mm}))$$

$$1,047 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 0,383 \text{ mm}^2/\text{mm (OK)}$$

Menghitung dan Cek Kuat Geser Akibat Penulangan V_s (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.1.2 dan Pasal 22.5.10.5.3)

$$V_s \leq \text{Min } V_s$$

$$A_v \times f_y \times d / S_{pakai} \leq 0,66 \times f'_c{}^{0,5} \times b \times d$$

$$(157,08 \text{ mm}^2 \times 280 \text{ N/mm}^2 \times 440,5 \text{ mm}) \leq 0,66 \times 33,2^{0,5} \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm} \times 440,5 \text{ mm}$$

$$129.161,35 \text{ N} \leq 502.551 \text{ N}$$

$$129,16 \text{ kN} \leq 502,55 \text{ kN (OK)}$$

Menghitung Nilai V_c (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.5.1 dan Tabel 22.5.5.1)

$$V_c = 0,17 \times f'_c{}^{0,5} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times 33,2 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm} \times 440,5 \text{ mm}$$

$$= 129.444,96 \text{ N}$$

$$= 129,44 \text{ kN}$$

Menghitung Kapasitas Geser

$$V_n = V_c + V_s$$

$$= 129,44 \text{ kN} + 129,16 \text{ kN}$$

$$= 258,60 \text{ kN}$$

Faktor Reduksi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 21.2.4 dan Pasal 12.5.3.2)

$$\phi = 0,75$$

Menghitung Kapasitas Geser Tereduksi

$$\phi V_n = 0,75 \times V_n$$

$$= 0,75 \times 258,60 \text{ kN}$$

$$= 193,95 \text{ kN}$$

Cek Kapasitas Geser

$$\phi V_n > V_u$$

$$193,95 \text{ kN} > 74,98 \text{ kN (OK)}$$

Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis dan kontrol perhitungan, balok anak tipe BA 1 Gedung A pada daerah tumpuan direncanakan menggunakan tulangan transversal/sengkan 2D-150 guna gaya geser.

Kontrol Geser Lapangan

Jumlah Kaki Tulangan (Asumsi untuk Perhitungan dengan Mengikuti Syarat SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1 dan Pasal 9.6.1.2)

$$n = 2 \text{ Buah Tulangan}$$

Cek Luas Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2)

$$A_v = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10 \text{ mm}^2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

Cek Spasi atau Jarak Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4.4)

$$S_{pakai} \leq S_{max}$$

$$S_{pakai} \leq \min(S_{max1} \text{ atau } S_{max2})$$

$$150 \text{ mm} \leq \min((1/2 \times d) \text{ atau } (600 \text{ mm}))$$

$$150 \text{ mm} \leq \min((1/4 \times 440,5 \text{ mm}) \text{ atau } 600 \text{ mm}))$$

$$150 \text{ mm} \leq \min((220,25 \text{ mm}) \text{ atau } (600 \text{ mm}))$$

$$150 \text{ mm} \leq 220,25 \text{ mm (OK)}$$

Menghitung Luas per Spasi Minimum (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.4.2)

$$\text{Luas per Spasi} \geq \max(\text{Luas per Spasi}_{\min1} \text{ atau Luas per Spasi}_{\min2})$$

$$A_v / S_{pakai} \geq \max((0,062 \times f_c^{0,5} \times b / f_y) \text{ atau } (0,35 \times b / f_y))$$

$$157,08 \text{ mm}^2 / 150 \text{ mm} \geq \max((0,062 \times 33,2 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm} / 280 \text{ N/mm}^2) \text{ atau } (0,35 \times 300 \text{ mm} \times 280 \text{ N/mm}^2))$$

$$1,047 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq \max((0,383 \text{ mm}^2/\text{mm}) \text{ atau } (0,375 \text{ mm}^2/\text{mm}))$$

$$1,047 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 0,383 \text{ mm}^2/\text{mm (OK)}$$

Menghitung dan Cek Kuat Geser Akibat Penulangan V_s (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.1.2 dan Pasal 22.5.10.5.3)

$$V_s \leq \text{Min } V_s$$

$$A_v \times f_y \times d / S_{pakai} \leq 0,66 \times f_c^{0,5} \times b \times d$$

$$(157,08 \text{ mm}^2 \times 280 \text{ N/mm}^2 \times 440,5 \text{ mm}) / 150 \text{ mm} \leq 0,66 \times 33,2^{0,5} \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm} \times 440,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 129.161,35 \text{ N} & \leq 502.551 \text{ N} \\
 129,16 \text{ kN} & \leq 502,55 \text{ kN (OK)}
 \end{aligned}$$

Menghitung Nilai V_c (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.5.1 dan Tabel 22.5.5.1)

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times f'_c{}^{0,5} \times b \times d \\
 &= 0,17 \times 33,2 \text{ N/mm}^2 \times 300 \text{ mm} \times 440,5 \text{ mm} \\
 &= 129.444,96 \text{ N} \\
 &= 129,44 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Menghitung Kapasitas Geser

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_c + V_s \\
 &= 129,44 \text{ kN} + 129,16 \text{ kN} \\
 &= 258,60 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Faktor Reduksi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 21.2.4 dan Pasal 12.5.3.2)

$$\phi = 0,75$$

Menghitung Kapasitas Geser Tereuksi

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= 0,75 \times V_n \\
 &= 0,75 \times 258,60 \text{ kN} \\
 &= 193,95 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Cek Kapasitas Geser

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &> V_u \\
 193,95 \text{ kN} &> 70,28 \text{ kN (OK)}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis dan kontrol perhitungan, balok anak tipe BA 1 Gedung A pada daerah lapangan direncanakan menggunakan tulangan transversal/sengkan 2D-150 guna gaya geser.

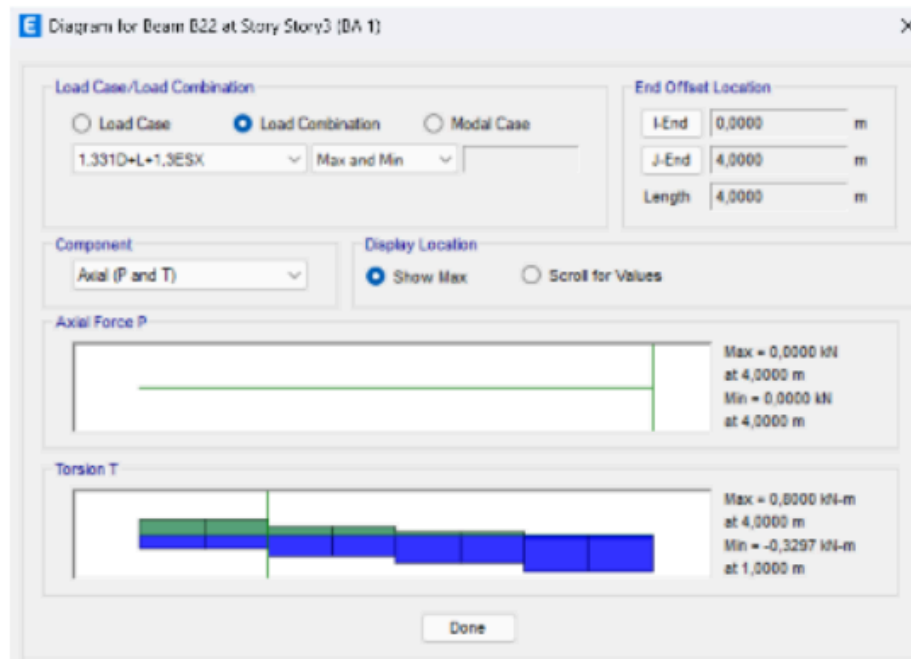
Adapun rekapitulasi hasil kontrol geser pada seluruh tipe anak untuk setiap pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E disajikan pada Tabel 4.143 berikut.

Tabel 4. 143 Rekapitulasi Kontrol Geser Balok Anak Setiap Pemodelan

Variasi Pemodelan		Balok Anak BA 1		Balok Anak BA 2		Balok Anak BA 3	
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
<i>Geser (kN)</i>							
Gedung A	V_u	74,983	70,284	58,190	54,665	48,235	45,729
	V_n	258,606	258,606	210,127	210,127	167,280	167,280
	ϕV_n	193,955	193,955	157,595	157,595	125,460	125,460
	<i>Rasio</i>	0,387	0,362	0,369	0,347	0,384	0,364
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung B	V_u	73,203	68,504	56,644	53,120	48,318	45,812
	V_n	258,606	258,606	210,127	210,127	167,280	167,280
	ϕV_n	193,955	193,955	157,595	157,595	125,460	125,460
	<i>Rasio</i>	0,377	0,353	0,359	0,337	0,385	0,365
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung C	V_u	73,425	68,726	56,657	53,133	48,524	46,018
	V_n	258,606	258,606	210,127	210,127	167,280	167,280
	ϕV_n	193,955	193,955	157,595	157,595	125,460	125,460
	<i>Rasio</i>	0,379	0,354	0,360	0,337	0,387	0,367
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung D	V_u	73,904	69,205	57,115	53,591	48,499	45,993
	V_n	258,606	258,606	210,127	210,127	167,280	167,280
	ϕV_n	193,955	193,955	157,595	157,595	125,460	125,460
	<i>Rasio</i>	0,381	0,357	0,362	0,340	0,387	0,367
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Gedung E	V_u	74,228	129,445	57,341	53,817	48,734	46,228
	V_n	258,606	502,551	210,127	210,127	167,280	167,280
	ϕV_n	193,955	376,913	157,595	157,595	125,460	125,460
	<i>Rasio</i>	0,383	0,343	0,364	0,341	0,388	0,368
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Adapun hasil *output* gaya dalam berupa torsi pada balok anak tipe BA 1 ditampilkan pada Gambar 4.76.



Gambar 4. 76 Output Torsi T_u Balok Anak BA 1 Gedung A
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Kontrol Torsi

Menghitung Luas Batasan Keliling Luar Penampang Beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 300 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\ &= 150.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung Keliling Luar Penampang Beton

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2 \times (300 \text{ mm} + 500 \text{ mm}) \\ &= 1600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung Luasan Lingkup Garis Pusat Tulangan Torsi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal R22.7.6.1)

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b - 2 \times c_c - d_s) \times (h - 2 \times c_c - d_s) \\ &= (300 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \times (500 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \\ &= 86.100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung Luas Bruto Lingkup Lintasan Geser (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.6.1)

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 86.100 \text{ mm}^2 \\ &= 73.185 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung Keliling Garis Tengah Terluar Tulangan Torsi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.7.6.1)

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times ((b - 2 \times c_c - d_s) + (h - 2 \times c_c - d_s)) \\
 &= 2 \times ((300 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) + (500 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})) \\
 &= 1240 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Faktor Reduksi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)

$$\phi = 0,75$$

Cek Perlu Tulangan Torsi (Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 22.7.4.1)

$$T_u \geq \phi \times \frac{1}{4} \times T_{cr}$$

$$0,8 \text{ kN.m} \geq 0,75 \times \frac{1}{4} \times 0,33 \times \sqrt{f'_c} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$

$$0,8 \text{ kN.m} \geq 0,75 \times \frac{1}{4} \times 0,33 \times \sqrt{33,2} \text{ N/mm}^2 \times \frac{150.000^2 \text{ mm}}{1600 \text{ mm}}$$

$$0,8 \text{ kN.m} \geq 0,75 \times \frac{1}{4} \times 26.739,021,91 \text{ N.mm}$$

$$0,8 \text{ kN.m} \geq 0,75 \times \frac{1}{4} \times 26,74 \text{ kN.m}$$

$$0,8 \text{ kN.m} \geq 0,75 \times 6,68 \text{ kN.m}$$

$$0,8 \text{ kN.m} \geq 5,01 \text{ kN.m (TIDAK PERLU)}$$

Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis dan kontrol perhitungan, balok anak tipe BA 1 pada Gedung A, baik di daerah tumpuan maupun lapangan, tidak memerlukan penulangan torsi.

Adapun rekapitulasi hasil kontrol torsi pada seluruh tipe balok anak untuk setiap pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E disajikan pada Tabel 4.144 berikut.

Tabel 4. 144 Rekapitulasi Kontrol Torsi Balok Anak Setiap Pemodelan

Variasi Pemodelan		Balok Anak BA 1	Balok Anak BA 2	Balok Anak BA 3
Gedung A	T_u	0,800	0,587	0,298
	T_{cr}	26,739	17,189	10,141
	$\phi T_{cr} / 4$	5,014	3,223	1,901
	Cek	Tidak Perlu	Tidak Perlu	Tidak Perlu
Gedung B	T_u	1,543	1,346	1,256
	T_{cr}	26,739	17,189	10,141
	$\phi T_{cr} / 4$	5,014	3,223	1,901
	Cek	Tidak Perlu	Tidak Perlu	Tidak Perlu
Gedung C	T_u	1,508	1,306	1,049
	T_{cr}	26,739	17,189	10,141
	$\phi T_{cr} / 4$	5,014	3,223	1,901
	Cek	Tidak Perlu	Tidak Perlu	Tidak Perlu

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 144 Rekapitulasi Kontrol Torsi Balok Anak Setiap Pemodelan
(Lanjutan)

Variasi Pemodelan		Balok Anak BA 1	Balok Anak BA 2	Balok Anak BA 3
Gedung D	T_u	1,421	1,208	0,983
	T_{cr}	26,739	17,189	10,141
	$\phi T_{cr} / 4$	5,014	3,223	1,901
	<i>Cek</i>	Tidak Perlu	Tidak Perlu	Tidak Perlu
Gedung E	T_u	1,441	1,236	1,002
	T_{cr}	26,739	17,189	10,141
	$\phi T_{cr} / 4$	5,014	3,223	1,901
	<i>Cek</i>	Tidak Perlu	Tidak Perlu	Tidak Perlu

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Adapun rekapitulasi tulangan berdasarkan hasil analisa dan kontrol lentur, geser, dan torsi pada seluruh tipe balok anak untuk setiap pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E disajikan pada Tabel 4.145 berikut.

Tabel 4. 145 Rekapitulasi Tulangan Balok Anak Setiap Pemodelan

Elemen Struktur	Tulangan Longitudinal						Tulangan Transversal/Senggang	
	Tumpuan Atas	Tumpuan Tengah	Tumpuan Bawah	Lapangan Atas	Lapangan Tengah	Lapangan Bawah	Tumpuan	Lapangan
Gedung A								
Balok Anak BA 1	3 D19	-	2 D19	2 D19	-	2 D19	2D10-150	2D10-150
Balok Anak BA 2	2 D19	-	2 D19	2 D19	-	2 D19	2D10-150	2D10-150
Balok Anak BA 3	3 D16	-	2 D16	2 D16	-	2 D16	2D10-150	2D10-150
Gedung B								
Balok Anak BA 1	3 D19	-	2 D19	2 D19	-	2 D19	2D10-150	2D10-150
Balok Anak BA 2	2 D19	-	2 D19	2 D19	-	2 D19	2D10-150	2D10-150
Balok Anak BA 3	3 D16	-	2 D16	2 D16	-	2 D16	2D10-150	2D10-150
Gedung C								
Balok Anak BA 1	3 D19	-	2 D19	2 D19	-	2 D19	2D10-150	2D10-150
Balok Anak BA 2	2 D19	-	2 D19	2 D19	-	2 D19	2D10-150	2D10-150

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 145 Rekapitulasi Tulangan Balok Anak Setiap Pemodelan
(Lanjutan)

Elemen Struktur	Tulangan Longitudinal						Tulangan Transversal/Senggang	
	Tumpuan Atas	Tumpuan Tengah	Tumpuan Bawah	Lapangan Atas	Lapangan Tengah	Lapangan Bawah	Tumpuan	Lapangan
Balok Anak BA 3	3 D16	-	1 2 D16	2 D16	-	2 D16	2D10-150	2D10-150
Gedung D								
Balok Anak BA 1	3 D19	-	2 D19	1 2 D19	-	2 D19	2D10-150	2D10-150
Balok Anak BA 2	2 D19	-	2 D19	2 D19	-	2 D19	2D10-150	2D10-150
Balok Anak BA 3	3 D16	-	1 2 D16	2 D16	-	2 D16	2D10-150	2D10-150
Gedung E								
Balok Anak BA 1	3 D19	-	2 D19	1 2 D19	-	2 D19	2D10-150	2D10-150
Balok Anak BA 2	2 D19	-	2 D19	2 D19	-	2 D19	2D10-150	2D10-150
Balok Anak BA 3	1 3 D16	-	2 D16	2 D16	-	2 D16	2D10-150	2D10-150

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4.6.3 Kolom

Pada tahap analisis dan kontrol tulangan kolom yang diperoleh dari hasil *preliminary design* pada Subbab 4.3.3, perencanaan tulangan harus mencakup tulangan lentur, dan geser. Perencanaan tersebut dilakukan pada dua daerah utama, yaitu daerah sumbu kuat dan daerah sumbu lemah, dengan mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019 serta pembahasan yang telah dijelaskan pada Subbab 2.7. Dalam melakukan perhitungan tulangan kolom, diperlukan data gaya dalam yang diperoleh dari hasil analisis menggunakan *software ETABS v.22*, dengan bantuan *software SPColumn v.10.20* sebagai alat analisis tambahan. Proses perhitungannya dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Membuka *software SPColumn*, kemudian memilih menu *New Project* untuk memulai pemodelan.
2. Memasukkan parameter perencanaan seperti mutu beton (f'_c), mutu tulangan (f_y), sistem satuan, serta kode desain ACI 318-14 dan bar set ASTM A615M yang disesuaikan atau diadopsi ke dalam standar Indonesia, yaitu SNI 2847:2019 dan SNI 2052:2024 pada menu *Project*.

3. Mendefinisikan dimensi penampang kolom, tebal selimut beton, serta diameter dan jumlah tulangan longitudinal yang digunakan. Selanjutnya dilakukan pengecekan rasio tulangan agar memenuhi batas minimum dan maksimum sesuai ketentuan SNI 2847:2019 pada menu *Section*.
4. Memasukkan data gaya dalam yang bekerja pada kolom melalui menu *Load*, dengan mengacu pada *output* ETABS v.22 untuk kondisi *factored loads*.
5. Menjalankan analisis dengan memilih perintah *Solve* setelah seluruh parameter terinput, kemudian menunggu hingga proses analisis selesai.
6. Setelah proses selesai, akan ditampilkan diagram interaksi dari kombinasi beban yang bekerja pada kolom, serta hasil analisis yang dapat dilihat pada menu *Tables*.
7. Hasil analisis selanjutnya dapat diekspor dalam format PDF, Word, atau Excel melalui menu *Report* dengan memilih opsi *export*.

Berikut merupakan rekapitulasi gaya dalam kolom untuk seluruh pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E.

Tabel 4. 146 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung A

Elemen Struktur	Kombinasi Pembebanan	P_u	M_{ux}	M_{uy}	ϕP_n	ϕM_{nx}	ϕM_{ny}	ε_t	ϕ
		kN	kNm	kNm	kN	kNm	kNm		
Kolom K1	1,031D-1,3ESX	-115,0	14,5	5,2	-115,0	3044,0	1101,1	0,0078	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	4601,1	1028,3	-93,3	4601,1	4511,1	-409,5	0,0052	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	2817,2	1131,4	87,8	2817,2	4162,6	322,9	0,0072	0,9
	1,031D-1,3ESY	2069,6	-1131,4	-29,3	2069,6	-4009,9	-103,9	0,0089	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	2942,1	46,1	1286,2	2942,1	151,9	4234,0	0,0075	0,9
	1,031D-1,3ESX	2168,5	-39,5	-1286,0	2168,5	-124,0	-4033,6	0,0087	0,9
Kolom K2	1,031D-1,3ESX	-4,3	26,9	181,8	-4,3	278,1	1882,6	0,0088	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	2855,3	360,2	-53,4	2855,3	2342,2	-347,0	0,0044	0,850
	1,331D+L+1,3ESY	2527,5	530,0	37,8	2527,5	2434,9	173,7	0,0054	0,9
	1,031D-1,3ESY	1753,3	-529,0	-22,6	1753,3	-2335,3	-99,9	0,0070	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	1896,4	45,0	653,8	1896,4	161,6	2348,7	0,0064	0,9
	1,031D-1,3ESX	1387,3	-32,7	-652,1	1387,3	-112,8	-2250,4	0,0075	0,9
Kolom K3	1,031D-1,3ESX	20,3	22,7	59,9	20,3	389,8	1026,9	0,0069	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	1005,6	-8,9	349,2	1005,6	-34,3	1338,8	0,0082	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	990,0	339,9	21,1	990,0	1325,2	82,2	0,0077	0,9
	1,031D-1,3ESY	651,5	-339,6	-17,3	651,5	-1254,5	-64,0	0,0089	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	704,8	46,1	409,2	704,8	140,9	1251,8	0,0079	0,9
	1,031D-1,3ESX	491,7	-31,9	-406,4	491,7	-95,2	-1212,2	0,0090	0,9

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 147 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung B

Elemen Struktur	Kombinasi Pembebanan	P_u	M_{ux}	M_{uy}	ϕP_n	ϕM_{nx}	ϕM_{ny}	ε_t	ϕ
		kN	kNm	kNm	kN	kNm	kNm		
Kolom K1	1,031D-1,3ESX	-462,8	30,4	-321,4	-462,8	295,2	-3120,9	0,0131	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	4950,2	-26,1	1007,4	4950,2	-121,0	4669,3	0,0054	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	2427,5	1093,3	42,4	2427,5	4095,7	158,8	0,0082	0,9
	1,031D-1,3ESY	2064,0	-1090,4	-20,7	2064,0	-4014,7	-76,3	0,0091	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	2479,3	14,9	1256,1	2479,3	49,1	4134,9	0,0085	0,9
	1,031D-1,3ESX	1884,6	-18,6	-1252,4	1884,6	-59,0	-3964,4	0,0095	0,9
Kolom K2	1,031D-1,3ESX	-256,5	19,8	186,8	-256,5	193,1	1827,2	0,0103	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	3086,7	-15,2	365,9	3086,7	-104,1	2510,4	0,0049	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	2163,0	565,4	22,4	2163,0	2417,5	95,6	0,0062	0,9
	1,031D-1,3ESY	1580,3	-564,9	-17,8	1580,3	-2303,9	-72,4	0,0074	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	1593,9	-15,9	678,7	1593,9	-54,2	2311,5	0,0075	0,9
	1,031D-1,3ESX	1204,0	8,7	-671,0	1204,0	28,7	-2229,3	0,0083	0,9
Kolom K3	1,031D-1,3ESX	17,4	23,4	64,5	17,4	374,0	1031,6	0,0070	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	921,7	-10,4	220,7	921,7	-62,1	1314,8	0,0081	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	822,9	358,2	15,3	822,9	1294,7	55,3	0,0085	0,9
	1,031D-1,3ESY	573,2	-357,8	-3,4	573,2	-1246,3	-11,9	0,0098	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	590,5	-23,1	437,2	590,5	-65,4	1240,3	0,0091	0,9
	1,031D-1,3ESX	428,3	14,5	-428,0	428,3	40,9	-1207,5	0,0100	0,9

Tabel 4. 148 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung C

Elemen Struktur	Kombinasi Pembebanan	P_u	M_{ux}	M_{uy}	ϕP_n	ϕM_{nx}	ϕM_{ny}	ε_t	ϕ
		kN	kNm	kNm	kN	kNm	kNm		
Kolom K1	1,031D-1,3ESX	-185,2	-10,0	-16,0	-185,2	-1714,2	-2737,7	0,0064	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	4613,0	-35,3	977,5	4613,0	-166,2	4602,4	0,0056	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	2454,7	1093,1	31,8	2454,7	4112,1	119,5	0,0083	0,9
	1,031D-1,3ESY	1855,7	-1090,1	-26,4	1855,7	-3947,2	-95,5	0,0094	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	2938,0	43,5	1248,5	2938,0	147,4	4233,9	0,0075	0,9
	1,031D-1,3ESX	2168,4	-15,2	-1248,4	2168,4	-49,2	-4051,1	0,0090	0,9
Kolom K2	1,031D-1,3ESX	-60,8	-0,4	180,1	-60,8	-4,4	1914,3	0,0118	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	2858,1	-40,2	391,4	2858,1	-246,6	2404,2	0,0048	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	1942,1	569,2	8,7	1942,1	2390,2	36,4	0,0069	0,9
	1,031D-1,3ESY	1595,0	-566,3	-18,2	1595,0	-2306,7	-74,3	0,0074	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	1891,4	43,3	663,5	1891,4	153,3	2349,8	0,0064	0,9
	1,031D-1,3ESX	1387,3	-32,0	-661,9	1387,3	-108,8	-2251,4	0,0075	0,9

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 148 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung C
(Lanjutan)

Elemen Struktur	Kombinasi Pembebanan	P_u	M_{ux}	M_{uy}	ϕP_n	ϕM_{nx}	ϕM_{ny}	ϵ_t	ϕ
		kN	kNm	kNm	kN	kNm	kNm		
Kolom K3	1,031D-1,3ESX	17,6	22,1	65,2	17,6	352,1	1038,5	0,0072	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	921,6	324,8	-5,8	921,6	1322,1	-23,7	0,0085	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	723,2	369,7	8,8	723,2	1276,4	30,5	0,0091	0,9
	1,031D-1,3ESY	521,5	-363,4	3,0	521,5	-1234,0	10,2	0,0101	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	702,5	43,7	420,2	702,5	130,4	1252,7	0,0080	0,9
	1,031D-1,3ESX	491,3	-31,1	-417,7	491,3	-90,3	-1212,4	0,0091	0,9

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 149 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung D

Elemen Struktur	Kombinasi Pembebanan	P_u	M_{ux}	M_{uy}	ϕP_n	ϕM_{nx}	ϕM_{ny}	ϵ_t	ϕ
		kN	kNm	kNm	kN	kNm	kNm		
Kolom K1	1,031D-1,3ESX	-120,6	-9,8	-3,6	-120,6	-3039,0	-1112,5	0,0077	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	4526,7	995,7	-91,3	4526,7	4508,4	-413,5	0,0053	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	3110,8	1100,2	13,8	3110,8	4300,6	54,1	0,0076	0,9
	1,031D-1,3ESY	2329,0	-1097,1	-14,6	2329,0	-4093,9	-54,6	0,0087	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	2944,1	9,6	1251,0	2944,1	32,9	4262,1	0,0078	0,9
	1,031D-1,3ESX	2166,9	-16,2	-1250,8	2166,9	-52,6	-4050,6	0,0090	0,9
Kolom K2	1,031D-1,3ESX	-11,7	-0,1	178,0	-11,7	-1,1	1928,7	0,0117	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	2811,6	-46,4	364,7	2811,6	-301,8	2372,3	0,0046	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	1978,6	580,0	11,5	1978,6	2394,6	47,5	0,0067	0,9
	1,031D-1,3ESY	1465,1	-573,3	-10,5	1465,1	-2285,7	-41,8	0,0078	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	1897,3	-26,7	647,3	1897,3	-97,4	2365,4	0,0067	0,9
	1,031D-1,3ESX	1386,4	14,4	-645,6	1386,4	50,7	-2265,6	0,0079	0,9
Kolom K3	1,031D-1,3ESX	19,4	22,4	61,4	19,4	377,0	1031,1	0,0070	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	984,0	317,3	-12,1	984,0	1330,6	-50,9	0,0081	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	726,3	378,0	10,5	726,3	1276,8	35,5	0,0090	0,9
	1,031D-1,3ESY	521,3	-369,9	-9,2	521,3	-1230,9	-30,7	0,0098	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	704,9	35,5	407,6	704,9	109,6	1257,8	0,0082	0,9
	1,031D-1,3ESX	491,7	21,5	-404,8	491,7	64,5	-1217,8	0,0094	0,9

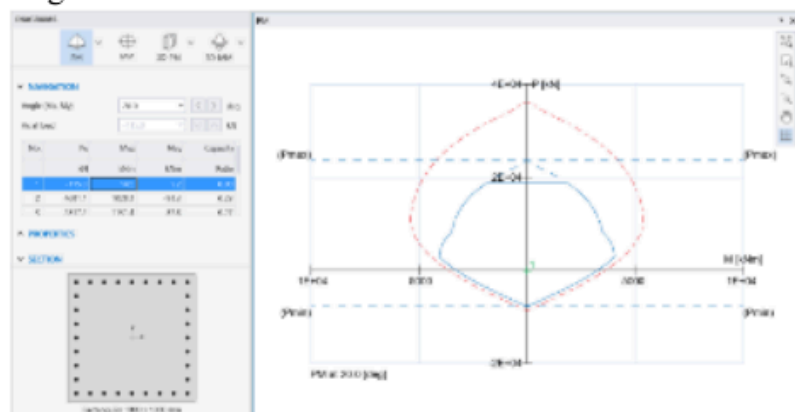
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 150 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung E

Elemen Struktur	Kombinasi Pembebanan	P_u	M_{ux}	M_{uy}	ϕP_u	ϕM_{ux}	ϕM_{uy}	ϵ_t	ϕ
		kN	kNm	kNm	kN	kNm	kNm		
Kolom K1	1,031D-1,3ESX	-391,6	29,9	-307,6	-391,6	305,4	-3145,5	0,0129	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	4568,8	-33,7	1020,6	4568,8	-152,0	4601,6	0,0057	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	2441,2	1097,4	38,4	2441,2	4102,9	143,7	0,0082	0,9
	1,031D-1,3ESY	2527,5	-1096,3	-12,6	2527,5	-4148,1	-47,6	0,0084	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	2486,0	14,6	1250,7	2486,0	48,2	4136,9	0,0085	0,9
	1,031D-1,3ESX	1880,8	-18,4	-1247,0	1880,8	-58,5	-3963,3	0,0095	0,9
Kolom K2	1,031D-1,3ESX	-205,1	19,6	182,6	-205,1	197,9	1840,8	0,0101	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	2836,6	-36,4	403,4	2836,6	-218,2	2421,7	0,0049	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	2232,4	574,2	7,2	2232,4	2448,9	30,6	0,0064	0,9
	1,031D-1,3ESY	1605,9	-572,9	-2,7	1605,9	-2325,2	-10,9	0,0077	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	1599,8	-16,8	658,1	1599,8	-59,0	2311,7	0,0074	0,9
	1,031D-1,3ESX	1201,7	8,7	-650,2	1201,7	29,7	-2228,5	0,0083	0,9
Kolom K3	1,031D-1,3ESX	19,2	23,4	60,3	19,2	397,2	1024,1	0,0068	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	979,9	318,6	-13,9	979,9	1328,2	-57,9	0,0080	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	828,2	366,1	7,1	828,2	1301,7	25,2	0,0088	0,9
	1,031D-1,3ESY	573,6	-364,1	-2,8	573,6	-1246,8	-9,4	0,0099	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	592,6	-24,7	422,2	592,6	-72,6	1239,5	0,0090	0,9
	1,031D-1,3ESX	428,5	14,8	-412,7	428,5	43,3	-1207,1	0,0099	0,9

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berikut ditampilkan diagram hasil *running* kolom K1 pada Gedung A. Salah satu contoh titik kombinasi pembebanan ⁺¹ yang bekerja pada kolom berada di dalam area berwarna biru, yang menunjukkan bahwa kombinasi beban tersebut masih berada dalam kapasitas penampang kolom dan dapat ditahan dengan aman.



Gambar 4. 77 Diagram Output Running Kombinasi Pembebanan 1 pada Kolom K1 Gedung A

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berikut merupakan salah satu contoh analisis dan kontrol perhitungan tulangan kolom tipe K1 pada pemodelan Gedung A, yang meliputi pemeriksaan terhadap lentur, dan geser.

Profil Kolom K1

Tabel 4. 151 Profil Kolom K1 Gedung A

1	Data Profil	Notasi	Nilai	Satuan
	Panjang/Tinggi Kolom	L	4000	mm
	Sisi Pendek Kolom	b	1000	mm
	Sisi Panjang Kolom	h	1000	mm
	Tebal Selimut Beton	c_c	40	mm
	Tinggi Balok Tinjauan Kolom	h_b	800	mm
	Kuat Tekan Beton	f'_c	33,2	MPa
	Kuat Leleh Tul. Longitudinal	f_y	420	MPa
	Kuat Leleh Tul. Transversal	f_y	420	MPa
	Diameter Tul. Transversal Rencana	d_s	19	mm
	Diameter Tul. Longitudinal Rencana	d_b	29	mm

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Kontrol Geometri

Syarat Sisi Terpendek (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1)

$$b \geq 300 \text{ mm}$$

$$1000 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm (OK)}$$

Syarat Rasio Dimensi Penampang (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1)

$$b / h \geq 0,4$$

$$1000 \text{ mm} / 1000 \text{ mm} \geq 0,4$$

$$1 \geq 0,4 \text{ (OK)}$$

Kontrol Gaya Dalam Aksial-Lentur

Jumlah Tulangan

$$n = 32 \text{ Batang Tulangan}$$

24

Cek Rasio Tulangan Lentur (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4.1)

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$$

$$1\% \leq A_s / b \times h \leq 6\%$$

$$1\% \leq n \times \pi/4 \times d_b^2 \leq 6\%$$

$$1\% \leq 32 \times \pi/4 \times 29^2 \text{ mm} \leq 6\%$$

$$1\% \leq 2,11\% \leq 6\% \text{ (OK)}$$

Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis dan kontrol perhitungan dengan menggunakan *software* SPColumn v.10.20 sebagai alat bantu analisis,

kolom tipe K1 Gedung A direncanakan menggunakan tulangan sebesar 32D29.

Adapun rekapitulasi hasil kontrol lentur pada seluruh tipe kolom untuk setiap pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E disajikan pada Tabel 4.152 berikut.

Tabel 4. 152 Rekapitulasi Kontrol Lentur Kolom Setiap Pemodelan

Variasi Pemodelan		Kolom K1	Kolom K2	Kolom K3
<i>Lentur (kN.m)</i>				
Gedung A	M_n	4455,46	2500,48	1346,93
	ρ	2,11%	2,48%	2,00%
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK
Gedung B	M_n	4404,89	2476,97	1341,63
	ρ	2,11%	2,48%	2,00%
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK
Gedung C	M_n	4385,80	2501,59	1347,13
	ρ	2,11%	2,48%	2,00%
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK
Gedung D	M_n	4500,69	2517,33	1353,16
	ρ	2,11%	2,48%	2,00%
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK
Gedung E	M_n	4403,70	2476,10	1341,19
	ρ	2,11%	2,48%	2,00%
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Sebelum melakukan kontrol geser dan penerapan konsep *Strong Column Weak Beam*, kapasitas kolom harus direncanakan sebesar 1,25 kali kapasitas balok. Oleh karena itu, pada *software* SPColumn, kolom dimodelkan dengan mutu tulangan yang ditingkatkan menjadi 1,25 kali dari mutu tulangan awal. Berikut merupakan nilai kapasitas kolom setelah dilakukan pengkalian tersebut.

Tabel 4. 153 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung A Setelah Pengkalian

Elemen Struktur	Kombinasi Pembebanan	P_u	M_{ux}	M_{uy}	ϕP_n	ϕM_{nx}	ϕM_{ny}	ε_t	ϕ
		kN	kNm	kNm	kN	kNm	kNm		
Kolom K1	1,031D-1,3ESX	-115,0	14,5	5,2	-115,0	3613,4	1307,1	0,0066	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	4601,1	1028,3	-93,3	4601,1	4821,2	-437,6	0,0047	0,865
	1,331D+L+1,3ESY	2817,2	1131,4	87,8	2817,2	4733,9	367,2	0,0063	0,9
	1,031D-1,3ESY	2069,6	-1131,4	-29,3	2069,6	-4623,3	-119,8	0,0076	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	2942,1	46,1	1286,2	2942,1	173,0	4822,2	0,0066	0,9
	1,031D-1,3ESX	2168,5	-39,5	-1286,0	2168,5	-142,7	-4643,3	0,0075	0,9

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 153 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung A Setelah Pengkalian (Lanjutan)

Elemen Struktur	Kombinasi Pembebanan	P_u	M_{ux}	M_{uy}	ϕP_u	ϕM_{ux}	ϕM_{uy}	ε_t	ϕ
		kN	kNm	kNm	kN	kNm	kNm		
Kolom K2	1,031D-1,3ESX	-4,3	26,9	181,8	-4,3	330,9	2240,3	0,0073	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	2855,3	360,2	-53,4	2855,3	2386,7	-353,6	0,0038	0,778
	1,331D+L+1,3ESY	2527,5	530,0	37,8	2527,5	2632,0	187,7	0,0048	0,875
	1,031D-1,3ESY	1753,3	-529,0	-22,6	1753,3	-2648,7	-113,3	0,0059	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	1896,4	45,0	653,8	1896,4	181,0	2631,0	0,0055	0,9
	1,031D-1,3ESX	1387,3	-32,7	-652,1	1387,3	-129,4	-2581,3	0,0063	0,9
Kolom K3	1,031D-1,3ESX	20,3	22,7	59,9	20,3	459,1	1209,4	0,0059	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	1005,6	-8,9	349,2	1005,6	-39,3	1533,1	0,0070	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	990,0	339,9	21,1	990,0	1515,2	94,0	0,0067	0,9
	1,031D-1,3ESY	651,5	-339,6	-17,3	651,5	-1459,4	-74,4	0,0075	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	704,8	46,1	409,2	704,8	162,7	1445,3	0,0067	0,9
	1,031D-1,3ESX	491,7	-31,9	-406,4	491,7	-111,5	-1420,2	0,0075	0,9

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 154 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung B Setelah Pengkalian

Elemen Struktur	Kombinasi Pembebanan	P_u	M_{ux}	M_{uy}	ϕP_u	ϕM_{ux}	ϕM_{uy}	ε_t	ϕ
		kN	kNm	kNm	kN	kNm	kNm		
Kolom K1	1,031D-1,3ESX	-462,8	30,4	-321,4	-462,8	360,8	-3813,6	0,0104	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	4950,2	-26,1	1007,4	4950,2	-133,1	5139,6	0,0050	0,895
	1,331D+L+1,3ESY	2427,5	1093,3	42,4	2427,5	4699,3	182,2	0,0071	0,9
	1,031D-1,3ESY	2064,0	-1090,4	-20,7	2064,0	-4631,0	-88,0	0,0077	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	2479,3	14,9	1256,1	2479,3	56,4	4750,1	0,0073	0,9
	1,031D-1,3ESX	1884,6	-18,6	-1252,4	1884,6	-68,2	-4587,4	0,0080	0,9
Kolom K2	1,031D-1,3ESX	-256,5	19,8	186,8	-256,5	233,2	2205,9	0,0083	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	3086,7	-15,2	365,9	3086,7	-109,8	2649,4	0,0043	0,828
	1,331D+L+1,3ESY	2163,0	565,4	22,4	2163,0	2687,7	106,3	0,0054	0,9
	1,031D-1,3ESY	1580,3	-564,9	-17,8	1580,3	-2630,5	-82,7	0,0062	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	1593,9	-15,9	678,7	1593,9	-61,9	2639,6	0,0063	0,9
	1,031D-1,3ESX	1204,0	8,7	-671,0	1204,0	33,2	-2579,5	0,0069	0,9
Kolom K3	1,031D-1,3ESX	17,4	23,4	64,5	17,4	441,1	1216,5	0,0060	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	921,7	-10,4	220,7	921,7	-71,2	1509,2	0,0070	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	822,9	358,2	15,3	822,9	1493,4	63,8	0,0072	0,9
	1,031D-1,3ESY	573,2	-357,8	-3,4	573,2	-1461,1	-14,0	0,0082	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	590,5	-23,1	437,2	590,5	-76,3	1447,7	0,0076	0,9
	1,031D-1,3ESX	491,7	21,5	-404,8	491,7	64,5	-1217,8	0,0094	0,9

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 155 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung C Setelah Pengkalian

Elemen Struktur	Kombinasi Pembebanan	P_u	M_{ux}	M_{uy}	ϕP_u	ϕM_{ux}	ϕM_{uy}	ε_t	ϕ
		kN	kNm	kNm	kN	kNm	kNm		
Kolom K1	1,031D-1,3ESX	-185,2	-10,0	-16,0	-185,2	-2004,8	-3201,8	0,0057	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	4613,0	-35,3	977,5	4613,0	-182,8	5063,5	0,0051	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	2454,7	1093,1	31,8	2454,7	4719,5	137,2	0,0071	0,9
	1,031D-1,3ESY	1855,7	-1090,1	-26,4	1855,7	-4567,4	-110,5	0,0079	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	2938,0	43,5	1248,5	2938,0	167,9	4822,8	0,0066	0,9
	1,031D-1,3ESX	2168,4	-15,2	-1248,4	2168,4	-56,7	-4668,8	0,0077	0,9
Kolom K2	1,031D-1,3ESX	-60,8	-0,4	180,1	-60,8	-5,4	2308,9	0,0095	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	2858,1	-40,2	391,4	2858,1	-257,9	2514,4	0,0041	0,81
	1,331D+L+1,3ESY	1942,1	569,2	8,7	1942,1	2700,5	41,1	0,0059	0,9
	1,031D-1,3ESY	1595,0	-566,3	-18,2	1595,0	-2632,4	-84,7	0,0062	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	1891,4	43,3	663,5	1891,4	171,9	2634,9	0,0056	0,9
	1,031D-1,3ESX	1387,3	-32,0	-661,9	1387,3	-124,8	-2582,8	0,0063	0,9
Kolom K3	1,031D-1,3ESX	17,6	22,1	65,2	17,6	415,8	1226,5	0,0061	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	921,6	324,8	-5,8	921,6	1520,6	-27,2	0,0073	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	723,2	369,7	8,8	723,2	1482,3	35,4	0,0076	0,9
	1,031D-1,3ESY	521,5	-363,4	3,0	521,5	-1451,3	12,0	0,0083	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	702,5	43,7	420,2	702,5	150,7	1447,4	0,0068	0,9
	1,031D-1,3ESX	491,3	-31,1	-417,7	491,3	-105,8	-1420,9	0,0076	0,9

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 156 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung D Setelah Pengkalian

Elemen Struktur	Kombinasi Pembebanan	P_u	M_{ux}	M_{uy}	ϕP_u	ϕM_{ux}	ϕM_{uy}	ε_t	ϕ
		kN	kNm	kNm	kN	kNm	kNm		
Kolom K1	1,031D-1,3ESX	-120,6	-9,8	-3,6	-120,6	-3607,2	-1320,5	0,0066	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	4526,7	995,7	-91,3	4526,7	4824,7	-442,5	0,0047	0,871
	1,331D+L+1,3ESY	3110,8	1100,2	13,8	3110,8	4896,3	61,6	0,0067	0,9
	1,031D-1,3ESY	2329,0	-1097,1	-14,6	2329,0	-4711,6	-62,9	0,0075	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	2944,1	9,6	1251,0	2944,1	37,5	4865,4	0,0069	0,9
	1,031D-1,3ESX	2166,9	-16,2	-1250,8	2166,9	-60,6	-4668,1	0,0077	0,9
Kolom K2	1,031D-1,3ESX	-11,7	-0,1	178,0	-11,7	-1,3	2321,5	0,0094	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	2811,6	-46,4	364,7	2811,6	-312,0	2452,1	0,0040	0,798
	1,331D+L+1,3ESY	1978,6	580,0	11,5	1978,6	2699,2	53,5	0,0058	0,9
	1,031D-1,3ESY	1465,1	-573,3	-10,5	1465,1	-2621,4	-47,9	0,0065	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	1897,3	-26,7	647,3	1897,3	-109,7	2663,2	0,0058	0,9
	1,031D-1,3ESX	1386,4	14,4	-645,6	1386,4	58,3	-2604,1	0,0066	0,9
Kolom K3	1,031D-1,3ESX	19,4	22,4	61,4	19,4	444,4	1215,4	0,0060	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	984,0	317,3	-12,1	984,0	1524,0	-58,3	0,0069	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	726,3	378,0	10,5	726,3	1482,0	41,2	0,0076	0,9
	1,031D-1,3ESY	521,3	-369,9	-9,2	521,3	-1445,6	-36,0	0,0081	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	704,9	35,5	407,6	704,9	126,8	1455,0	0,0070	0,9
	1,031D-1,3ESX	491,7	21,5	-404,8	491,7	75,8	-1429,6	0,0078	0,9

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 157 Rekapitulasi *Output* Gaya Dalam Kolom Pemodelan Gedung E Setelah Pengkalian

Elemen Struktur	Kombinasi Pembebanan	P_x	M_{ux}	M_{uy}	ϕP_x	ϕM_{ux}	ϕM_{uy}	ϵ_t	ϕ
		kN	kNm	kNm	kN	kNm	kNm		
Kolom K1	1,031D-1,3ESX	-391,6	29,9	-307,6	-391,6	372,3	-3834,4	0,0102	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	4568,8	-33,7	1020,6	4568,8	-167,6	5074,9	0,0052	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	2441,2	1097,4	38,4	2441,2	4707,8	164,9	0,0071	0,9
	1,031D-1,3ESY	2527,5	-1096,3	-12,6	2527,5	-4762,0	-54,6	0,0073	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	2486,0	14,6	1250,7	2486,0	55,3	4752,0	0,0073	0,9
	1,031D-1,3ESX	1880,8	-18,4	-1247,0	1880,8	-67,7	-4586,5	0,0080	0,9
Kolom K2	1,031D-1,3ESX	-205,1	19,6	182,6	-205,1	238,3	2216,7	0,0082	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	2836,6	-36,4	403,4	2836,6	-230,3	2556,8	0,0043	0,822
	1,331D+L+1,3ESY	2232,4	574,2	7,2	2232,4	2745,3	34,3	0,0056	0,9
	1,031D-1,3ESY	1605,9	-572,9	-2,7	1605,9	-2657,7	-12,5	0,0064	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	1599,8	-16,8	658,1	1599,8	-67,4	2638,9	0,0063	0,9
	1,031D-1,3ESX	1201,7	8,7	-650,2	1201,7	34,4	-2578,7	0,0069	0,9
Kolom K3	1,031D-1,3ESX	19,2	23,4	60,3	19,2	467,6	1205,6	0,0059	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	979,9	318,6	-13,9	979,9	1521,1	-66,3	0,0069	0,9
	1,331D+L+1,3ESY	828,2	366,1	7,1	828,2	1503,8	29,2	0,0075	0,9
	1,031D-1,3ESY	573,6	-364,1	-2,8	573,6	-1462,0	-11,1	0,0082	0,9
	1,331D+L+1,3ESX	592,6	-24,7	422,2	592,6	-84,7	1445,8	0,0075	0,9
	1,031D-1,3ESX	428,5	14,8	-412,7	428,5	51,1	-1424,4	0,0082	0,9

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Kontrol Geser

Menentukan Zona Sendi Plastis (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.1)

$$\begin{aligned}
 l_{o \text{ pakai}} &= \max(l_{o1} \text{ atau } l_{o2} \text{ atau } l_{o3}) \\
 &= \max((h) \text{ atau } (L_n / 6) \text{ atau } (450 \text{ mm})) \\
 &= \max((1000 \text{ mm}) \text{ atau } (L - h_b) \text{ atau } (450 \text{ mm})) \\
 &= \max((1000 \text{ mm}) \text{ atau } (4000 \text{ mm} - 800 \text{ mm} / 6) \text{ atau } (450 \text{ mm})) \\
 &= \max((1000 \text{ mm}) \text{ atau } (533,3 \text{ mm}) \text{ atau } (450 \text{ mm})) \\
 &= 1000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jumlah Kaki Tulangan Zona Sendi Plastis

Jumlah Kaki atau Tulangan Transversal Sisi Pendek

n_1 = 4 Buah Tulangan

Jumlah Kaki atau Tulangan Transversal Sisi Panjang

n_2 = 4 Buah Tulangan

Menentukan **Spasi** atau Jarak Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Berdasarkan SNI 2847:2019)

$$S_{pakai} \text{ dan } X_{i \text{ max pakai}} = 100 \text{ mm dan } 300 \text{ mm}$$

Menghitung nilai A_{sh1} / S_1

$$\begin{aligned} A_{sh1} / S_1 &= n \times \pi/4 \times d_s^2 / S_{pakai} \\ &= 4 \times \pi/4 \times 19 \text{ mm} / 100 \text{ mm} \\ &= 11,34 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Menghitung nilai A_{sh2} / S_2

$$\begin{aligned} A_{sh2} / S_2 &= n \times \pi/4 \times d_s^2 / S_{pakai} \\ &= 4 \times \pi/4 \times 19 \text{ mm} / 100 \text{ mm} \\ &= 11,34 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Menghitung Luas Penampang Inti Kolom (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal R18.7.5.2)

$$\begin{aligned} A_g &= b \times h \\ &= 1000 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} \\ &= 1.000.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung Luas Penampang Inti Beton (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal R18.7.5.2)

$$\begin{aligned} A_{ch} &= b_c \times h_c \\ &= (b - 2 c_c) \times (h - 2 c_c) \\ &= (1000 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm}) \times (1000 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm}) \\ &= 846.400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung dan Cek Sisi Pendek atau Sumbu Lemah (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.4)

$$\begin{aligned} A_{sh1} / S_1 &\geq \text{maks}(A_{sh} / S_{min1} \text{ atau } A_{sh} / S_{min2}) \\ 11,34 \text{ mm}^2/\text{mm} &\geq \text{maks}((0,3(b_c \times f'_c / f_y) \times (A_g / A_{ch} - 1)) \text{ atau } (0,09 \times h_c \times f'_c / f_y)) \\ 11,34 \text{ mm}^2/\text{mm} &\geq \text{maks}((0,3(920 \text{ mm} \times 33,2 \text{ N/mm}^2 / 420 \text{ N/mm}^2) \times \\ &\quad (1.000.000 \text{ mm}^2 / 846.400 \text{ mm}^2 - 1)) \text{ atau } (0,09 \times 920 \text{ mm} \\ &\quad \times 33,2 \text{ N/mm}^2 / 420 \text{ N/mm}^2)) \\ 11,34 \text{ mm}^2/\text{mm} &\geq \text{maks}((3,96 \text{ mm}^2) \text{ atau } (6,55 \text{ mm}^2)) \\ 11,34 \text{ mm}^2/\text{mm} &\geq 6,55 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Menghitung dan Cek Sisi Panjang atau Sumbu Kuat (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.4)

$$\begin{aligned} A_{sh2} / S_2 &\geq \text{maks}(A_{sh} / S_{min1} \text{ atau } A_{sh} / S_{min2}) \\ 11,34 \text{ mm}^2/\text{mm} &\geq \text{maks}((0,3(b_c \times f'_c / f_y) \times (A_g / A_{ch} - 1)) \text{ atau } (0,09 \times h_c \times f'_c / f_y)) \end{aligned}$$

$$/ f_y))$$

$$11,34 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq \text{maks}((0,3(920 \text{ mm} \times 33,2 \text{ N/mm}^2 / 420 \text{ N/mm}^2) \times (1.000.000 \text{ mm}^2 / 864.400 \text{ mm}^2 - 1)) \text{ atau } (0,09 \times 920 \text{ mm} \times 33,2 \text{ N/mm}^2 / 420 \text{ N/mm}^2))$$

$$11,34 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq \text{maks}((3,96 \text{ mm}^2) \text{ atau } (6,55 \text{ mm}^2))$$

$$11,34 \text{ mm}^2/\text{mm} \geq 6,55 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

1 Cek Spasi Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3)

$$S_{pakai} \leq \min((S_{max1} \text{ atau } S_{max2} \text{ atau } S_{max3}))$$

$$100 \text{ mm} \leq \min((b / 4) \text{ atau } (6 \times d_b) \text{ atau } (100 < 100 + 350 - X_{i \max} / 3 < 150))$$

$$100 \text{ mm} \leq \min((1000 \text{ mm} / 4) \text{ atau } (6 \times 29 \text{ mm}) \text{ atau } (100 < 100 + 350 - 300 \text{ mm} / 3 < 150))$$

$$100 \text{ mm} \leq \min((250 \text{ mm}) \text{ atau } (174 \text{ mm}) \text{ atau } (116,67 \text{ mm}))$$

$$100 \text{ mm} \leq 116,67 \text{ mm (OK)}$$

1 Menentukan Nilai V_{upakai} (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.1)

$$V_{upakai} = \text{maks}((V_{u1} \text{ atau } V_{u2}))$$

$$= \text{maks}((2 \times M_{pr \text{ Kolom}} / L_n) \text{ atau } (\text{maks}(V_{u2 \text{ Sumbu Lemah}} \text{ atau } V_{u2 \text{ Sumbu Kuat}})))$$

$$= \text{maks}((2 \times 5573,64 \text{ kN.m} / 3,2 \text{ m}) \text{ atau } (\text{maks}(367,27 \text{ kN} \text{ atau } 287,81 \text{ kN})))$$

$$= \text{maks}((3483,53 \text{ kN}) \text{ atau } (\text{maks}(367,27 \text{ kN} \text{ atau } 287,81 \text{ kN})))$$

$$= 3483,53 \text{ kN}$$

1 Menentukan Nilai V_c (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.6.1)

$$V_c = 0,17 (1 + N_u / 14 \times A_g) \times f'_c{}^{0,5} \times b_d$$

$$= 0,17 (1 + N_u / 14 \times A_g) \times f'_c{}^{0,5} \times (h - c_c - d_s - d_b / 2)$$

$$= 0,17 (1 + 18 \text{ N} / 14 \times 1.000.000 \text{ mm}^2) \times 33,2 \text{ N/mm}^2 \times (1000 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 19 \text{ mm} - 29 \text{ mm} / 2)$$

$$= 907.535,12 \text{ N}$$

$$= 907,54 \text{ kN}$$

1 Menentukan Nilai V_s (Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1 dan Pasal 22.5.10.1)

$$V_s = V_u / \phi - V_c$$

$$= 3484,53 \text{ kN} / 0,75 - 907,54 \text{ kN}$$

$$= 3737,17 \text{ kN}$$

1 Menentukan Nilai A_s / S_{perlu} (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.5.3)

$$\begin{aligned}
 A_s / S_{perlu} &= V_s / f_y \times b_d \\
 &= V_s / f_y \times (h - c_c - d_s - d_b / 2) \\
 &= 907.535,12 \text{ N} / 420 \text{ N/mm}^2 \times (1000 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 19 \text{ mm} \\
 &\quad - 29 \text{ mm} / 2) \\
 &= 9,60 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Cek Tahanan Geser Sumbu Lemah A_s / S (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 10.6.2.2)

$$\begin{aligned}
 A_s / S &\geq \max(A_s / S_{min1} \text{ atau } A_s / S_{min2}) \\
 9,60 \text{ mm}^2/\text{mm} &\geq \max((0,062 \times f_c^{0,5} \times b / f_y) \text{ atau } (0,35 \times b / f_y)) \\
 9,60 \text{ mm}^2/\text{mm} &\geq \max((0,062 \times 33,2^{0,5} \text{ N/mm}^2 \times 1000 \text{ mm} / 420 \text{ N/mm}^2) \\
 &\quad \text{atau } (0,35 \times 1000 \text{ mm} / 420 \text{ N/mm}^2)) \\
 9,60 \text{ mm}^2/\text{mm} &\geq \max((0,851 \text{ mm}^2/\text{mm}) \text{ atau } (0,833 \text{ mm}^2/\text{mm})) \\
 9,60 \text{ mm}^2/\text{mm} &\geq 0,851 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Karena nilai A_{sh} pada sumbu lemah dan sumbu kuat adalah sama, maka hasil pengecekan kapasitas tahanan geser pada sumbu kuat juga akan menghasilkan nilai yang sama.

Jumlah Kaki Tulangan Luar Zona Sendi Plastis

Jumlah Kaki atau Tulangan Transversal Sisi Pendek

$$n_1 = 2 \text{ Buah Tulangan}$$

Jumlah Kaki atau Tulangan Transversal Sisi Panjang

$$n_2 = 2 \text{ Buah Tulangan}$$

Cek Spasi atau Jarak Tulangan (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.5)

$$\begin{aligned}
 S_{pakai} &\leq \min(S_{max1} \text{ atau } S_{max2}) \\
 150 \text{ mm} &\leq \min((6 \times d_b) \text{ atau } (150 \text{ mm})) \\
 150 \text{ mm} &\leq \min((6 \times 29 \text{ mm}) \text{ atau } (150 \text{ mm})) \\
 150 \text{ mm} &\leq \min((174 \text{ mm}) \text{ atau } 150 \text{ mm})) \\
 150 \text{ mm} &\leq 150 \text{ mm} \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Karena nilai kuat geser atau M_{pr} yang diperoleh dari hasil analisis menggunakan SPColumn relatif besar, maka penulangan pada sumbu lemah dan sumbu kuat dibuat sama agar tetap seragam dan tidak menimbulkan ketidakseimbangan kapasitas pada penampang kolom. Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis dan kontrol perhitungan, kolom tipe K1 Gedung A pada daerah sumbu lemah dan sumbu kuat direncanakan menggunakan tulangan transversal/sengkang 4D-150 guna gaya geser.

Adapun rekapitulasi hasil kontrol geser pada seluruh tipe kolom untuk setiap pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E disajikan pada Tabel 4.158 berikut.

Tabel 4. 158 Rekapitulasi Kontrol Geser Kolom Setiap Pemodelan

Variasi Pemodelan		Kolom K1	Kolom K2	Kolom K3
<i>Geser (kN)</i>				
Gedung A	V_u	3483,53	1917,34	1002,03
	V_c	907,54	569,30	433,00
	V_s	3737,17	1987,16	903,03
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK
Gedung B	V_u	3589,08	1999,83	1002,03
	V_c	907,54	569,30	433,00
	V_s	3877,90	2097,14	903,03
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK
Gedung C	V_u	3516,33	1940,15	993,86
	V_c	907,54	569,30	433,00
	V_s	3780,91	2017,56	892,14
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK
Gedung D	V_u	3462,07	1920,50	996,06
	V_c	907,54	569,30	433,00
	V_s	3708,56	1991,37	895,08
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK
Gedung E	V_u	3524,25	1944,05	994,15
	V_c	907,54	569,30	433,00
	V_s	3791,46	2022,77	892,53
	<i>Cek</i>	OK	OK	OK

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Kontrol Strong Column Weak Beam (SCWB)

Cek *Strong Column Weak Beam* (Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2)

$$M_{nc} \geq 1,2 \times \max((M_n^- \text{ Tumpuan Balok} + M_n^+ \text{ Tumpuan Balok}))$$

$$2 \times \max((M_n \text{ output SPColumn})) \geq 1,2 \times (773,14 \text{ kN.m} + 586,58 \text{ kN.m})$$

$$2 \times 4455,46 \text{ kN.m} \geq 1631,79 \text{ kN.m}$$

$$8910,91 \text{ kN.m} \geq 1631,79 \text{ kN.m (OK)}$$

Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis dan kontrol perhitungan, kolom tipe K1 Gedung A telah memenuhi persyaratan *Strong Column Weak Beam* sesuai dengan SNI 2847:2019.

Adapun rekapitulasi tulangan berdasarkan hasil analisa dan kontrol lentur, dan geser pada seluruh tipe kolom untuk setiap pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E disajikan pada Tabel 4.159 berikut.

Tabel 4. 159 Rekapitulasi Tulangan Kolom Setiap Pemodelan

Elemen Struktur	Tulangan Longitudinal	Tulangan Transversal/Senggang			
		Tumpuan		Lapangan	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah
Gedung A					
Kolom K1	32 D29	4D19-100	4D19-100	2D19-150	2D19-150
Kolom K2	24 D29	3D19-100	3D19-100	2D19-150	2D19-150
Kolom K3	20 D25	3D16-100	3D16-100	2D16-150	2D16-150
Gedung B					
Kolom K1	32 D29	4D19-100	4D19-100	2D19-150	2D19-150
Kolom K2	24 D29	3D19-100	3D19-100	2D19-150	2D19-150
Kolom K3	20 D25	3D16-100	3D16-100	2D16-150	2D16-150
Gedung C					
Kolom K1	32 D29	4D19-100	4D19-100	2D19-150	2D19-150
Kolom K2	24 D29	3D19-100	3D19-100	2D19-150	2D19-150
Kolom K3	20 D25	3D16-100	3D16-100	2D16-150	2D16-150
Gedung D					
Kolom K1	32 D29	4D19-100	4D19-100	2D19-150	2D19-150
Kolom K2	24 D29	3D19-100	3D19-100	2D19-150	2D19-150
Kolom K3	20 D25	3D16-100	3D16-100	2D16-150	2D16-150
Gedung E					
Kolom K1	32 D29	4D19-100	4D19-100	2D19-150	2D19-150
Kolom K2	24 D29	3D19-100	3D19-100	2D19-150	2D19-150
Kolom K3	20 D25	3D16-100	3D16-100	2D16-150	2D16-150

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4.7 Analisa Level Kinerja Struktur dengan Metode *Pushover*

Analisis *pushover* merupakan metode untuk mengevaluasi tingkat kinerja dan daktilitas struktur dengan cara memberikan beban gempa statik secara bertahap pada setiap lantai. Pembebanan dimulai hingga terbentuk sendi plastis pertama, kemudian dilanjutkan sampai struktur memasuki kondisi pasca-elastik dan mencapai perpindahan target yang ditentukan.

1. Tahap awal dilakukan dengan mendefinisikan *load case* gravitasi atau beban vertikal melalui menu *Define*, kemudian memilih *Load Cases* dan *Add New Cases*. Pada bagian *Load Case Type* dipilih *Nonlinear Static*, kemudian pada kolom *Loads Applied* dimasukkan beban mati dan beban mati tambahan (SiDL) dengan faktor skala sebesar 1. Selanjutnya, pada menu *Load*

Application dipilih *Modify/Show*, lalu derajat kebebasan (DOF) diubah menjadi U3 karena arah kerja gaya gravitasi berada pada sumbu vertikal (Z). Setelah itu ditentukan titik acuan pembebanan pada bagian *at Joint*, yaitu menggunakan joint 1 yang berada di sudut lantai atap. Pada menu *Result Saved*, opsi diubah menjadi *Multiple States* agar ETABS dapat menyimpan hasil analisis pada setiap tahapan peningkatan beban.

2. Tahap berikutnya adalah mendefinisikan *load case* pushover untuk arah X dan Y melalui menu *Define*, kemudian memilih *Load Cases* dan *Add New Cases*. Pada bagian *Continue from State at End of Nonlinear Case* dipilih *load case gravity* yang telah dibuat sebelumnya. Selanjutnya, pada menu *Load Type* dipilih *Acceleration* dengan *Load Name* berupa UX untuk arah X dan UY untuk arah Y, masing-masing menggunakan faktor skala sebesar -1. Pada menu *Load Application* dipilih *Displacement Control*, kemudian nilai *Load to a Monitored Displacement* diisi sebesar 320 mm atau setara 2% dari tinggi total bangunan 16 m. Derajat kebebasan (DOF) diatur menjadi U1 untuk *pushover* arah X dan U2 untuk arah Y. Titik acuan perpindahan menggunakan joint yang sama seperti pada *load case gravity*, yaitu joint 1.
3. Tahapan selanjutnya adalah mendefinisikan sendi plastis pada elemen balok dan kolom. Untuk elemen balok, seluruh balok dipilih kemudian masuk ke menu *Assign*, kemudian memilih *Frame* dan *Hinges*. Pada bagian *Hinge Property* dipilih *Auto*, lalu *Relative Distance* diatur pada posisi 0,05 dan 0,95. Setelah itu dipilih acuan ASCE 41-17 melalui opsi *From Tables In ASCE 41-17*. Jenis sendi plastis yang digunakan untuk balok adalah Table 9-7.1 (Steel Beams-Flexure) dengan derajat kebebasan (DOF) berupa M3. Prosedur yang sama dilakukan untuk posisi 0,95. Untuk elemen kolom, langkah yang sama dilakukan dengan memilih seluruh kolom melalui menu *Assign > Frame > Hinges*. Pada bagian *Select a Hinge Type* digunakan Table 9-7.1 (Steel Columns-Flexure) dengan DOF berupa P-M2-M3. Penempatan sendi plastis juga dilakukan pada posisi relatif 0,05 dan 0,95.
4. Setelah pendefinisian sendi plastis selesai, seluruh elemen struktur dipilih kemudian masuk ke menu *Assign*, kemudian memilih *Frame* dan *Hinges Overwrites*. Pada tahap ini dilakukan aktivasi opsi *Auto Subdivide of Frame Element at Hinge* agar properti sendi plastis dapat disesuaikan secara otomatis, sehingga hasil analisis pushover menjadi lebih akurat.
5. Tahap terakhir adalah menjalankan analisis pushover. Proses ini dilakukan melalui menu *Analyze* lalu *Set Load Cases to Run*, kemudian hanya *load case gravity*, *pushover arah X*, dan *pushover arah Y* yang dipilih agar waktu

analisis lebih efisien. Setelah proses dijalankan, ETABS akan melakukan analisis pushover dengan waktu proses sekitar satu hingga dua jam.

4.7.1 Level Kinerja Berdasarkan ATC-40

Metode ATC-40 digunakan untuk mengevaluasi tingkat kinerja struktur dapat ditentukan berdasarkan perpindahan lateral dan besarnya gaya yang bekerja, yang digambarkan melalui kurva kapasitas. Kurva ini menunjukkan hubungan antara total gaya geser dasar dengan peningkatan beban serta perpindahan lateral pada atap bangunan. Adapun untuk menampilkan hasil analisis *pushover* ATC-40 yaitu sebagai berikut:

1. Langkah pertama untuk menampilkan hasil analisis *pushover* metode ATC-40 dilakukan melalui menu *Display*, kemudian memilih opsi *Static Pushover Curve*.
2. Tahap berikutnya pada bagian *Plot Type* dipilih jenis kurva yang sesuai dengan metode *pushover* yang digunakan. Selanjutnya, *load case* ditentukan berdasarkan arah pembebanan yang akan dianalisis, yaitu PUSH X atau PUSH Y.
3. Tahap terakhir untuk melihat hasil analisis secara rinci, pilih menu *Show Report* kemudian *Detailed Report*, sehingga hasil *pushover* dapat ditampilkan dan digunakan dalam proses evaluasi serta analisis struktur.

Berikut merupakan contoh hasil analisis *pushover* ATC-40 yang diperoleh melalui *software* ETABS pada pemodelan Gedung A.

1. *Pushover* Arah X

Tabel 4. 160 Data Parameter Metode *Pushover* ATC-40 Arah X
Pemodelan Gedung A

Data Pushover ATC-40 Pemodelan Gedung A				
V (kN)	D_r (mm)	S_a	S_d (mm)	T_{eff}
28931,05	269,384	0,632316	199,586	1,088

Performance Point

Point Found	Yes	T secant	1,126 sec
Shear	28931,052 kN	T effective	1,088 sec
Displacement	269,384 mm	Ductility Ratio	2,023507
S_a	0,632316	Effective Damping	0,0898
S_d	199,586 mm	Modification Factor	0,933416

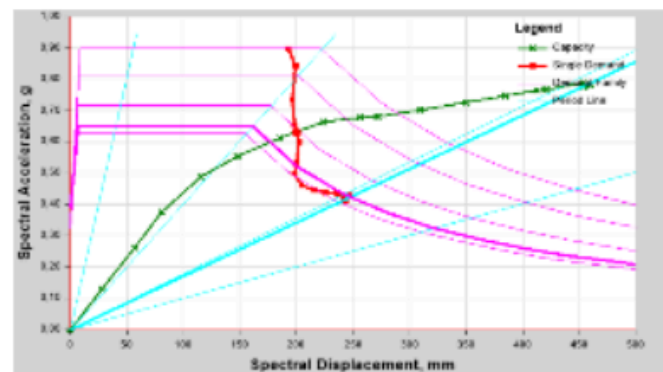
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan parameter yang telah diperoleh, selanjutnya dapat dihitung nilai drift maksimum bangunan sebagaimana telah dijelaskan pada Subbab 2.11.1.

Menentukan Nilai Drift Maksimum

$$\begin{aligned} \text{Drift Ratio} &= \frac{D_T}{H_{total}} \\ &= \frac{269,384}{40000} \\ &= 0,00673 \end{aligned}$$

Adapun kurva *Performance Point* dari analisis *pushover* arah *X* pemodelan Gedung A pada *software* ETABS dapat dilihat pada Gambar 4.78.



Gambar 4. 78 Kurva *Performance Point* Arah *X* Pemodelan Gedung A *Pushover* ATC-40

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

2. *Pushover* Arah *Y*

Tabel 4. 161 Data Parameter Metode *Pushover* ATC-40 Arah *Y* Pemodelan Gedung A

Data Pushover ATC-40 Pemodelan Gedung A				
V (kN)	D_T (mm)	S_a	S_d (mm)	T_{eff}
31814,92	276,347	0,700754	201,253	1,053

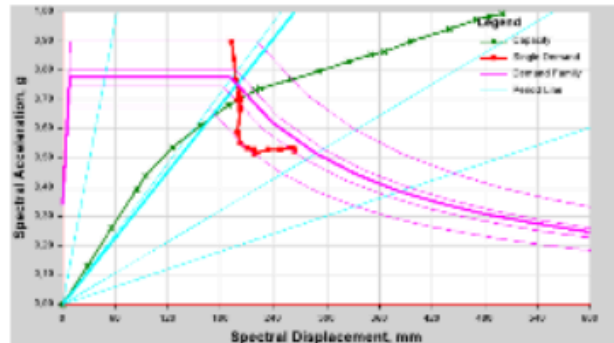
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan parameter yang telah diperoleh, selanjutnya dapat dihitung nilai drift maksimum bangunan sebagaimana telah dijelaskan pada Subbab 2.11.1.

Menentukan Nilai Drift Maksimum

$$\begin{aligned} \text{Drift Ratio} &= \frac{D_T}{H_{total}} \\ &= \frac{276,347}{40000} \\ &= 0,00691 \end{aligned}$$

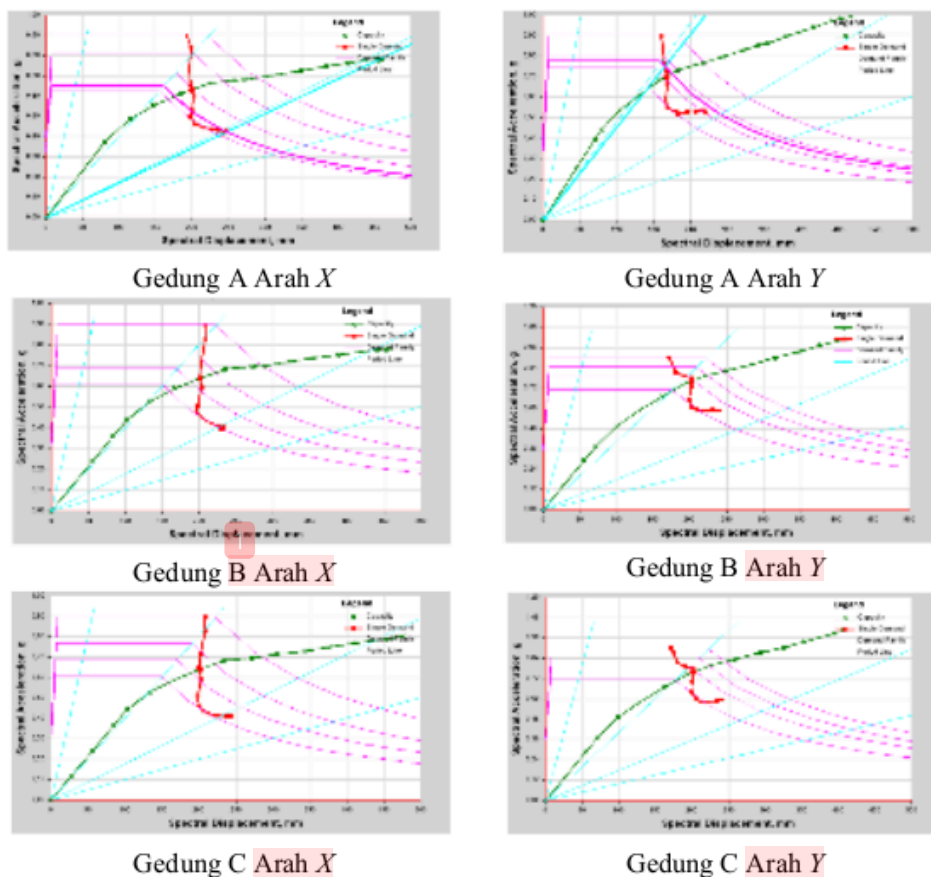
Adapun kurva *Performance Point* dari analisis *pushover* arah *Y* pemodelan Gedung A pada *software* ETABS dapat dilihat pada Gambar 4.79.



Gambar 4. 79 Kurva *Performance Point* Arah *Y* Pemodelan Gedung A Metode *Pushover* ATC-40

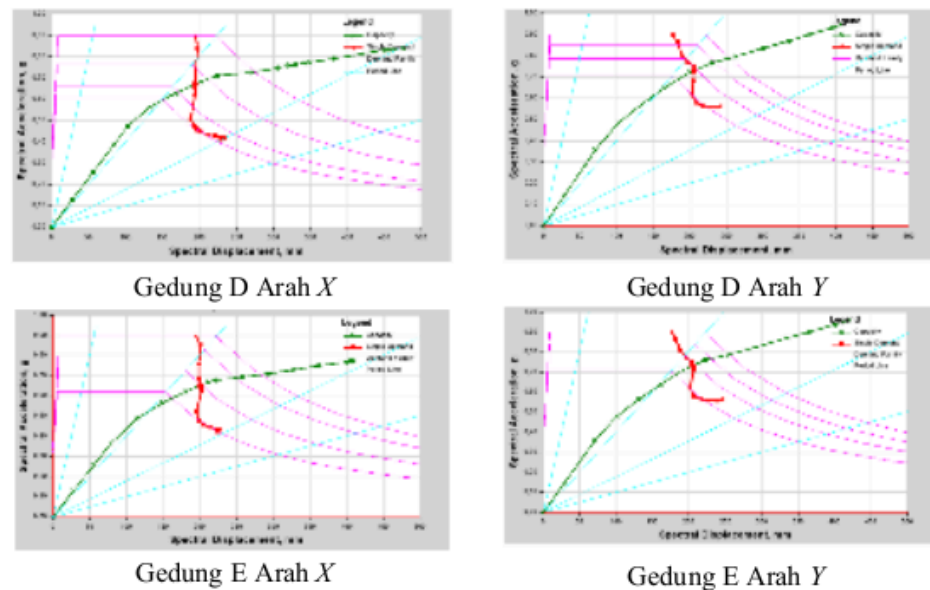
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

3. Rekapitulasi Kurva *Performance Point* dan Data Parameter Metode *Pushover* ATC-40



Gambar 4. 80 Rekapitulasi Kurva *Performance Point* Metode *Pushover* ATC-40

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 80 Rekapitulasi Kurva *Performance Point* Metode *Pushover* ATC-40 (Lanjutan)

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 162 Rekapitulasi Data Parameter Metode *Pushover* ATC-40

Variasi Pemodelan		Metode Pushover ATC-40	
		Arah X	Arah Y
Gedung A	V (kN)	28931,052	31814,925
	D_T (mm)	269,384	276,347
	S_a	0,632	0,701
	S_d (mm)	199,586	201,253
	T_e (detik)	1,088	1,053
Gedung B	V (kN)	27527,580	32837,601
	D_T (mm)	275,168	278,056
	S_a	0,641	0,763
	S_d (mm)	200,880	202,308
	T_e (detik)	1,059	1,068
Gedung C	V (kN)	27569,948	32687,327
	D_T (mm)	275,427	276,659
	S_a	0,642	0,759
	S_d (mm)	201,068	201,212
	T_e (detik)	1,059	1,063
Gedung D	V (kN)	29279,376	31832,034
	D_T (mm)	265,234	282,138
	S_a	0,672	0,734
	S_d (mm)	193,952	205,831
	T_e (detik)	1,015	1,097
Gedung E	V (kN)	28668,620	31790,461

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 162 Rekapitulasi Data Parameter Metode *Pushover* ATC-40
(Lanjutan)

Variasi Pemodelan		Metode Pushover ATC-40	
		Arah X	Arah Y
Gedung E	V (kN)	28668,620	31790,461
	D_r (mm)	272,428	281,199
	S_a	0,652	0,732
	S_d (mm)	200,724	205,191
	T_e (detik)	1,080	1,093

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4. Rekapitulasi Tingkat Kinerja Metode *Pushover* ATC-40

Tabel 4. 163 Rekapitulasi Tingkat Kinerja Metode *Pushover* ATC-40

Variasi Pemodelan	Drift Ratio		Level Kinerja
	Arah X	Arah Y	
Gedung A	0,00673	0,00691	IO
Gedung B	0,00688	0,00695	IO
Gedung C	0,00689	0,00692	IO
Gedung D	0,00663	0,00705	IO
Gedung E	0,00681	0,00703	IO

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.160 hingga Tabel 4.163 serta Gambar 4.78 hingga Gambar 4.80, dapat diketahui bahwa tingkat kinerja struktur berdasarkan metode ATC-40 pada seluruh model, baik pada variasi luas dan letak *void* maupun model tanpa *void*, berada pada kategori *Immediate Occupancy* (IO). Hal ini ditunjukkan oleh nilai drift maksimum yang berada dalam rentang 0,00663 hingga 0,00705 yang berada pada batas *Immediate Occupancy* dengan batas nilai kurang dari 0,01. Nilai tersebut masih berada dalam batas yang dipersyaratkan untuk level kinerja tersebut, sehingga struktur dinilai hanya mengalami deformasi kecil tanpa menyebabkan kerusakan signifikan pada elemen struktural maupun nonstruktural.

4.7.2 Level Kinerja Berdasarkan FEMA 356

Metode FEMA 356 digunakan untuk mengevaluasi tingkat perpindahan struktur pada kondisi kinerja tertentu melalui modifikasi respons elastis. Pendekatan ini memanfaatkan koefisien C_0 , C_1 , C_2 , dan C_3 , di mana C_0 merepresentasikan respons elastis struktur, sedangkan C_1 , C_2 , dan C_3 digunakan untuk menggambarkan perilaku nonlinier, termasuk pengaruh histeresis dan tingkat kerusakan yang terjadi pada struktur. Adapun untuk menampilkan hasil analisis *pushover* FEMA 356 yaitu sebagai berikut:

1. Langkah pertama untuk menampilkan hasil analisis *pushover* metode FEMA 356 dilakukan melalui menu *Display*, kemudian memilih opsi *Static Pushover Curve*.
2. Tahap berikutnya pada bagian *Plot Type* dipilih jenis kurva yang sesuai dengan metode *pushover* yang digunakan. Selanjutnya, *load case* ditentukan berdasarkan arah pembebanan yang akan dianalisis, yaitu PUSH X atau PUSH Y.
3. Tahap terakhir untuk melihat hasil analisis secara rinci, pilih menu *Show Report* kemudian *Detailed Report*, sehingga hasil *pushover* dapat ditampilkan dan digunakan dalam proses evaluasi serta analisis struktur.

Berikut merupakan contoh hasil analisis *pushover* yang diperoleh melalui *software* FEMA 356 ETABS pada pemodelan Gedung A.

1. Pushover Arah X

Tabel 4. 164 Data Parameter Metode *Pushover* FEMA 356 Arah X
Pemodelan Gedung A

Data Pushover FEMA 356 Pemodelan Gedung A						
T_e (detik)	T_s (detik)	C_0	C_1	C_2	C_3	S_{D1} (g)
0,930	0,92	1,3509	1,0	1,0	1,0	0,60

Calculated Parameters

C0	1,35087	Sa	0,899486 g
C1	1,031215	Alpha	0,431242
C2	1	uStrength	2,618429
Tl	0,93 sec	Dy	142,552 mm
Te	0,93 sec	Vy	20930,6879 kN
Kl	146828,485 kN/m	Weight	60929,7972 kN
Ke	146828,485 kN/m	Cm	1

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan parameter yang telah diperoleh, selanjutnya dapat dihitung nilai drift maksimum struktur bangunan sebagaimana telah dijelaskan pada Subbab 2.11.2.

Menentukan Nilai C_1

Berdasarkan FEMA 356 Pasal 3.3.3.2, nilai C_1 tidak diperbolehkan lebih kecil dari 1,0. Sehingga nilai C_1 yang digunakan yaitu sebesar 1,0

Menentukan Nilai C_2

Berdasarkan FEMA 356 Tabel 3-3, nilai C_2 diambil berdasarkan kategori *Framing Type* 2. Seluruh pemodelan menunjukkan kondisi $T_e \geq T_s$, sehingga nilai C_2 yang digunakan yaitu sebesar 1,0.

Menentukan Nilai C_3

Berdasarkan FEMA 356 Pasal 3.3.3.2, nilai C_3 ditetapkan sama dengan 1,0.

Menentukan Target Perpindahan

$$\begin{aligned} S_a &= S_{D1} / T_e \\ &= 0,60 / 0,930 \\ &= 0,645 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_T &= C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \\ &= 1,3509 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,645 \text{ detik} \times \frac{0,930^2 \text{ detik}}{4\pi^2} \times 9,81 \\ &= 0,187 \text{ m} \end{aligned}$$

Menentukan Nilai Drift Maksimum

$$\begin{aligned} \text{Drift Ratio} &= \frac{\delta_T}{H_{total}} \\ &= \frac{0,187}{40} \\ &= 0,0046827 \\ &= 0,46827\% \end{aligned}$$

2. Pushover Arah Y

Tabel 4. 165 Data Parameter *Pushover* Metode FEMA 356 Arah Y
Pemodelan Gedung A

Data Pushover FEMA 356 Pemodelan Gedung A						
T_e (detik)	T_s (detik)	C_0	C_1	C_2	C_3	S_{D1} (g)
0,928	0,92	1,3749	1,0	1,0	1,0	0,60

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan parameter yang telah diperoleh, selanjutnya dapat dihitung nilai drift maksimum struktur bangunan sebagaimana telah dijelaskan pada Subbab 2.11.2.

Menentukan Nilai C_1

Berdasarkan FEMA 356 Pasal 3.3.3.2, nilai C_1 tidak diperbolehkan lebih kecil dari 1,0. Sehingga nilai C_1 yang digunakan yaitu sebesar 1,0.

Menentukan Nilai C_2

Berdasarkan FEMA 356 Tabel 3-3, nilai C_2 diambil berdasarkan kategori *Framing Type* 2. Seluruh pemodelan menunjukkan kondisi $T_e \geq T_s$, sehingga nilai C_2 yang digunakan yaitu sebesar 1,0.

Menentukan Nilai C_3

Berdasarkan FEMA 356 Pasal 3.3.3.2, nilai C_3 ditetapkan sama dengan 1,0.

Menentukan Target Perpindahan

$$\begin{aligned} S_a &= S_{D1} / T_e \\ &= 0,60 / 0,928 \\ &= 0,647 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_T &= C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \\ &= 1,375 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,647 \text{ detik} \times \frac{0,928^2 \text{ detik}}{4\pi^2} \times 9,81 \\ &= 0,190 \text{ m} \end{aligned}$$

Menentukan Nilai Drift Maksimum

$$\begin{aligned} \text{Drift Ratio} &= \frac{\delta_T}{H_{total}} \\ &= \frac{0,190}{40} \\ &= 0,0047558 \\ &= 0,47558\% \end{aligned}$$

3. Rekapitulasi Data Parameter Metode *Pushover* FEMA 356

Tabel 4. 166 Rekapitulasi Data Parameter Metode *Pushover* FEMA 356

Variasi Pemodelan		Metode Pushover FEMA 356	
		Arah X	Arah Y
Gedung A	T_e (detik)	1,3509	1,3749
	T_s (detik)	1,0	1,0
	C_0	1,0	1,0
	C_1	1,0	1,0
	C_2	0,60	0,60
	C_3	0,965	0,875
	S_{D1} (g)	0,92	0,92
Gedung B	T_e (detik)	1,3663	1,3814
	T_s (detik)	1,0	1,0
	C_0	1,0	1,0
	C_1	1,0	1,0
	C_2	0,60	0,60
	C_3	0,965	0,875
	S_{D1} (g)	0,92	0,92
Gedung C	T_e (detik)	1,3664	1,3817
	T_s (detik)	1,0	1,0
	C_0	1,0	1,0
	C_1	1,0	1,0
	C_2	0,60	0,60
	C_3	1,3509	1,3749
	S_{D1} (g)	1,0	1,0

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 166 Rekapitulasi Data Parameter Metode *Pushover* FEMA 356
(Lanjutan)

Variasi Pemodelan		Metode Pushover FEMA 356	
		Arah X	Arah Y
Gedung D	T_e (detik)	0,933	0,890
	T_s (detik)	0,92	0,92
	C_0	1,3660	1,3768
	C_1	1,0	1,0
	C_2	1,0	1,0
	C_3	1,0	1,0
	S_{DI} (g)	0,60	0,60
Gedung E	T_e (detik)	0,933	0,891
	T_s (detik)	0,92	0,92
	C_0	1,3584	1,3764
	C_1	1,0	1,0
	C_2	1,0	1,0
	C_3	1,0	1,0
	S_{DI} (g)	0,60	0,60

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4. Rekapitulasi Tingkat Kinerja Metode *Pushover* FEMA 356

Tabel 4. 167 Rekapitulasi Tingkat Kinerja Metode *Pushover* FEMA 356

Variasi Pemodelan	Drift Ratio (%)		Level Kinerja
	Arah X	Arah Y	
Gedung A	0,46827	0,47558	IO
Gedung B	0,49145	0,45053	IO
Gedung C	0,49149	0,45063	IO
Gedung D	0,47506	0,45673	IO
Gedung E	0,47242	0,45712	IO

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.164 hingga Tabel 4.167, dapat diketahui bahwa tingkat kinerja struktur berdasarkan metode FEMA 356 pada seluruh model, baik pada variasi luas dan letak *void* maupun model tanpa *void*, berada pada kategori *Immediate Occupancy* (IO). Hal ini ditunjukkan oleh nilai drift maksimum yang berada dalam rentang 0,45045% hingga

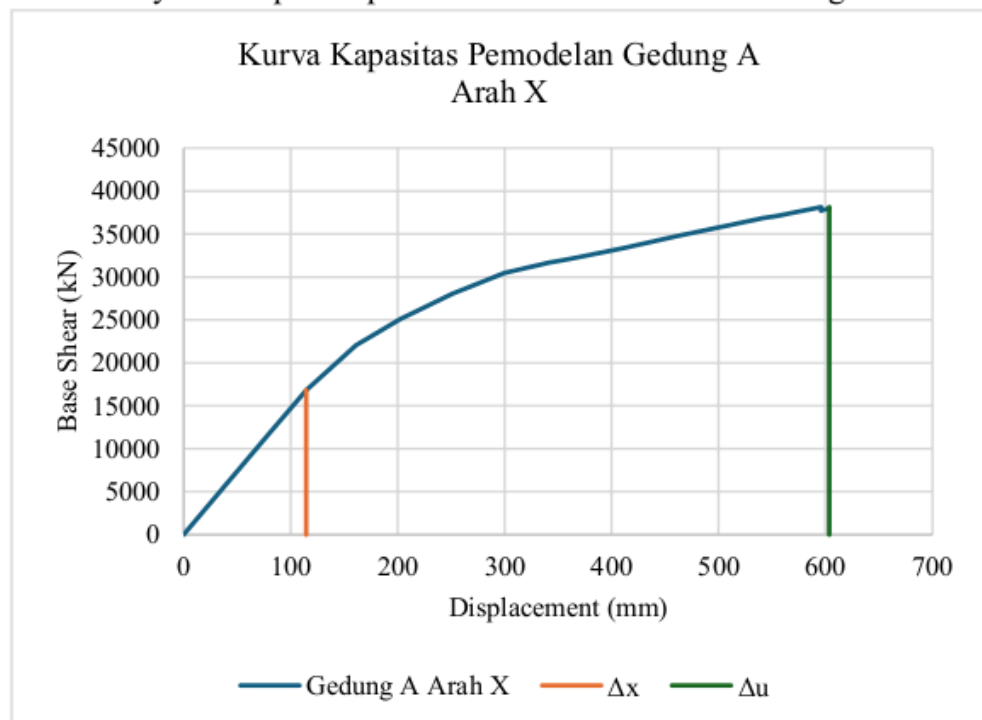
0,49149% yang berada pada batas *Immediate Occupancy* dengan batas nilai antara 0% hingga 1%. Nilai tersebut masih berada dalam batas yang dipersyaratkan untuk level kinerja tersebut, sehingga struktur dinilai hanya mengalami deformasi kecil tanpa menyebabkan kerusakan signifikan pada elemen struktural maupun nonstruktural.

4.7.3 Tingkat Daktilitas

Nilai daktilitas struktur ditentukan dari perbandingan antara deformasi maksimum (*ultimate*) dan deformasi saat leleh awal, yang diperoleh melalui kurva kapasitas hasil analisis *pushover*. Kurva tersebut merepresentasikan hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan lateral, sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi titik leleh serta kapasitas deformasi maksimum yang mampu dicapai struktur.

1. Struktur SRPMK Tanpa Void (Gedung A)

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *software* ETABS, diperoleh keluaran berupa kurva *pushover* yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan lateral struktur, serta distribusi terbentuknya sendi plastis pada elemen-elemen struktur sebagai berikut:



Gambar 4. 81 Grafik Kurva *Pushover* Pemodelan Gedung A Arah X
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

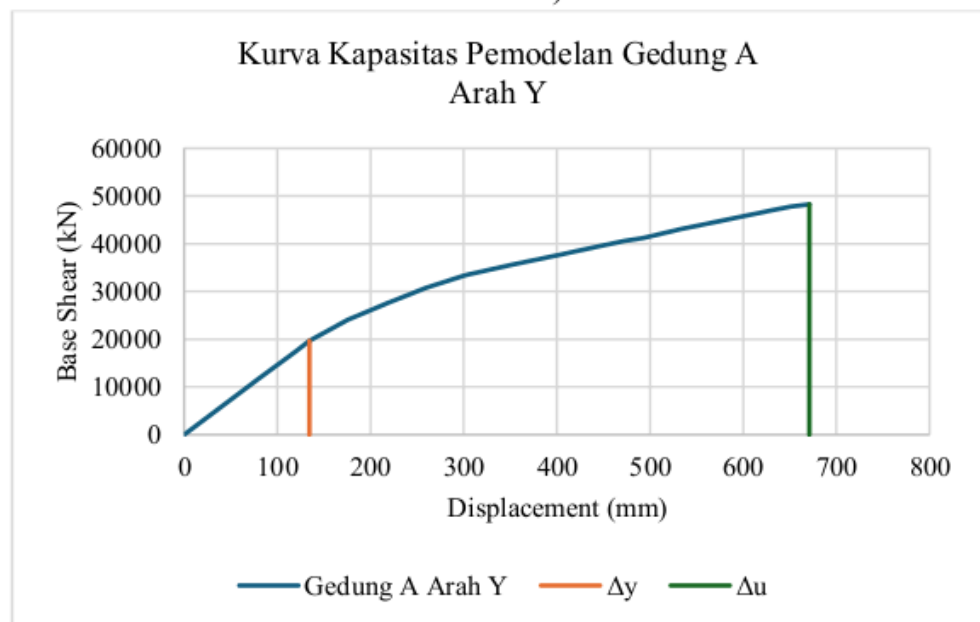
Tabel 4. 168 Distribusi Sendi Plastis *Pushover* Pemodelan Gedung A
Arah *X*

Step	Monitored Displacement	14 Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0	0	2100	0	0	0	0	2100	0	0	0	2100
1	40	5873,139	2100	0	0	0	0	2100	0	0	0	2100
2	80	11746,28	2100	0	0	0	0	2100	0	0	0	2100
3	114,619	16829,27	2094	6	0	0	0	2100	0	0	0	2100
4	161,279	22068,75	1944	156	0	0	0	2100	0	0	0	2100
5	202,61	25114,08	1876	224	0	0	0	2100	0	0	0	2100
6	251,603	28045,07	1828	272	0	0	0	2100	0	0	0	2100
7	299,637	30438,54	1784	316	0	0	0	2094	6	0	0	2100
8	341,357	31650,49	1744	356	0	0	0	2038	62	0	0	2100
9	360,879	32075,72	1738	362	0	0	0	1998	102	0	0	2100
10	410,318	33333,31	1732	368	0	0	0	1894	206	0	0	2100
11	461	34749,72	1714	386	0	0	0	1876	224	0	0	2100
12	505,777	35887,94	1700	400	0	0	0	1860	240	0	0	2100
13	541,776	36845,73	1690	410	0	0	0	1834	266	0	0	2100
14	553,346	37048,85	1676	424	0	0	0	1834	266	0	0	2100
15	595,886	38130,29	1676	421	3	0	0	1828	272	0	0	2100
16	595,894	37700,74	1676	419	0	5	0	1828	267	5	0	2100
17	600,24	37904	1676	418	1	5	0	1828	267	5	0	2100
18	600,248	37869,49	1676	418	0	6	0	1828	266	6	0	2100
19	603,628	37980,35	1676	416	2	6	0	1828	266	6	0	2100

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.168 dan Gambar 4.81, diketahui bahwa pembentukan sendi plastis mulai terjadi pada step ke-3, saat struktur mengalami perpindahan sebesar 114,619 mm dengan gaya geser dasar mencapai 16.829,77 kN. Hal ini menunjukkan bahwa struktur mulai memasuki fase nonlinier, di mana sebagian elemen telah melewati kondisi elastis dan mulai mengalami plastisasi. Seiring peningkatan pembebanan, jumlah dan distribusi sendi plastis terus berkembang hingga analisis pushover berhenti pada step ke-19. Pada tahap ini, struktur telah mengalami perpindahan maksimum sebesar 603,628 mm. Meskipun deformasi yang terjadi cukup besar, tidak ditemukan elemen yang mencapai kondisi *Collapse Prevention* (CP).

$$\begin{aligned}\mu_x &= \Delta u_x / \Delta y_x \\ &= 603,628 \text{ mm} / 114,618 \text{ mm} \\ &= 5,2664 \text{ (Berada pada Kategori Daktail Penuh Berdasarkan SNI} \\ &\quad \text{1726:2002 Pasal 4.3.4 dan Tabel 2)}\end{aligned}$$



Gambar 4. 82 Grafik Kurva *Pushover* Pemodelan Gedung A Arah Y
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 169 Distribusi Sendi Plastis *Pushover* Pemodelan Gedung A
Arah Y

Step	Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0	0	2100	0	0	0	0	2100	0	0	0	2100

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 169 Distribusi Sendi Plastis *Pushover* Pemodelan Gedung A
Arah Y (Lanjutan)

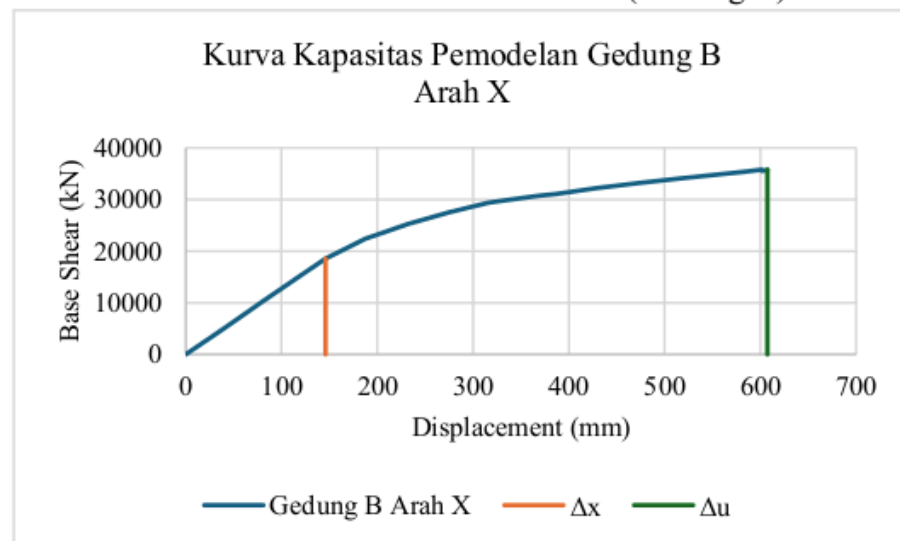
Step	Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
1	40	5846,455	2100	0	0	0	0	2100	0	0	0	2100
2	80	11692,91	2100	0	0	0	0	2100	0	0	0	2100
3	120	17539,36	2100	0	0	0	0	2100	0	0	0	2100
4	134,441	19650,14	2056	44	0	0	0	2100	0	0	0	2100
5	175,691	24086,18	1822	278	0	0	0	2100	0	0	0	2100
6	217,752	27580,58	1667	433	0	0	0	2100	0	0	0	2100
7	259,805	30781,14	1560	540	0	0	0	2100	0	0	0	2100
8	300,597	33330,37	1508	592	0	0	0	2100	0	0	0	2100
9	306,892	33682,79	1488	612	0	0	0	2100	0	0	0	2100
10	353,023	35660,96	1421	679	0	0	0	2072	28	0	0	2100
11	396,621	37425,96	1378	722	0	0	0	1975	125	0	0	2100
12	440,757	39272,6	1350	750	0	0	0	1902	198	0	0	2100
13	472,874	40619,88	1345	755	0	0	0	1874	226	0	0	2100
14	472,875	40618,92	1345	755	0	0	0	1874	226	0	0	2100
15	472,941	40623,63	1345	755	0	0	0	1874	226	0	0	2100
16	492,941	41220,02	1331	769	0	0	0	1856	244	0	0	2100
17	532,941	43074,42	1305	795	0	0	0	1826	274	0	0	2100
18	590,754	45364,55	1284	816	0	0	0	1743	357	0	0	2100
19	630,754	46999,28	1280	820	0	0	0	1729	371	0	0	2100
20	650,754	47760,88	1264	836	0	0	0	1727	373	0	0	2100
21	670,754	48240,95	1256	825	5	14	0	1727	359	14	0	2100
22	671,017	48253,23	1256	825	5	14	0	1727	359	14	0	2100

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.169 dan Gambar 4.82, diketahui bahwa pembentukan sendi plastis mulai terjadi pada step ke-4, saat struktur mengalami perpindahan sebesar 134,441 mm dengan gaya geser dasar mencapai 19.650,14 kN. Hal ini menunjukkan bahwa struktur mulai memasuki fase nonlinier, di mana sebagian elemen telah melewati kondisi elastis dan mulai mengalami plastisasi. Seiring peningkatan pembebanan, jumlah dan distribusi sendi plastis terus berkembang hingga analisis pushover berhenti pada step ke-22. Pada tahap ini, struktur telah mengalami perpindahan maksimum sebesar 671,017 mm. Meskipun deformasi yang terjadi cukup besar, tidak ditemukan elemen yang mencapai kondisi *Collapse Prevention* (CP).

$$\begin{aligned}\mu_y &= \Delta u_y / \Delta y_y \\ &= 671,017 \text{ mm} / 134,441 \text{ mm} \\ &= 4,9912 \text{ (Berada pada Kategori Daktail Parsial Berdasarkan SNI} \\ &\quad \text{1726:2002 Pasal 4.3.4 dan Tabel 2)}\end{aligned}$$

2. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 1 (Gedung B)



Gambar 4. 83 Grafik Kurva *Pushover* Pemodelan Gedung B Arah X
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 170 Distribusi Sendi Plastis *Pushover* Pemodelan Gedung B
Arah X

Step	Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0	0	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
1	40	5085,551	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 170 Distribusi Sendi Plastis *Pushover* Pemodelan Gedung B
Arah *X* (Lanjutan)

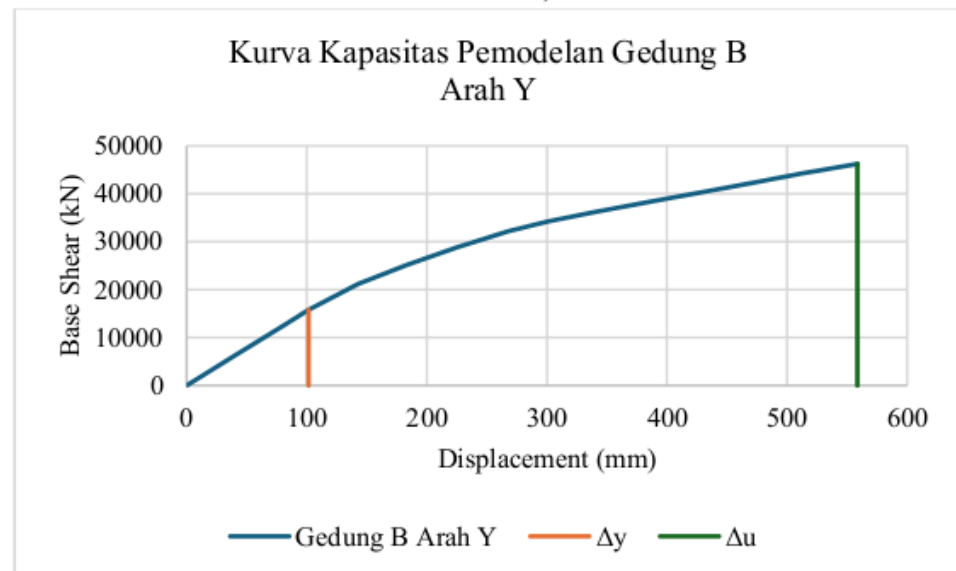
Step	Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
2	80	10171,1	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
3	120	15256,64	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
4	145,942	18554,88	2074	8	0	0	0	2082	0	0	0	2082
5	187,774	22420,19	1949	133	0	0	0	2082	0	0	0	2082
6	232,237	25247,1	1872	210	0	0	0	2082	0	0	0	2082
7	274,284	27487,77	1847	235	0	0	0	2082	0	0	0	2082
8	315,009	29321,63	1806	276	0	0	0	2080	2	0	0	2082
9	319,778	29497,8	1796	286	0	0	0	2078	4	0	0	2082
10	364,421	30626,16	1787	295	0	0	0	2030	52	0	0	2082
11	370,849	30797,53	1786	296	0	0	0	2016	66	0	0	2082
12	386,304	31045,14	1786	296	0	0	0	1987	95	0	0	2082
13	428,578	32196,82	1765	317	0	0	0	1928	154	0	0	2082
14	473,42	33186,4	1733	349	0	0	0	1897	185	0	0	2082
15	514,671	34076,28	1719	363	0	0	0	1891	191	0	0	2082
16	584,981	35403,11	1704	378	0	0	0	1861	221	0	0	2082
17	601,298	35796,54	1698	381	3	0	0	1852	230	0	0	2082
18	601,306	35532,26	1698	381	0	3	0	1852	227	3	0	2082
19	607,266	35717,59	1695	383	1	3	0	1852	227	3	0	2082

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.170 dan Gambar 4.83, diketahui bahwa pembentukan sendi plastis mulai terjadi pada step ke-3, saat struktur

mengalami perpindahan sebesar 145,942 mm dengan gaya geser dasar mencapai 18.554,881 kN. Hal ini menunjukkan bahwa struktur mulai memasuki fase nonlinier, di mana sebagian elemen telah melewati kondisi elastis dan mulai mengalami plastisasi. Seiring peningkatan pembebanan, jumlah dan distribusi sendi plastis terus berkembang hingga analisis pushover berhenti pada step ke-18. Pada tahap ini, struktur telah mengalami perpindahan maksimum sebesar 607,266 mm. Meskipun deformasi yang terjadi cukup besar, tidak ditemukan elemen yang mencapai kondisi *Collapse Prevention* (CP).

$$\begin{aligned}\mu_x &= \Delta u_x / \Delta y_x \\ &= 607,266 \text{ mm} / 145,942 \text{ mm} \\ &= 4,1610 \text{ (Berada pada Kategori Daktail Parsial Berdasarkan SNI} \\ &\quad \text{1726:2002 Pasal 4.3.4 dan Tabel 2)}\end{aligned}$$



Gambar 4. 84 Grafik Kurva *Pushover* Pemodelan Gedung B Arah Y
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 171 Distribusi Sendi *Plastis Pushover* Pemodelan Gedung B Arah Y

Step	Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0	0	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
1	40	6211,387	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
2	80	12422,77	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 171 Distribusi Sendi Plastis *Pushover* Pemodelan Gedung B
Arah Y (Lanjutan)

Step	Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
3	101,491	15759,98	2068	14	0	0	0	2082	0	0	0	2082
4	142,705	21155,77	1890	192	0	0	0	2082	0	0	0	2082
5	183,334	25201,18	1733	349	0	0	0	2082	0	0	0	2082
6	224,618	28765,88	1656	426	0	0	0	2082	0	0	0	2082
7	267,574	32182,39	1562	520	0	0	0	2081	1	0	0	2082
8	301,021	34272,99	1529	553	0	0	0	2073	9	0	0	2082
9	342,651	36314,32	1477	605	0	0	0	2018	64	0	0	2082
10	387,141	38381,68	1428	654	0	0	0	1931	151	0	0	2082
11	427,141	40284,39	1407	675	0	0	0	1854	228	0	0	2082
12	472,141	42325,83	1401	681	0	0	0	1821	261	0	0	2082
13	512,141	44230,77	1379	703	0	0	0	1804	278	0	0	2082
14	557,141	46176,27	1356	723	1	2	0	1755	325	2	0	2082
15	558,576	46249,1	1356	723	1	2	0	1753	327	2	0	2082

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

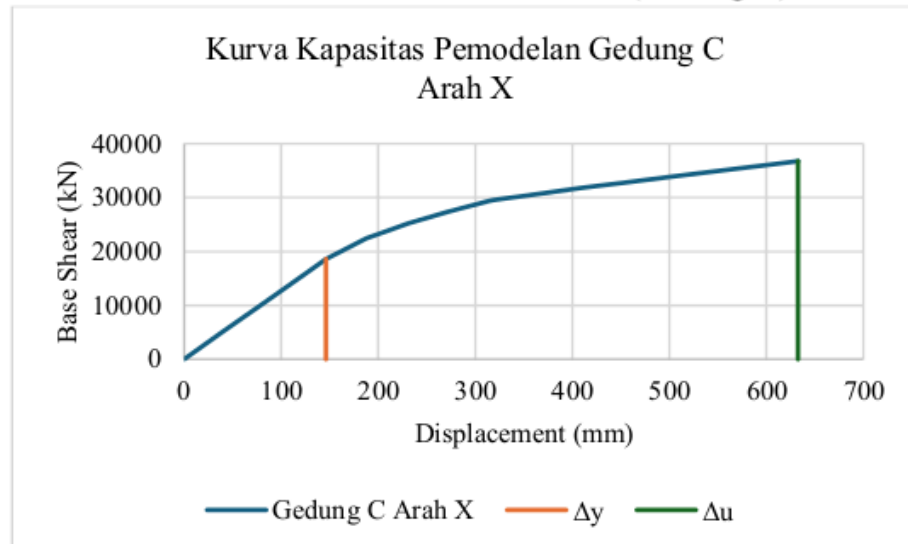
Berdasarkan Tabel 4.171 dan Gambar 4.84, diketahui bahwa pembentukan sendi plastis mulai terjadi pada step ke-3, saat struktur mengalami perpindahan sebesar 101,491 mm dengan gaya geser dasar mencapai 15.759,983 kN. Hal ini menunjukkan bahwa struktur mulai memasuki fase nonlinier, di mana sebagian elemen telah melewati kondisi elastis dan mulai mengalami plastisasi. Seiring peningkatan pembebanan, jumlah dan distribusi sendi plastis terus berkembang hingga analisis pushover berhenti pada step ke-15. Pada tahap ini, struktur telah mengalami perpindahan maksimum sebesar 558,576 mm. Meskipun deformasi yang terjadi cukup besar, tidak ditemukan elemen yang mencapai kondisi *Collapse Prevention* (CP).

$$\mu_y = \Delta u_y / \Delta y_y$$

$$= 558,576 \text{ mm} / 101,491 \text{ mm}$$

= 5,5037 (Berada pada Kategori Daktail Penuh Berdasarkan SNI 1726:2002 Pasal 4.3.4 dan Tabel 2)

3. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 2 (Gedung C)



Gambar 4. 85 Grafik Kurva *Pushover* Pemodelan Gedung C Arah X
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 172 Distribusi Sendi Plastis *Pushover* Pemodelan Gedung C
Arah X

Step	Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0	0	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
1	40	5086,084	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
2	80	10172,17	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
3	120	15258,24	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
4	146,143	18582,35	2074	8	0	0	0	2082	0	0	0	2082
5	187,76	22424,13	1950	132	0	0	0	2082	0	0	0	2082
6	231,184	25208,96	1872	210	0	0	0	2082	0	0	0	2082
7	271,556	27391,87	1850	232	0	0	0	2082	0	0	0	2082
8	313,417	29317,72	1806	276	0	0	0	2082	0	0	0	2082
9	318,859	29538,48	1792	290	0	0	0	2082	0	0	0	2082
10	366,298	30713,55	1788	294	0	0	0	2022	60	0	0	2082

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 172 Distribusi Sendi Plastis *Pushover* Pemodelan Gedung C
Arah *X* (Lanjutan)

Step	Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
11	409,608	31783,14	1776	306	0	0	0	1960	122	0	0	2082
12	456,312	32861,97	1736	346	0	0	0	1898	184	0	0	2082
13	501,134	33873,54	1726	356	0	0	0	1898	184	0	0	2082
14	550,581	34968,53	1706	376	0	0	0	1872	210	0	0	2082
15	600,565	36049,97	1696	386	0	0	0	1852	230	0	0	2082
16	619,181	36475,27	1692	390	0	0	0	1852	230	0	0	2082
17	619,189	36465,54	1692	390	0	0	0	1852	230	0	0	2082
18	632,653	36769,02	1690	390	2	0	0	1852	230	0	0	2082

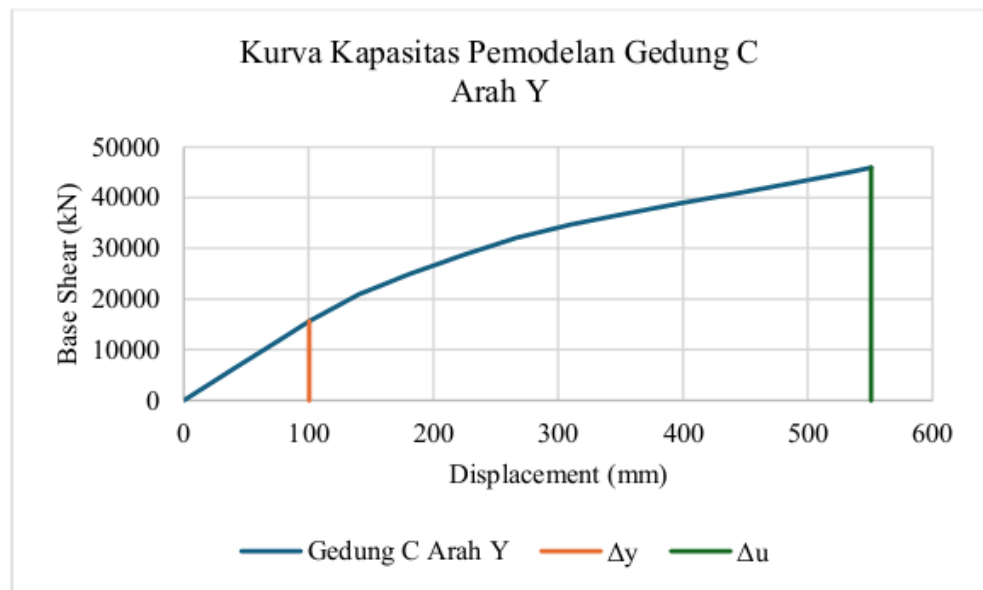
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.172 dan Gambar 4.85, diketahui bahwa pembentukan sendi plastis mulai terjadi pada step ke-4, saat struktur mengalami perpindahan sebesar 146,143 mm dengan gaya geser dasar mencapai 18.582,35 kN. Hal ini menunjukkan bahwa struktur mulai memasuki fase nonlinier, di mana sebagian elemen telah melewati kondisi elastis dan mulai mengalami plastisasi. Seiring peningkatan pembebanan, jumlah dan distribusi sendi plastis terus berkembang hingga analisis pushover berhenti pada step ke-18. Pada tahap ini, struktur telah mengalami perpindahan maksimum sebesar 632,653 mm. Meskipun deformasi yang terjadi cukup besar, tidak ditemukan elemen yang mencapai kondisi *Collapse Prevention* (CP).

$$\mu_x = \Delta u_x / \Delta y_x$$

$$= 632,653 \text{ mm} / 146,143 \text{ mm}$$

$$= 4,3290 \text{ (Berada pada Kategori Daktail Parsial Berdasarkan SNI 1726:2002 Pasal 4.3.4 dan Tabel 2)}$$



Gambar 4. 86 Grafik Kurva *Pushover* Pemodelan Gedung C Arah Y
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 173 Distribusi Sendi *Plastis Pushover* Pemodelan Gedung C
Arah Y

Step	Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0	0	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
1	40	6212,779	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
2	80	12425,56	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
3	100,483	15607,04	2078	4	0	0	0	2082	0	0	0	2082
4	140,48	20923,2	1892	190	0	0	0	2082	0	0	0	2082
5	180,724	24970,64	1748	334	0	0	0	2082	0	0	0	2082
6	224,104	28721,33	1653	429	0	0	0	2082	0	0	0	2082
7	266,207	32061,88	1561	521	0	0	0	2080	2	0	0	2082
8	311,112	34749,07	1518	564	0	0	0	2056	26	0	0	2082
9	354,641	36843,31	1465	617	0	0	0	2010	72	0	0	2082
10	399,54	38958,58	1419	663	0	0	0	1916	166	0	0	2082
11	440,098	40730,41	1400	682	0	0	0	1846	236	0	0	2082
12	480,098	42520,91	1394	688	0	0	0	1820	262	0	0	2082
13	530,098	44894,27	1376	706	0	0	0	1786	296	0	0	2082

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 173 Distribusi Sendi Plastis *Pushover* Pemodelan Gedung C
Arah Y (Lanjutan)

Step	Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
14	550,736	45918,69	1367	713	2	0	0	1759	322	1	0	2082

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

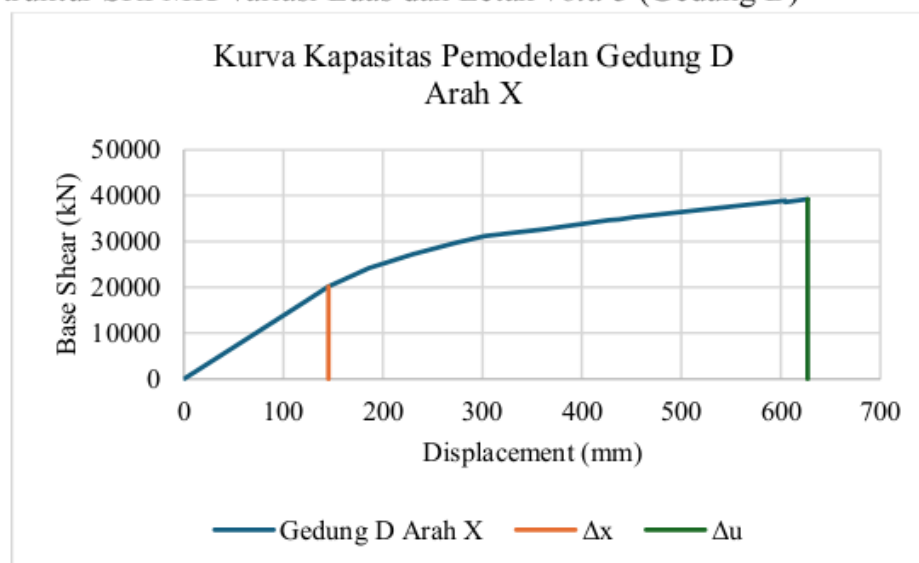
Berdasarkan Tabel 4.173 dan Gambar 4.86, diketahui bahwa pembentukan sendi plastis mulai terjadi pada step ke-3, saat struktur mengalami perpindahan sebesar 100,483 mm dengan gaya geser dasar mencapai 15.607,04 kN. Hal ini menunjukkan bahwa struktur mulai memasuki fase nonlinier, di mana sebagian elemen telah melewati kondisi elastis dan mulai mengalami plastisasi. Seiring peningkatan pembebanan, jumlah dan distribusi sendi plastis terus berkembang hingga analisis pushover berhenti pada step ke-14. Pada tahap ini, struktur telah mengalami perpindahan maksimum sebesar 550,736 mm. Meskipun deformasi yang terjadi cukup besar, tidak ditemukan elemen yang mencapai kondisi *Collapse Prevention* (CP).

$$\mu_y = \Delta u_y / \Delta y_y$$

$$= 550,736 \text{ mm} / 100,483 \text{ mm}$$

$$= 5,4809 \text{ (Berada pada Kategori Daktail Penuh Berdasarkan SNI 1726:2002 Pasal 4.3.4 dan Tabel 2)}$$

4. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 3 (Gedung D)



Gambar 4. 87 Grafik Kurva *Pushover* Pemodelan Gedung D Arah X
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

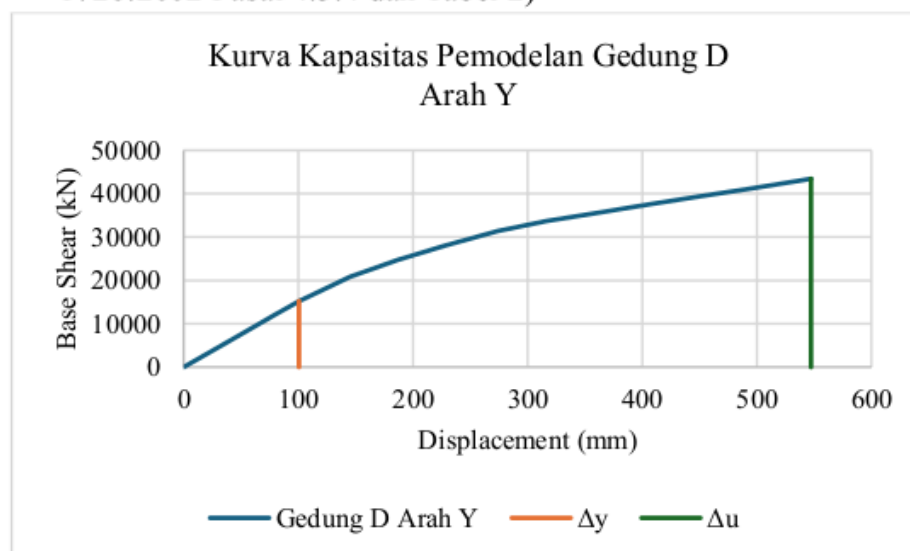
Tabel 4. 174 Distribusi Sendi Plastis *Pushover* Pemodelan Gedung D
Arah *X*

Step	Monitored Displacement	14 Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0	0	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
1	40	5546,407	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
2	80	11092,81	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
3	120	16639,21	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
4	145,332	20151,72	2070	12	0	0	0	2082	0	0	0	2082
5	185,915	24214,33	1924	158	0	0	0	2082	0	0	0	2082
6	230,412	27269,26	1854	228	0	0	0	2082	0	0	0	2082
7	273,771	29772,2	1826	256	0	0	0	2082	0	0	0	2082
8	302,7	31174,61	1778	304	0	0	0	2082	0	0	0	2082
9	363,742	32712,23	1762	320	0	0	0	1999	83	0	0	2082
10	405,971	34009,85	1750	332	0	0	0	1928	154	0	0	2082
11	426,731	34629,86	1742	340	0	0	0	1892	190	0	0	2082
12	437,324	34821,16	1740	342	0	0	0	1888	194	0	0	2082
13	454,398	35340,51	1726	356	0	0	0	1882	200	0	0	2082
14	462,397	35500,46	1716	366	0	0	0	1882	200	0	0	2082
15	506,015	36581,52	1690	392	0	0	0	1882	200	0	0	2082
16	553,692	37695,35	1674	408	0	0	0	1862	220	0	0	2082
17	594,924	38659,45	1656	426	0	0	0	1836	246	0	0	2082
18	604,484	38882,7	1652	429	1	0	0	1832	250	0	0	2082
19	604,492	38616,55	1652	428	0	2	0	1832	248	2	0	2082
20	626,885	39235,28	1644	432	4	2	0	1832	248	2	0	2082

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.174 dan Gambar 4.87, diketahui bahwa pembentukan sendi plastis mulai terjadi pada step ke-4, saat struktur mengalami perpindahan sebesar 145,332 mm dengan gaya geser dasar mencapai 20.151,72 kN. Hal ini menunjukkan bahwa struktur mulai memasuki fase nonlinier, di mana sebagian elemen telah melewati kondisi elastis dan mulai mengalami plastisasi. Seiring peningkatan pembebanan, jumlah dan distribusi sendi plastis terus berkembang hingga analisis pushover berhenti pada step ke-19. Pada tahap ini, struktur telah mengalami perpindahan maksimum sebesar 626,885 mm. Meskipun deformasi yang terjadi cukup besar, tidak ditemukan elemen yang mencapai kondisi *Collapse Prevention* (CP).

$$\begin{aligned}\mu_x &= \Delta u_x / \Delta y_x \\ &= 626,885 \text{ mm} / 145,332 \text{ mm} \\ &= 4,3135 \text{ (Berada pada Kategori Daktail Parsial Berdasarkan SNI} \\ &\quad \text{1726:2002 Pasal 4.3.4 dan Tabel 2)}\end{aligned}$$



Gambar 4. 88 Grafik Kurva *Pushover* Pemodelan Gedung D Arah Y
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 175 Distribusi Sendi *Plastis Pushover* Pemodelan Gedung D Arah Y

Step	Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0	0	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
1	40	6058,858	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 175 Distribusi Sendi Plastis *Pushover* Pemodelan Gedung D Arah Y (Lanjutan)

Step	Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
2	80	12117,72	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
3	100,603	15238,47	2078	4	0	0	0	2082	0	0	0	2082
4	144,977	20825,43	1864	218	0	0	0	2082	0	0	0	2082
5	186,975	24742,86	1703	379	0	0	0	2082	0	0	0	2082
6	228,253	28062,46	1620	462	0	0	0	2082	0	0	0	2082
7	273,611	31366,05	1530	552	0	0	0	2080	2	0	0	2082
8	315,722	33667,42	1477	605	0	0	0	2046	36	0	0	2082
9	357,923	35474,89	1426	656	0	0	0	2000	82	0	0	2082
10	406,725	37570,65	1389	693	0	0	0	1904	178	0	0	2082
11	451,725	39421,3	1369	713	0	0	0	1844	238	0	0	2082
12	491,725	41078,48	1356	726	0	0	0	1806	276	0	0	2082
13	531,725	42743,38	1339	743	0	0	0	1778	304	0	0	2082
14	547,276	43429,64	1329	751	2	0	0	1759	323	0	0	2082

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

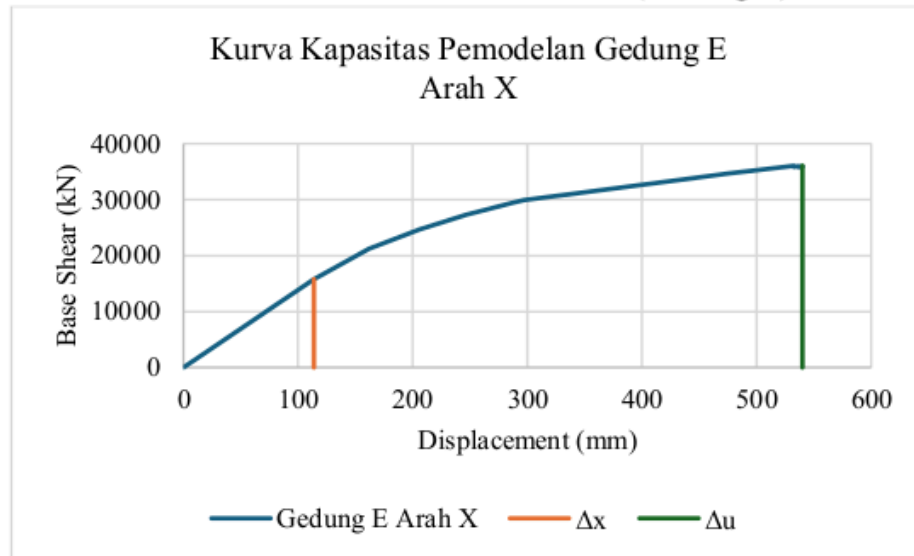
Berdasarkan Tabel 4.175 dan Gambar 4.88, diketahui bahwa pembentukan sendi plastis mulai terjadi pada step ke-3, saat struktur mengalami perpindahan sebesar 100,603 mm dengan gaya geser dasar mencapai 15.238,47 kN. Hal ini menunjukkan bahwa struktur mulai memasuki fase nonlinier, di mana sebagian elemen telah melewati kondisi elastis dan mulai mengalami plastisasi. Seiring peningkatan pembebanan, jumlah dan distribusi sendi plastis terus berkembang hingga analisis pushover berhenti pada step ke-14. Pada tahap ini, struktur telah mengalami perpindahan maksimum sebesar 547,276 mm. Meskipun deformasi yang terjadi cukup besar, tidak ditemukan elemen yang mencapai kondisi *Collapse Prevention* (CP).

$$\mu_y = \Delta u_y / \Delta y_y$$

$$= 547,276 \text{ mm} / 100,603 \text{ mm}$$

= 5,4400 (Berada pada Kategori Daktail Penuh Berdasarkan SNI 1726:2002 Pasal 4.3.4 dan Tabel 2)

5. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 4 (Gedung E)



Gambar 4. 89 Grafik Kurva *Pushover* Pemodelan Gedung E Arah X
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 176 Distribusi Sendi Plastis *Pushover* Pemodelan Gedung E Arah X

Step	Monitored Displacement	14 Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0	0	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
1	40	5545,929	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
2	80	11091,87	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
3	113,787	15776,32	2080	2	0	0	0	2082	0	0	0	2082
4	162,075	21222,82	1966	116	0	0	0	2082	0	0	0	2082
5	205,701	24689,17	1898	184	0	0	0	2082	0	0	0	2082
6	246,673	27283,8	1852	230	0	0	0	2082	0	0	0	2082
7	287,613	29485,08	1820	262	0	0	0	2072	10	0	0	2082
8	297,413	29941,28	1803	279	0	0	0	2064	18	0	0	2082

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 176 Distribusi Sendi Plastis *Pushover* Pemodelan Gedung E Arah *X* (Lanjutan)

Step	Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
9	345,062	31208,94	1762	320	0	0	0	2011	71	0	0	2082
10	389,281	32382,16	1752	330	0	0	0	1940	142	0	0	2082
11	431,538	33519,07	1742	340	0	0	0	1897	185	0	0	2082
12	475,204	34689,66	1727	355	0	0	0	1882	200	0	0	2082
13	522,212	35777,77	1689	393	0	0	0	1875	207	0	0	2082
14	532,521	36059,88	1686	395	1	0	0	1874	208	0	0	2082
15	532,529	35855,24	1686	395	0	1	0	1874	207	1	0	2082
16	536,596	35996,18	1686	394	1	1	0	1873	208	1	0	2082
17	536,604	35832,1	1686	394	0	2	0	1873	207	2	0	2082
18	538,643	35927,86	1686	393	1	2	0	1872	208	2	0	2082
19	539,084	35941	1686	393	1	2	0	1872	208	2	0	2082
20	539,094	35941,6	1686	393	1	2	0	1872	208	2	0	2082
21	539,968	35965,11	1685	394	1	2	0	1872	208	2	0	2082

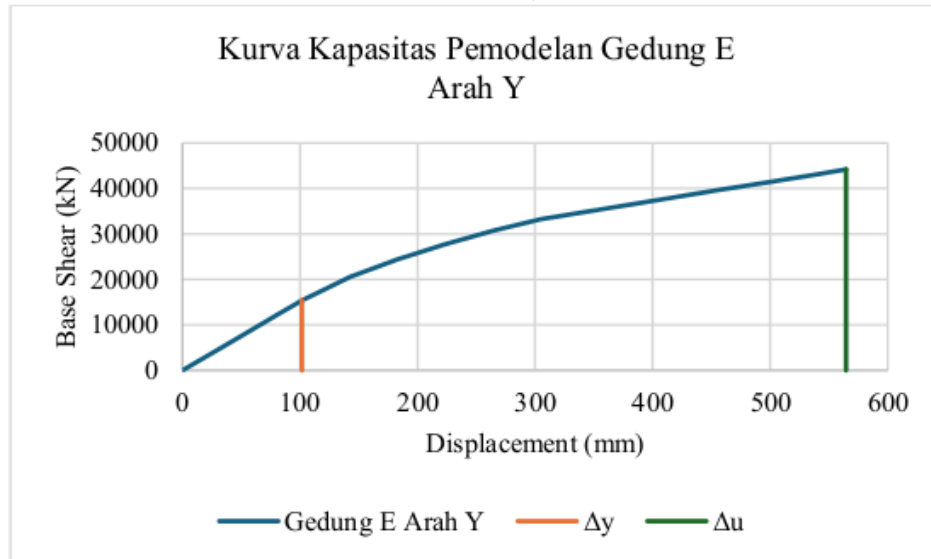
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.176 dan Gambar 4.89, diketahui bahwa pembentukan sendi plastis mulai terjadi pada step ke-3, saat struktur mengalami perpindahan sebesar 113,787 mm dengan gaya geser dasar mencapai 15.776,32 kN. Hal ini menunjukkan bahwa struktur mulai memasuki fase nonlinier, di mana sebagian elemen telah melewati kondisi elastis dan mulai mengalami plastisasi. Seiring peningkatan pembebanan, jumlah dan distribusi sendi plastis terus berkembang hingga analisis pushover berhenti pada step ke-21. Pada tahap ini, struktur telah mengalami perpindahan maksimum sebesar 539,968 mm. Meskipun deformasi yang terjadi cukup besar, tidak ditemukan elemen yang mencapai kondisi *Collapse Prevention* (CP).

$$\mu_x = \Delta u_x / \Delta y_x$$

$$= 539,968 \text{ mm} / 113,787 \text{ mm}$$

= 4,7454 (Berada pada Kategori Daktail Parsial Berdasarkan SNI 1726:2002 Pasal 4.3.4 dan Tabel 2)



Gambar 4. 90 Grafik Kurva *Pushover* Pemodelan Gedung E Arah Y
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 177 Distribusi Sendi *Plastis Pushover* Pemodelan Gedung E
Arah Y

Step	Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
0	0	0	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
1	40	6058,201	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
2	80	12116,4	2082	0	0	0	0	2082	0	0	0	2082
3	101,619	15390,67	2069	13	0	0	0	2082	0	0	0	2082
4	142,68	20586,1	1884	198	0	0	0	2082	0	0	0	2082
5	182,685	24389,34	1718	364	0	0	0	2082	0	0	0	2082
6	223,138	27685,58	1639	443	0	0	0	2082	0	0	0	2082
7	263,945	30733,09	1544	538	0	0	0	2082	0	0	0	2082
8	304,392	33211,72	1491	591	0	0	0	2061	21	0	0	2082
9	346,306	35016,01	1448	634	0	0	0	2017	65	0	0	2082
10	397,975	37206,02	1392	690	0	0	0	1917	165	0	0	2082

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Tabel 4. 177 Distribusi Sendi Plastis *Pushover* Pemodelan Gedung E Arah Y (Lanjutan)

Step	Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	mm	kN										
11	452,975	39533,28	1372	710	0	0	0	1846	236	0	0	2082
12	492,975	41197,07	1361	721	0	0	0	1805	277	0	0	2082
13	537,975	43059,11	1343	739	0	0	0	1771	311	0	0	2082
14	564,509	44198,46	1325	753	1	3	0	1746	333	3	0	2082

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.177 dan Gambar 4.90, diketahui bahwa pembentukan sendi plastis mulai terjadi pada step ke-3, saat struktur mengalami perpindahan sebesar 101,619 mm dengan gaya geser dasar mencapai 15.390,67 kN. Hal ini menunjukkan bahwa struktur mulai memasuki fase nonlinier, di mana sebagian elemen telah melewati kondisi elastis dan mulai mengalami plastisasi. Seiring peningkatan pembebanan, jumlah dan distribusi sendi plastis terus berkembang hingga analisis pushover berhenti pada step ke-14. Pada tahap ini, struktur telah mengalami perpindahan maksimum sebesar 564,509 mm. Meskipun deformasi yang terjadi cukup besar, tidak ditemukan elemen yang mencapai kondisi *Collapse Prevention* (CP).

$$\begin{aligned}
 \mu_y &= \Delta u_y / \Delta y_y \\
 &= 564,509 \text{ mm} / 101,619 \text{ mm} \\
 &= 5,5522 \text{ (Berada pada Kategori Daktail Penuh Berdasarkan SNI 1726:2002 Pasal 4.3.4 dan Tabel 2)}
 \end{aligned}$$

6. Rekapitulasi Setiap Pemodelan

Tabel 4. 178 Rekapitulasi Daktilitas Setiap Pemodelan

Variasi Pemodelan	Daktilitas (μ)		Tingkat Daktilitas	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Gedung A	5,2664	4,9912	Daktail Penuh	Daktail Parsial
Gedung B	4,1610	5,5037	Daktail Parsial	Daktail Penuh
Gedung C	4,3290	5,4809	Daktail Parsial	Daktail Penuh
Gedung D	4,3135	5,4400	Daktail Parsial	Daktail Penuh
Gedung E	4,7454	5,5552	Daktail Parsial	Daktail Penuh

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.168 hingga Tabel 4.178 serta Gambar 4.81 hingga Gambar 4.90, dapat diketahui bahwa tingkat daktilitas struktur pada seluruh variasi pemodelan, baik pada model tanpa *void* maupun model dengan variasi luas dan letak *void* berada dalam kategori daktil. Nilai daktilitas (μ) pada arah *X* berkisar antara 4,1202 hingga 5,1989, sedangkan pada arah *Y* berada pada rentang 4,9892 hingga 5,5552. Hasil ini menunjukkan bahwa sebagian besar model memiliki perilaku daktil parsial hingga daktil penuh, dengan kecenderungan arah *Y* lebih dominan mencapai kategori daktil penuh dibandingkan arah *X*. Kondisi ini mengindikasikan bahwa struktur memiliki kemampuan deformasi plastis yang cukup baik sebelum mencapai kondisi runtuh, sehingga mampu menyerap dan mendisipasikan energi gempa secara efektif. Selain itu, variasi luas dan letak *void* tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan kapasitas daktilitas, meskipun terdapat perbedaan nilai antar model.

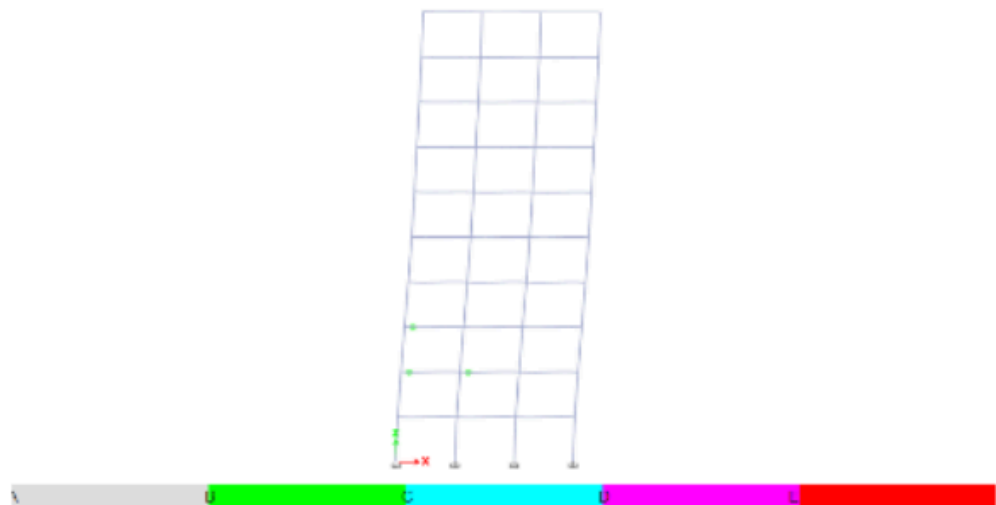
4.7.4 Mekanisme Sendi Plastis

Sendi plastis merupakan lokasi pada elemen struktur yang mengalami pelelehan akibat beban yang melampaui kapasitas elastisnya, sehingga elemen tersebut mulai berperilaku inelastik dan mengalami deformasi permanen. Dalam analisis pushover, pembentukan sendi plastis menjadi indikator penting untuk memahami respons struktur terhadap pembebanan bertahap. Melalui pola dan urutan terbentuknya sendi plastis, dapat diidentifikasi elemen mana yang terlebih dahulu mengalami plastisasi, sehingga mekanisme keruntuhan struktur dapat dievaluasi secara menyeluruh. Tahap ini sangat penting untuk memastikan apakah perilaku struktur telah sesuai dengan konsep perencanaan, seperti prinsip *strong column-weak beam*, di mana pelelehan diharapkan terjadi pada balok terlebih dahulu sebelum kolom. Selain itu, distribusi sendi plastis juga memberikan gambaran mengenai tingkat kinerja struktur serta potensi kerusakan yang mungkin terjadi.

1. Struktur SRPMK Tanpa *Void* (Gedung A)

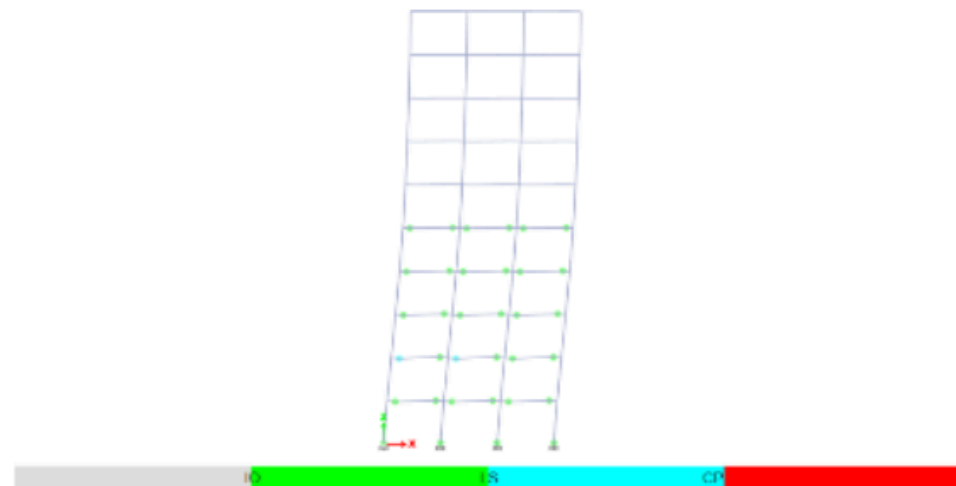
Pada pemodelan Gedung A arah *X*, sendi plastis mulai terbentuk pada elemen balok pada step ke-3 dengan gaya geser dasar sebesar 16.829,27 kN dan perpindahan sekitar 114,619 mm, yang menunjukkan awal terjadinya pelelehan dan peralihan perilaku struktur dari elastis ke inelastis. Seiring peningkatan pembebanan, gaya geser dasar terus bertambah hingga mencapai kondisi maksimum pada step ke-16, di mana beberapa elemen balok telah memasuki tahap *Collapse Prevention (CP)*

yang menandakan struktur mulai mendekati kapasitas ultimitnya. Pada arah Y , pembentukan sendi plastis pertama terjadi pada step ke-4 dengan gaya geser dasar sebesar 19.650,14 kN dan perpindahan sebesar 134,441 mm, kemudian berkembang hingga mencapai kondisi maksimum pada step ke-21, di mana elemen balok juga telah mencapai tingkat *Collapse Prevention (CP)*. Secara keseluruhan, pola ini menunjukkan bahwa pelelehan didominasi oleh elemen balok, sehingga masih sesuai dengan prinsip perencanaan struktur tahan gempa yang mengutamakan mekanisme *strong column-weak beam*.



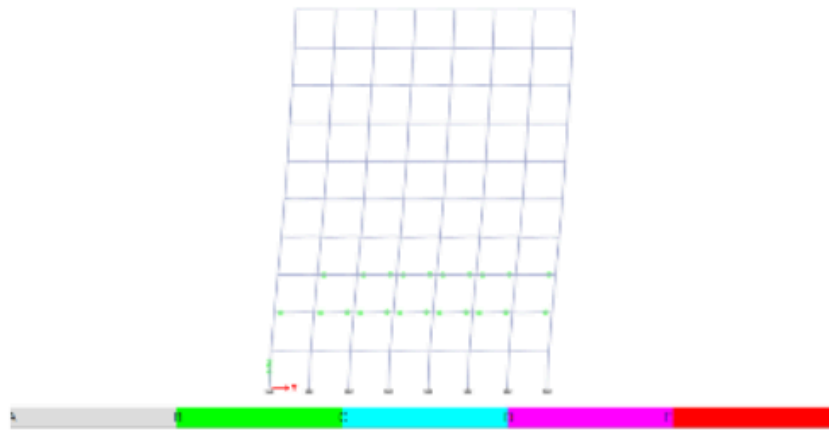
Gambar 4. 91 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung A Arah X
Step 3

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



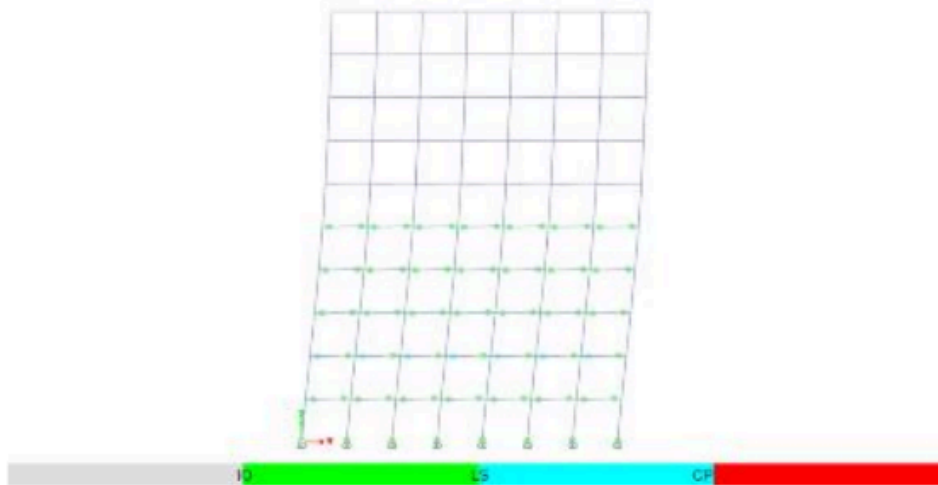
Gambar 4. 92 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung A Arah X
Step 16

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 93 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung A Arah *Y*
Step 4

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

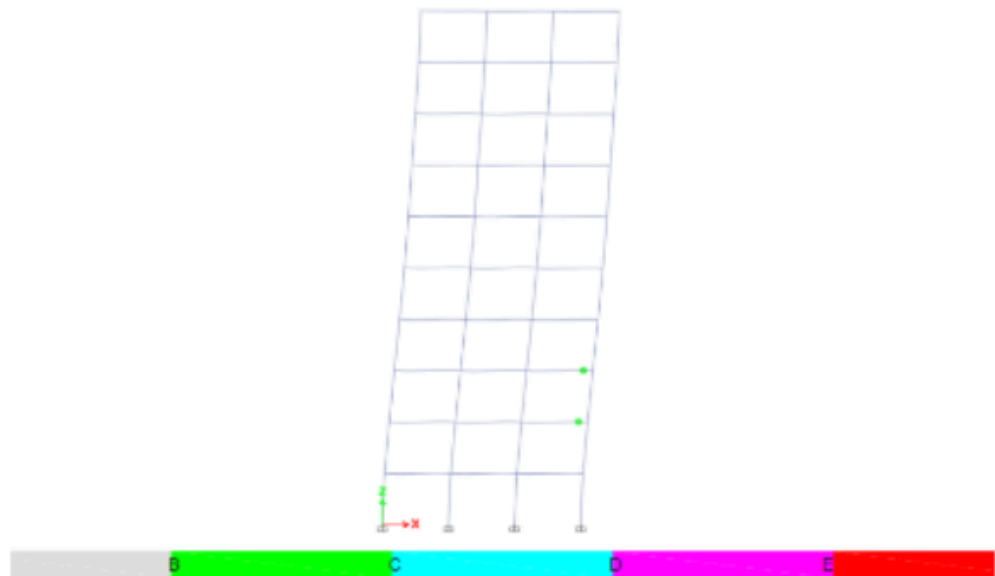


Gambar 4. 94 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung A Arah *Y*
Step 21

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

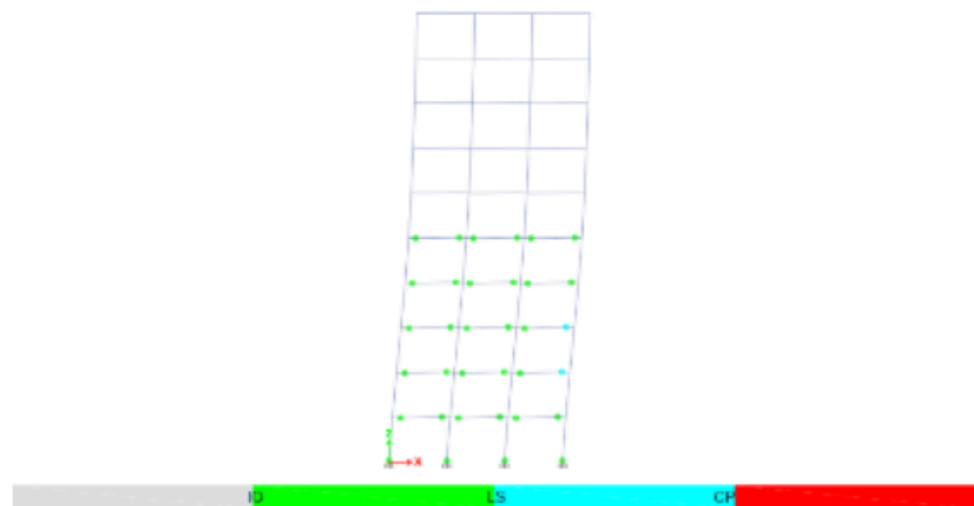
2. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 1 (Gedung B)
 Pada pemodelan Gedung B arah *X*, sendi plastis mulai terbentuk pada elemen balok pada step ke-4 dengan gaya geser dasar sebesar 18.554,88 kN dan perpindahan sekitar 145,942 mm, yang menunjukkan awal terjadinya pelelehan dan peralihan perilaku struktur dari elastis ke inelastis. Seiring peningkatan pembebanan, gaya geser dasar terus bertambah hingga mencapai kondisi maksimum pada step ke-18, di mana beberapa elemen balok telah memasuki tahap *Collapse Prevention (CP)* yang menandakan struktur mulai mendekati kapasitas ultimitnya. Pada arah *Y*, pembentukan sendi plastis pertama terjadi pada step ke-3 dengan gaya geser dasar sebesar 15.759,98 kN dan perpindahan sebesar 101,491

mm, kemudian berkembang hingga mencapai kondisi maksimum pada step ke-14, di mana elemen balok juga telah mencapai tingkat *Collapse Prevention (CP)*. Secara keseluruhan, pola ini menunjukkan bahwa pelelehan didominasi oleh elemen balok, sehingga masih sesuai dengan prinsip perencanaan struktur tahan gempa yang mengutamakan mekanisme *strong column-weak beam*.



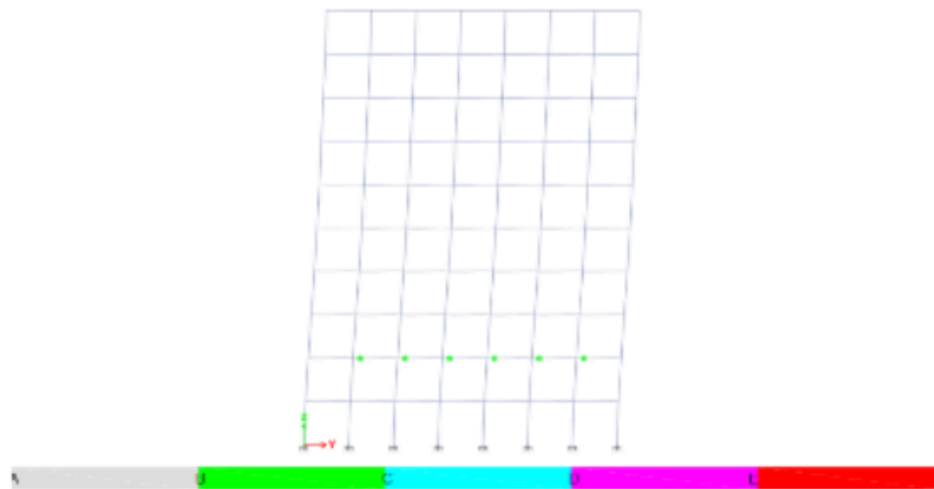
Gambar 4. 95 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung B Arah *X*
Step 4

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 96 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung B Arah *X*
Step 18

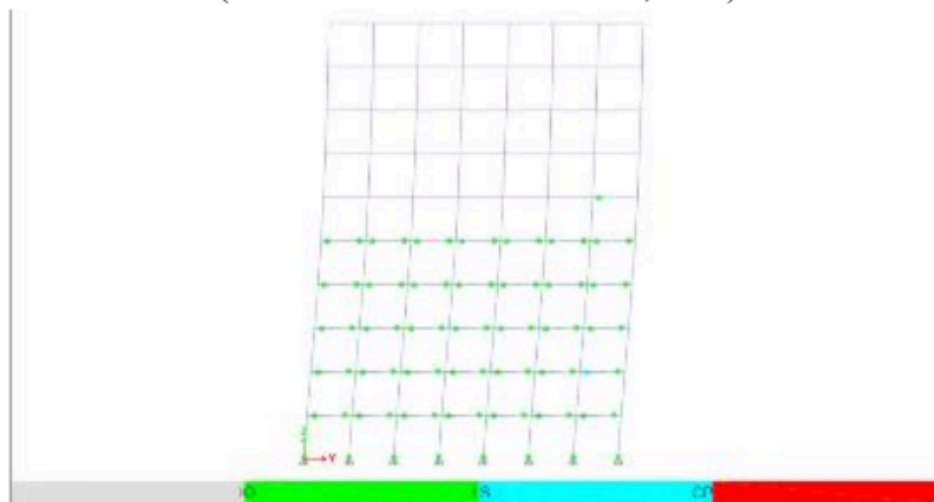
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 97 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung B Arah *Y*

Step 3

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 98 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung B Arah *Y*

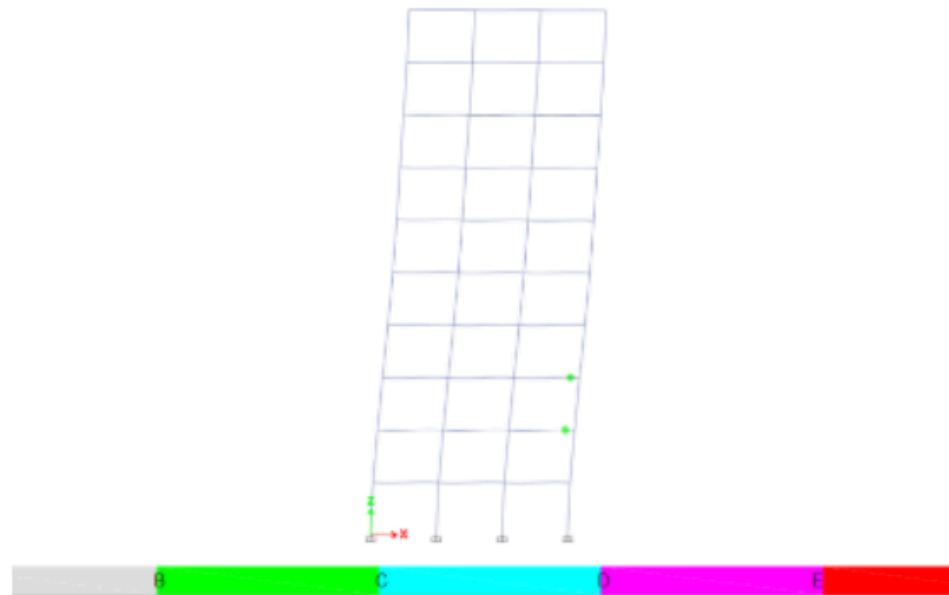
Step 14

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

3. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void 2* (Gedung C)

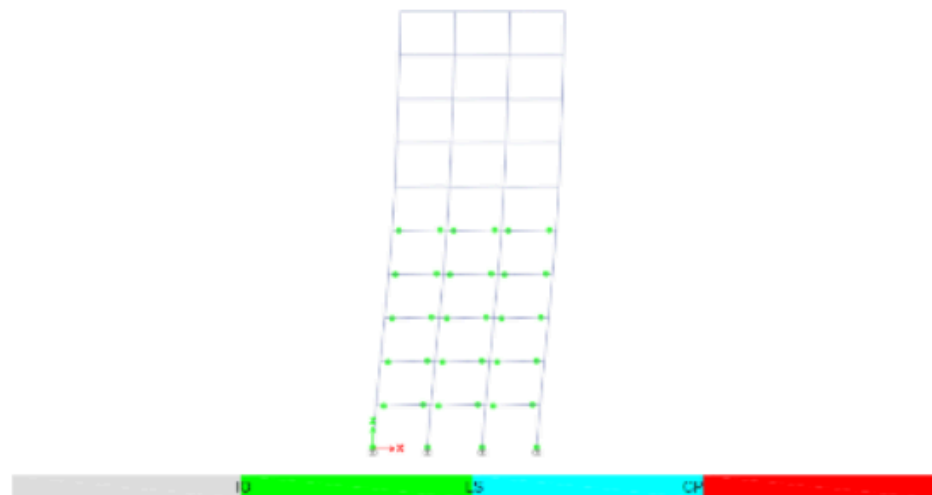
Pada pemodelan Gedung C arah *X*, sendi plastis mulai terbentuk pada elemen balok pada step ke-4 dengan gaya geser dasar sebesar 18.582,35 kN dan perpindahan sekitar 146,143 mm, yang menunjukkan awal terjadinya pelelehan dan peralihan perilaku struktur dari elastis ke inelastis. Seiring peningkatan pembebanan, gaya geser dasar terus bertambah hingga mencapai kondisi maksimum pada step ke-18, di mana beberapa elemen balok telah memasuki tahap *Collapse Prevention (CP)* yang menandakan struktur mulai mendekati kapasitas ultimitnya. Pada arah *Y*, pembentukan sendi plastis pertama terjadi pada step ke-3 dengan

gaya geser dasar sebesar 15.607,04 kN dan perpindahan sebesar 100,483 mm, kemudian berkembang hingga mencapai kondisi maksimum pada step ke-14, di mana elemen balok juga telah mencapai tingkat *Collapse Prevention (CP)*. Secara keseluruhan, pola ini menunjukkan bahwa pelelehan didominasi oleh elemen balok, sehingga masih sesuai dengan prinsip perencanaan struktur tahan gempa yang mengutamakan mekanisme *strong column-weak beam*.



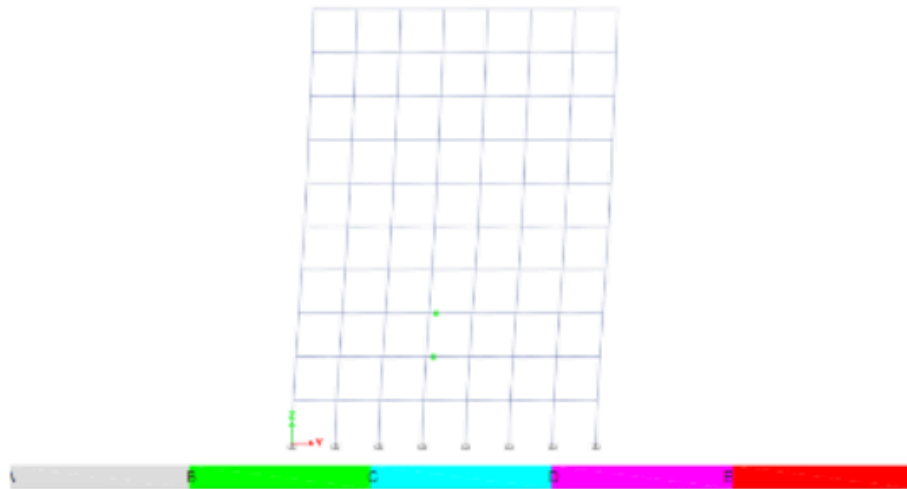
Gambar 4. 99 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung C Arah *X*
Step 4

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



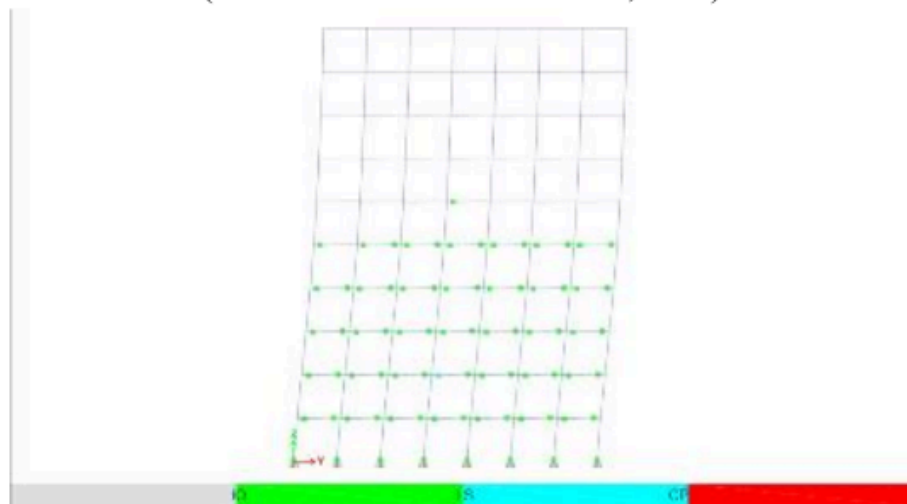
Gambar 4. 100 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung C Arah *X*
Step 18

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 101 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung C Arah Y
Step 3

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



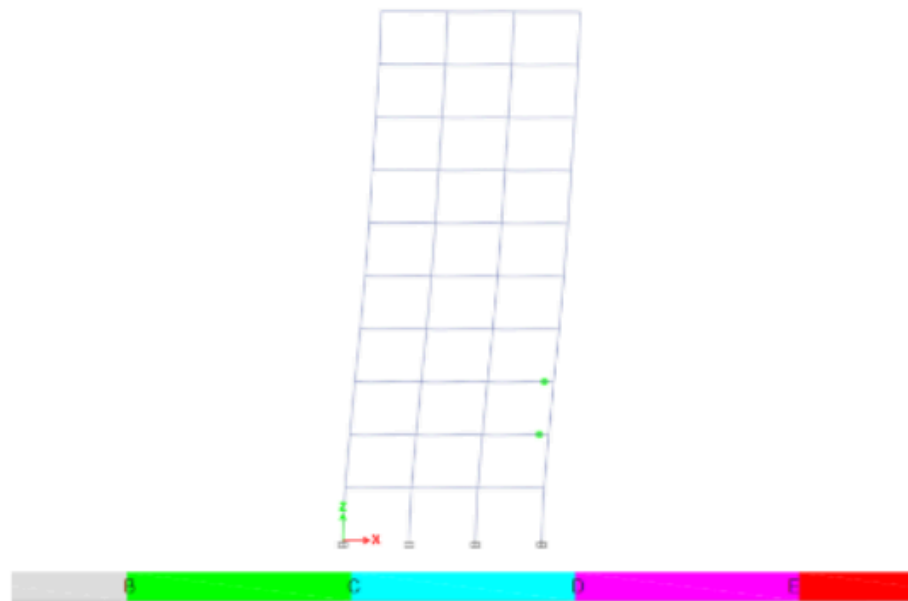
Gambar 4. 102 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung C Arah Y
Step 14

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 3 (Gedung D)

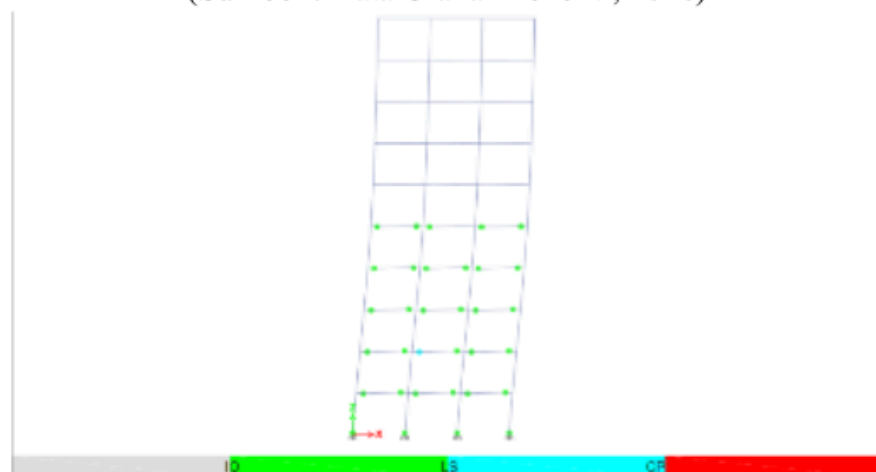
Pada pemodelan Gedung D arah *X*, sendi plastis mulai terbentuk pada elemen balok pada step ke-4 dengan gaya geser dasar sebesar 20.151,72 kN dan perpindahan sekitar 145,332 mm, yang menunjukkan awal terjadinya pelelehan dan peralihan perilaku struktur dari elastis ke inelastis. Seiring peningkatan pembebanan, gaya geser dasar terus bertambah hingga mencapai kondisi maksimum pada step ke-19, di mana beberapa elemen balok telah memasuki tahap *Collapse Prevention (CP)* yang menandakan struktur mulai mendekati kapasitas ultimitnya. Pada

arah Y , pembentukan sendi plastis pertama terjadi pada step ke-3 dengan gaya geser dasar sebesar 15.238,47 kN dan perpindahan sebesar 100,603 mm, kemudian berkembang hingga mencapai kondisi maksimum pada step ke-14, di mana elemen balok juga telah mencapai tingkat *Collapse Prevention (CP)*. Secara keseluruhan, pola ini menunjukkan bahwa pelelehan didominasi oleh elemen balok, sehingga masih sesuai dengan prinsip perencanaan struktur tahan gempa yang mengutamakan mekanisme *strong column-weak beam*.



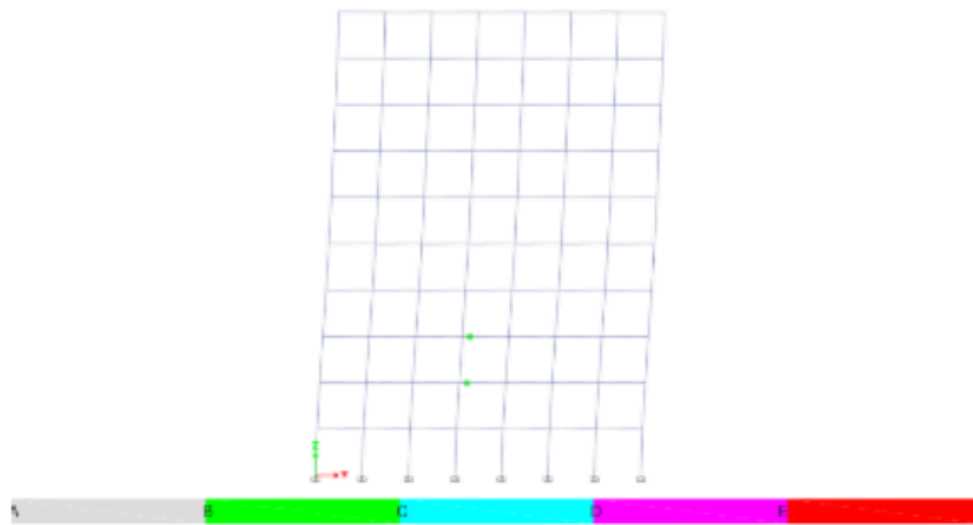
Gambar 4. 103 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung D Arah X
Step 4

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



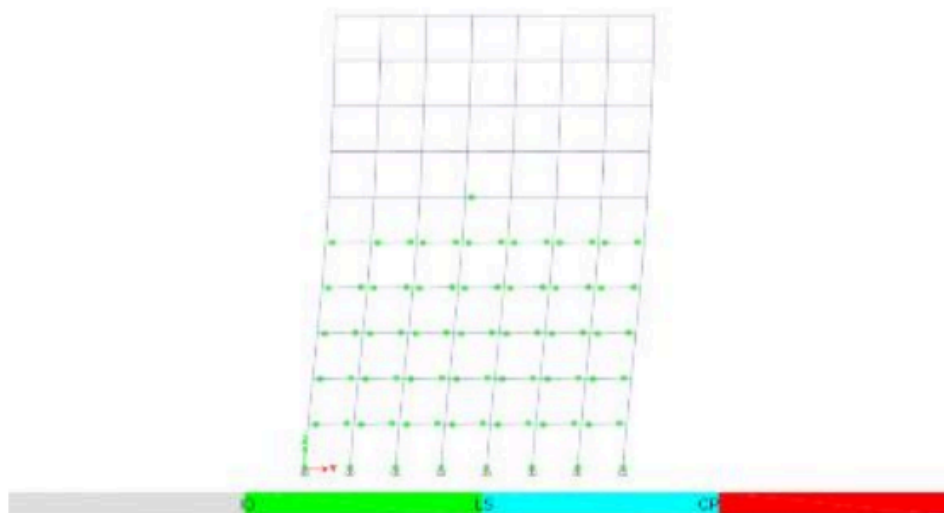
Gambar 4. 104 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung D Arah X
Step 19

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 105 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung D Arah Y
Step 3

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

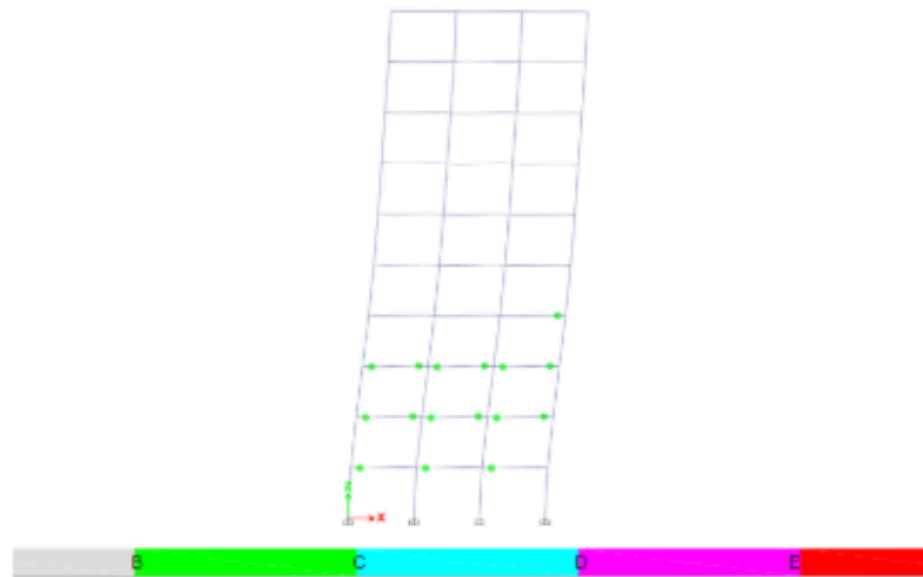


Gambar 4. 106 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung D Arah Y
Step 14

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

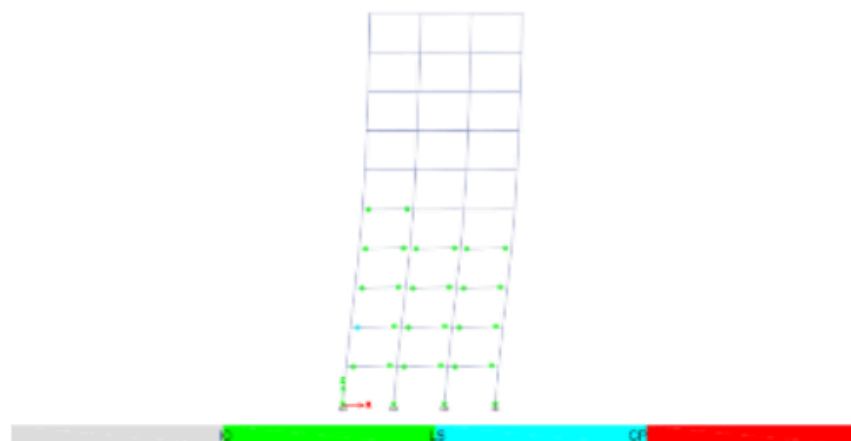
5. Struktur SRPMK Variasi Luas dan Letak *Void* 4 (Gedung E)
Pada pemodelan Gedung E arah X, sendi plastis mulai terbentuk pada elemen balok pada step ke-3 dengan gaya geser dasar sebesar 15.776,32 kN dan perpindahan sekitar 113,787 mm, yang menunjukkan awal terjadinya pelelehan dan peralihan perilaku struktur dari elastis ke inelastis. Seiring peningkatan pembebanan, gaya geser dasar terus bertambah hingga mencapai kondisi maksimum pada step ke-15, di mana beberapa elemen balok telah memasuki tahap *Collapse Prevention (CP)*

yang menandakan struktur mulai mendekati kapasitas ultimitnya. Pada arah Y , pembentukan sendi plastis pertama terjadi pada step ke-3 dengan gaya geser dasar sebesar 15.390,67 kN dan perpindahan sebesar 101,619 mm, kemudian berkembang hingga mencapai kondisi maksimum pada step ke-14, di mana elemen balok juga telah mencapai tingkat *Collapse Prevention (CP)*. Secara keseluruhan, pola ini menunjukkan bahwa pelelehan didominasi oleh elemen balok, sehingga masih sesuai dengan prinsip perencanaan struktur tahan gempa yang mengutamakan mekanisme *strong column-weak beam*.



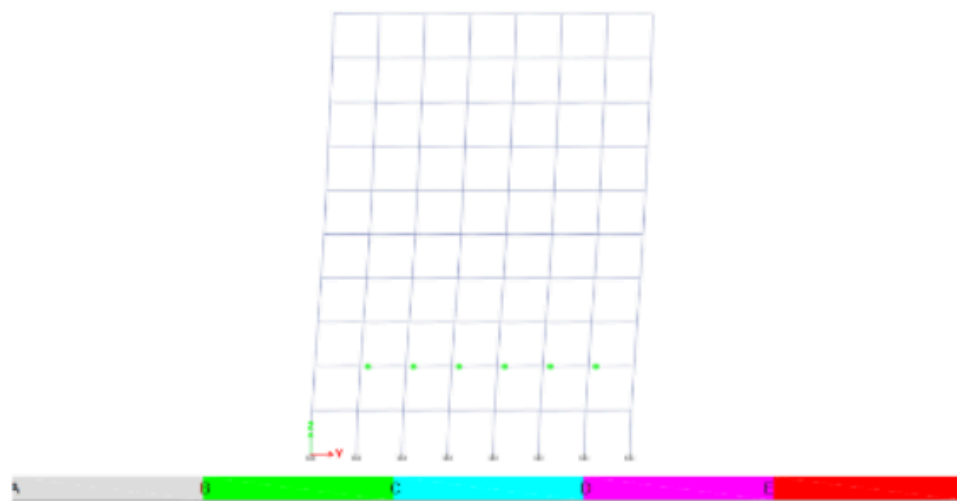
Gambar 4. 107 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung E Arah X
Step 3

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



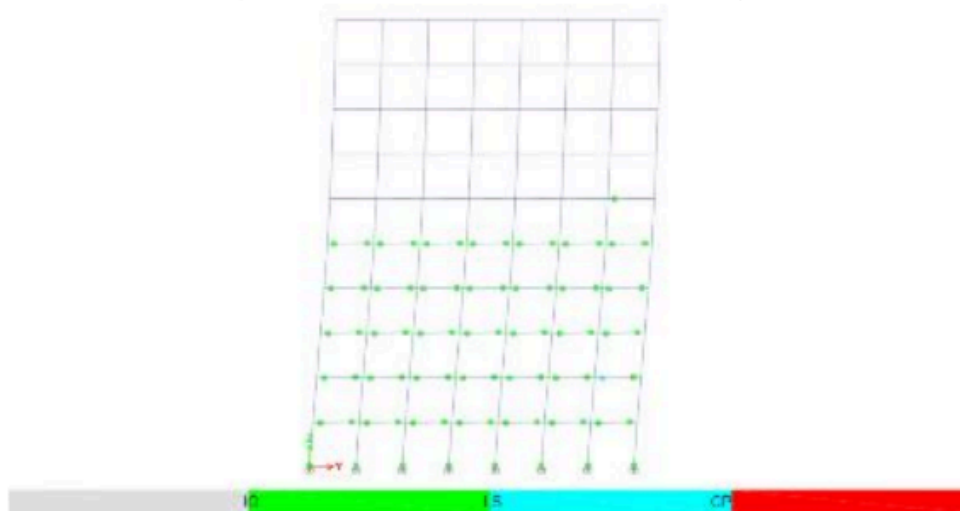
Gambar 4. 108 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung E Arah X
Step 15

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 109 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung E Arah *Y*
Step 3

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

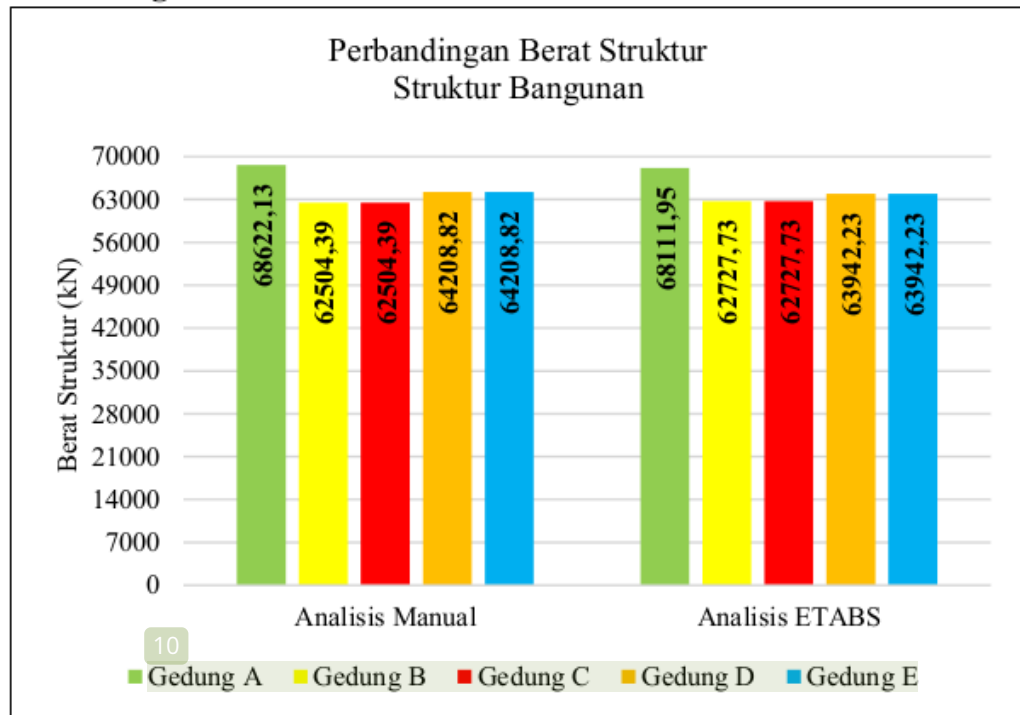


Gambar 4. 110 Mekanisme Sendi Plastis Pemodelan Gedung E Arah *Y*
Step 14

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

4.8 Rekapitulasi Perbandingan Struktur

4.8.1 Perbandingan Berat Struktur



Gambar 4. 111 Grafik Perbandingan Berat Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4.111, diperoleh bahwa nilai berat struktur bangunan antara hasil analisis manual dan analisis menggunakan ETABS pada setiap variasi pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E menunjukkan hasil yang saling mendekati. Secara umum, seluruh model memiliki nilai yang relatif seragam dengan perbedaan yang tidak signifikan. Pada analisis manual, Gedung A memiliki berat struktur sebesar 68621,13 kN, Gedung B dan C masing-masing sebesar 62504,39 kN, serta Gedung D dan E sebesar 64208,82 kN. Sementara itu, hasil analisis ETABS menunjukkan bahwa berat struktur Gedung A sebesar 68111,95 kN, Gedung B dan C sebesar 62727,73 kN, serta Gedung D dan E sebesar 63942,23 kN.

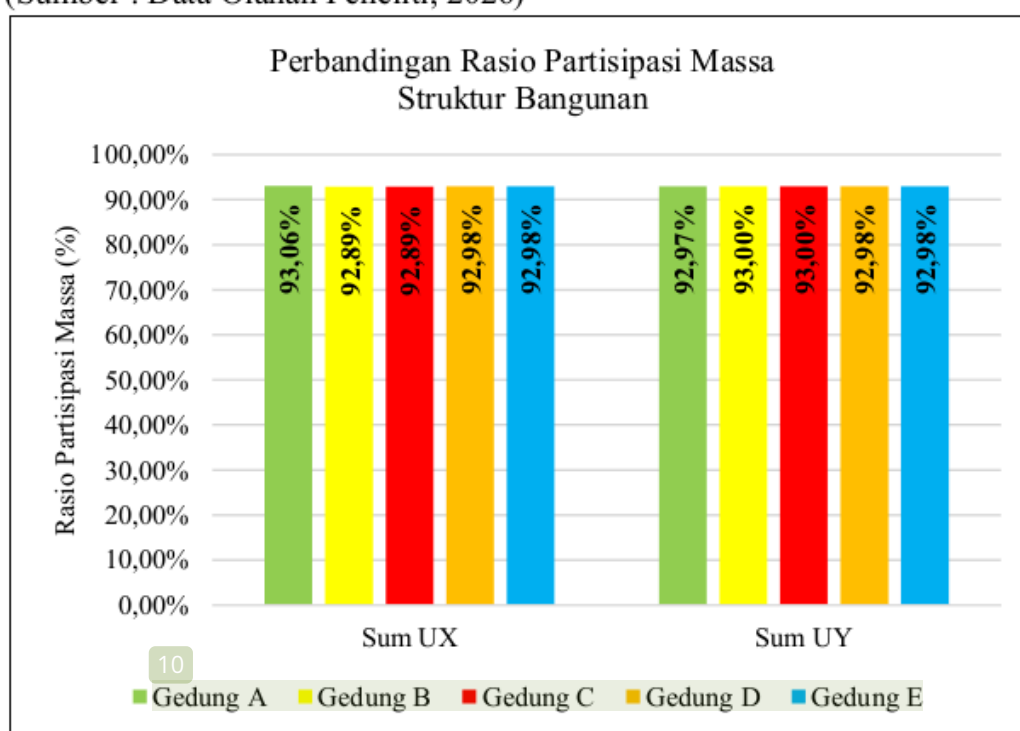
Hasil ini menunjukkan bahwa perbedaan berat struktur antara metode manual dan ETABS tidak signifikan, yaitu berada pada rentang 0,36% hingga 0,74%. Selain itu, selisih nilai yang terjadi masih berada dalam batas toleransi yang diperkenankan. Dengan demikian, pemodelan menggunakan ETABS dapat dianggap memiliki tingkat akurasi yang baik dan konsisten terhadap perhitungan manual, sehingga layak digunakan sebagai dasar dalam analisis lanjutan struktur bangunan.

4.8.2 Perbandingan Partisipasi Massa

Tabel 4. 179 Perbandingan Rasio Partisipasi Massa Struktur Bangunan

Variasi Pemodelan	Sum _{UX}		Sum _{UY}	
	%	Modal	%	Modal
Gedung A	93,06%	11	92,97%	10
Gedung B	92,89%	10	93,00%	11
Gedung C	92,89%	10	93,00%	11
Gedung D	92,98%	10	92,98%	11
Gedung E	92,98%	10	92,98%	11

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 112 Grafik Perbandingan Rasio Partisipasi Massa Struktur Bangunan

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 4.179, diperoleh bahwa nilai rasio partisipasi massa pada setiap variasi pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E telah memenuhi ketentuan minimum sebesar 90% baik pada arah X maupun arah Y. Secara umum, seluruh model menunjukkan nilai yang relatif seragam dengan perbedaan yang tidak signifikan. Gedung A memiliki nilai sebesar 93,06% pada arah X dan 92,97% pada arah Y, sedangkan Gedung B, C, D, dan E berada pada kisaran 92,89% hingga 93,00%.

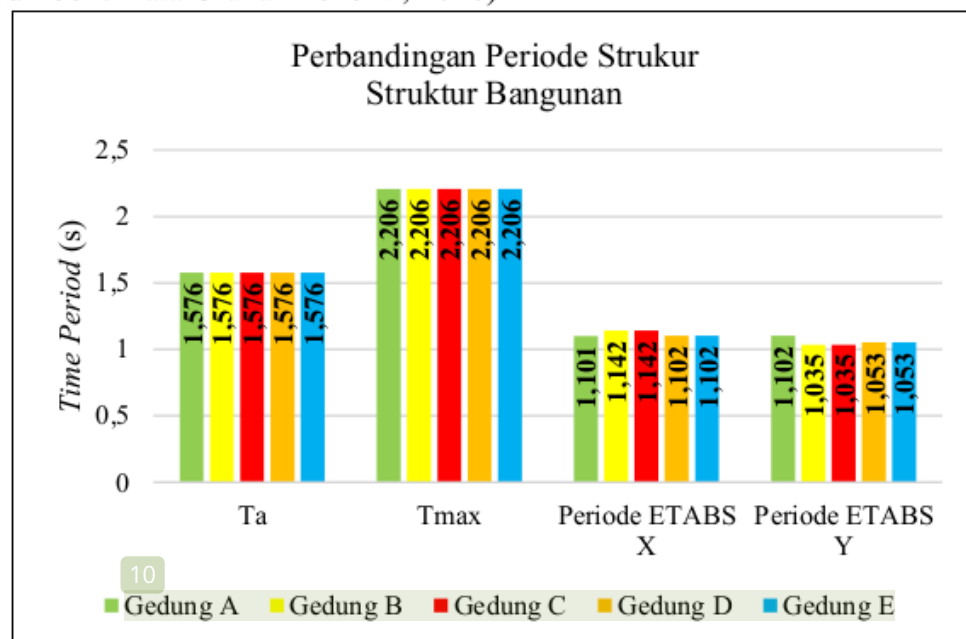
Hasil ini menunjukkan bahwa variasi luas dan letak *void* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap rasio partisipasi massa struktur. Selain itu, jumlah mode yang dibutuhkan untuk mencapai 90% partisipasi massa relatif sama pada setiap model, yaitu berkisar pada mode ke-10 hingga ke-11. Dengan demikian, seluruh pemodelan telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 dan dapat dianggap memiliki distribusi massa yang baik dalam merespons beban gempa.

4.8.3 Perbandingan Periode Fundamental

Tabel 4. 180 Perbandingan Periode Fundamental Struktur Bangunan

Variasi Pemodelan	Peiode Pendekatan (T_a)				Pakai
	T_a	T_{max}	$Periode_{ETABS}$		
			$Arah\ X$	$Arah\ Y$	
Gedung A	1,576	2,206	1,101	1,102	ETABS
Gedung B	1,576	2,206	1,142	1,035	ETABS
Gedung C	1,576	2,206	1,142	1,035	ETABS
Gedung D	1,576	2,206	1,102	1,053	ETABS
Gedung E	1,576	2,206	1,102	1,053	ETABS

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 113 Grafik Perbandingan Periode Fundamental Struktur Bangunan

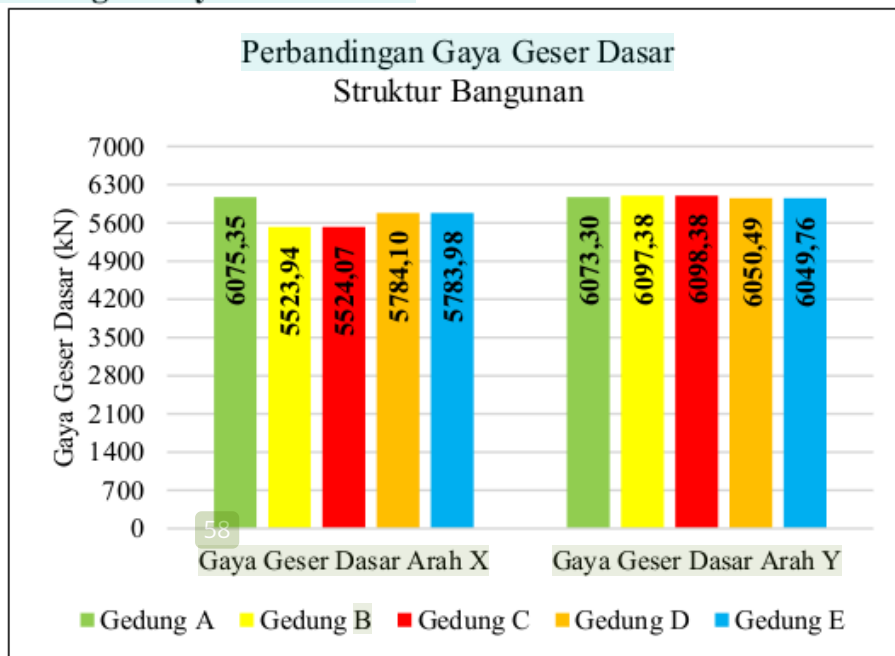
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 4.180, diperoleh bahwa nilai periode fundamental struktur pada setiap variasi pemodelan Gedung A, B, C,

D, dan E menunjukkan perbedaan yang relatif kecil. Secara umum, seluruh model memiliki nilai periode pendekatan (T_a) sebesar 1,576 s dan nilai batas maksimum (T_{max}) sebesar 2,206 s. Sementara itu, hasil analisis menggunakan ETABS menunjukkan variasi nilai periode pada arah X dan Y yang tidak terlalu signifikan antar model. Gedung A memiliki periode sebesar 1,101 s pada arah X dan 1,102 s pada arah Y, Gedung B dan C sebesar 1,142 s pada arah X dan 1,035 s pada arah Y, sedangkan Gedung D dan E masing-masing sebesar 1,102 s pada arah X dan 1,053 s pada arah Y.

Hasil ini menunjukkan bahwa variasi luas dan letak void memberikan pengaruh terhadap nilai periode fundamental struktur, meskipun perubahan yang terjadi tidak terlalu signifikan. Akan tetapi, pada arah X nilai T_{ETABS} diperoleh lebih besar karena ukuran elemen struktur pada arah X lebih besar, serta didukung oleh bentang struktur pada arah X yang lebih panjang, yang mengakibatkan ketidakseimbangan massa pada arah X. Selain itu, seluruh nilai periode hasil analisis ETABS masih berada di bawah batas maksimum (T_{max}), sehingga memenuhi ketentuan yang dipersyaratkan. Dengan demikian, seluruh pemodelan dapat dinyatakan aman dan memiliki karakteristik dinamik struktur yang masih dalam batas yang diizinkan.

4.8.4 Perbandingan Gaya Geser Dasar



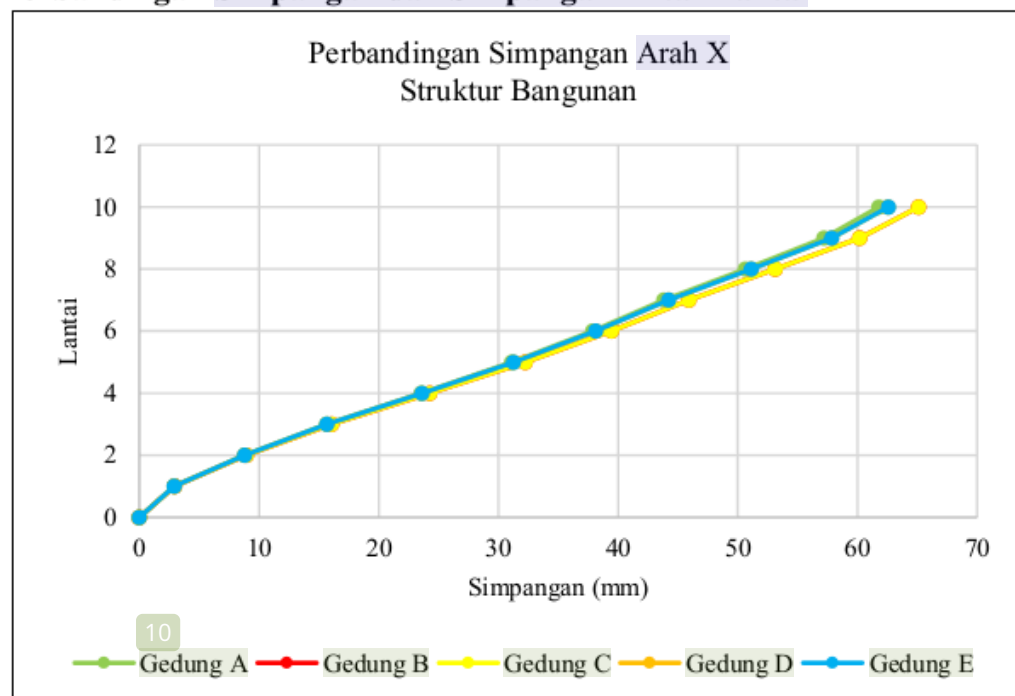
Gambar 4. 114 Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4.114, diperoleh bahwa nilai gaya geser dasar pada setiap variasi pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E

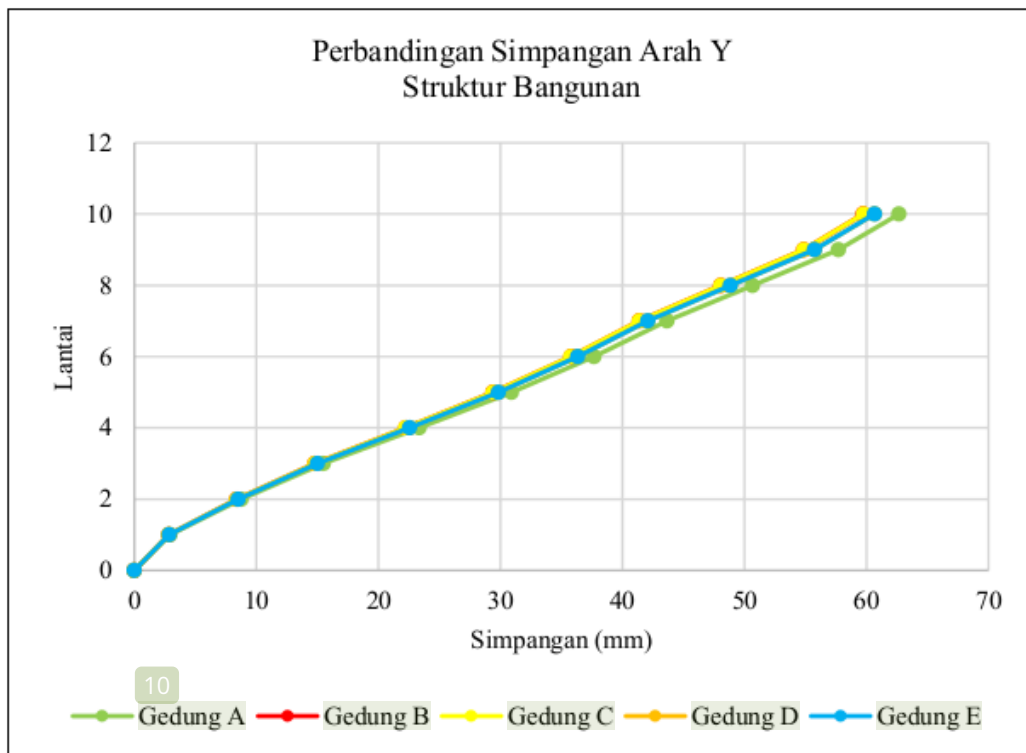
menunjukkan adanya perbedaan antar model pada arah X maupun arah Y . Secara umum, nilai gaya geser dasar arah Y cenderung lebih besar dibandingkan arah X pada seluruh pemodelan. Pada arah X , Gedung A memiliki nilai sebesar 6075,35 kN, Gedung B sebesar 5523,04 kN, Gedung C sebesar 5524,07 kN, Gedung D sebesar 5784,10 kN, dan Gedung E sebesar 5785,98 kN. Sementara itu, pada arah Y , Gedung A sebesar 6073,40 kN, Gedung B sebesar 6097,38 kN, Gedung C sebesar 6098,38 kN, Gedung D sebesar 6059,49 kN, serta Gedung E sebesar 6049,76 kN.

Hasil ini menunjukkan bahwa variasi luas dan letak *void* memberikan pengaruh terhadap besarnya gaya geser dasar struktur bangunan. Perbedaan nilai yang terjadi mengindikasikan adanya perubahan distribusi massa dan kekakuan struktur akibat variasi tersebut. Begitu pula yang terjadi pada gaya geser dasar arah X , yang memiliki perbedaan signifikan pada beberapa pemodelan gedung karena variasi letak dan luas *void* berpengaruh terhadap kekakuan. Kekakuan tersebut mengubah distribusi massa dan menimbulkan eksentrisitas, ditinjau dari nilai periode dan partisipasi massa. Dengan demikian, setiap pemodelan memiliki respons yang berbeda terhadap beban gempa, meskipun secara umum masih berada dalam kisaran nilai yang relatif berdekatan.

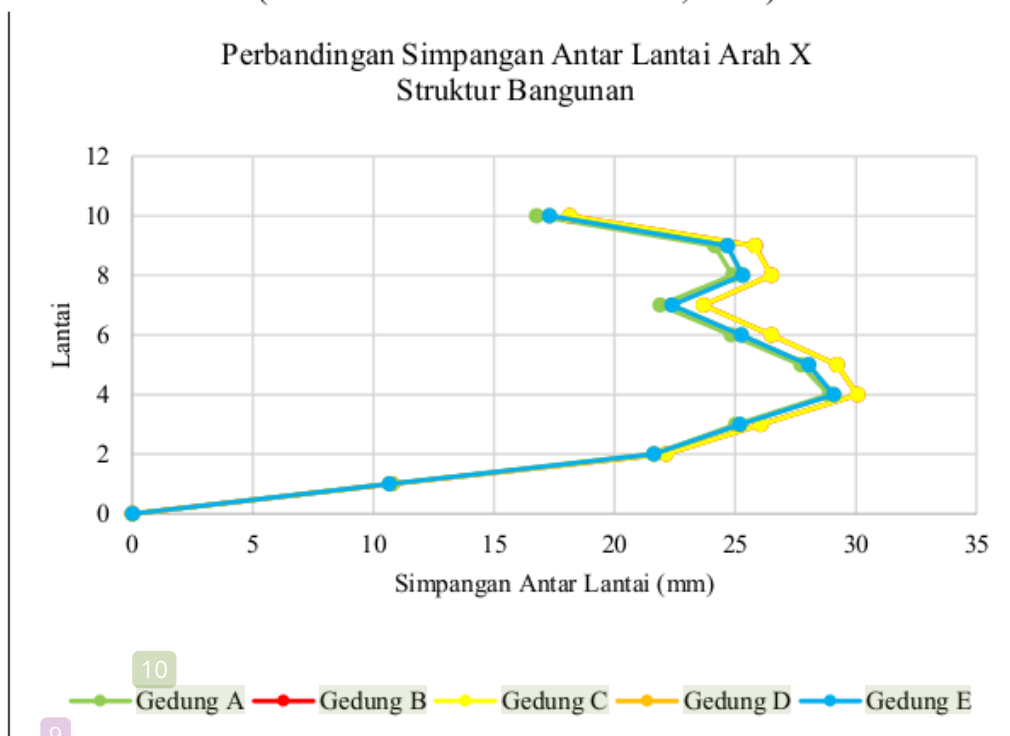
4.8.5 Perbandingan Simpangan dan Simpangan Antar Lantai



Gambar 4. 115 Grafik Perbandingan Simpangan Arah X Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 116 Grafik Perbandingan Simpangan Arah Y Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 117 Grafik Perbandingan Simpangan Antar Lantai Arah X
Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



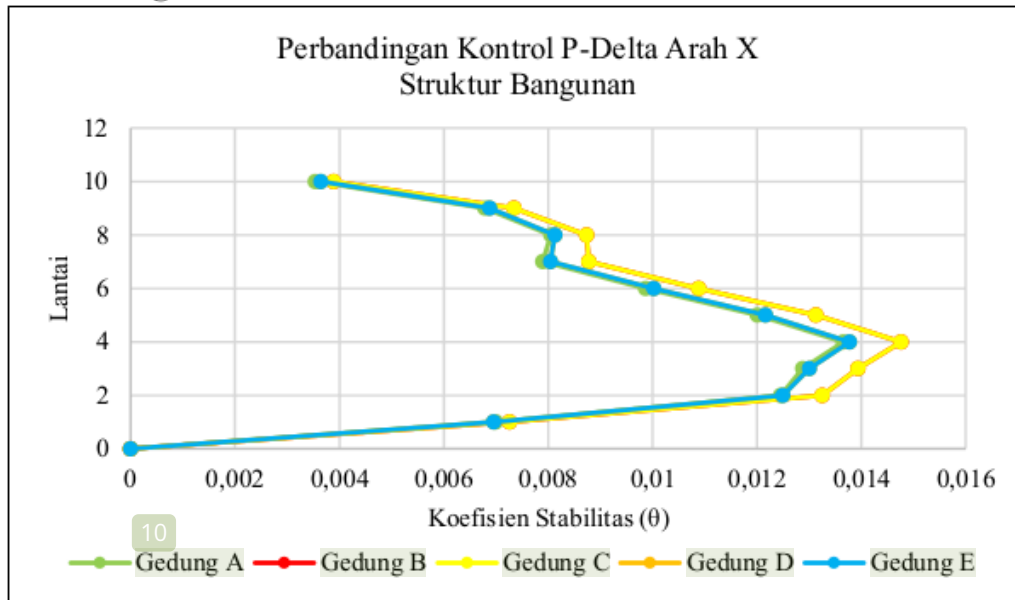
Gambar 4. 118 Grafik Perbandingan Simpangan Antar Lantai Arah Y
Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4.115 hingga Gambar 4.118, diperoleh bahwa nilai simpangan dan simpangan antar lantai pada setiap variasi pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E menunjukkan kecenderungan yang hampir seragam baik pada arah *X* maupun arah *Y*. Secara umum, nilai simpangan meningkat seiring bertambahnya ketinggian lantai, di mana simpangan maksimum terjadi pada lantai paling atas. Pada arah *X* dan *Y*, seluruh model menunjukkan pola distribusi simpangan yang relatif sama dengan perbedaan nilai yang tidak signifikan antar pemodelan, yaitu berkisar antara 1,5% hingga 4%. Variasi kecil yang terjadi disebabkan oleh perbedaan luas dan letak void yang memengaruhi kekakuan struktur. Sementara itu, untuk simpangan antar lantai, nilai maksimum cenderung terjadi pada lantai tengah hingga atas, yang menunjukkan adanya konsentrasi deformasi pada bagian tersebut, dengan perbedaan nilai simpangan antar lantai yang tidak signifikan antar pemodelan berkisar antara 3% hingga 8%.

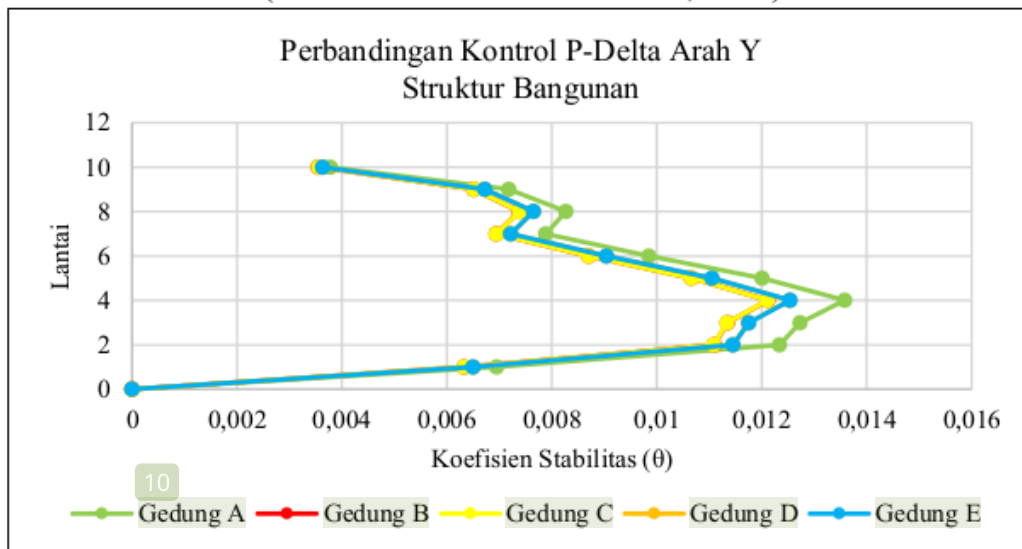
Hasil ini menunjukkan bahwa variasi luas dan letak void memberikan pengaruh terhadap nilai simpangan dan simpangan antar lantai, meskipun tidak menyebabkan perbedaan yang signifikan antar model. Kekakuan, massa, dan sistem struktur yang digunakan, yaitu SRPMK, relatif sama pada semua pemodelan. Meskipun variasi luas dan letak void memberikan perubahan pada kekakuan dan massa, kondisi tersebut masih menghasilkan respons gempa yang serupa sehingga berpengaruh kecil terhadap simpangan

dan simpangan antar lantai. Dengan demikian, seluruh pemodelan masih menunjukkan perilaku deformasi yang konsisten dan berada dalam batas kinerja struktur yang dapat diterima.

4.8.6 Perbandingan Efek P-Delta



Gambar 4. 119 Grafik Perbandingan P-Delta Arah X Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



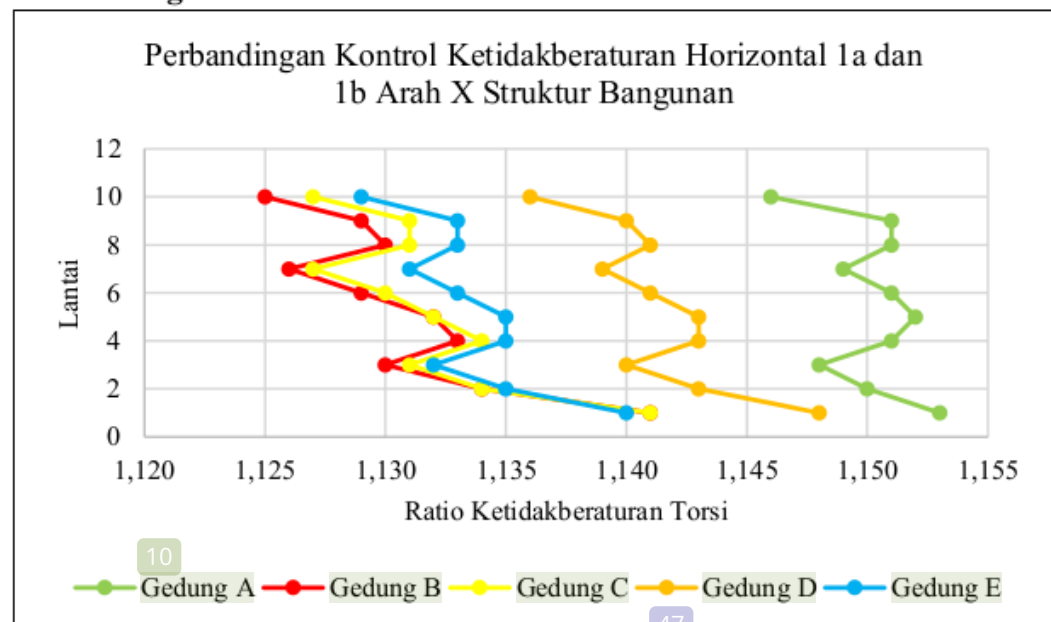
Gambar 4. 120 Grafik Perbandingan P-Delta Arah Y Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4.119 dan Gambar 4.120, diperoleh bahwa nilai koefisien stabilitas (θ) pada setiap variasi pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E menunjukkan adanya perbedaan antar model baik pada arah X maupun arah Y. Secara umum, pola grafik memperlihatkan

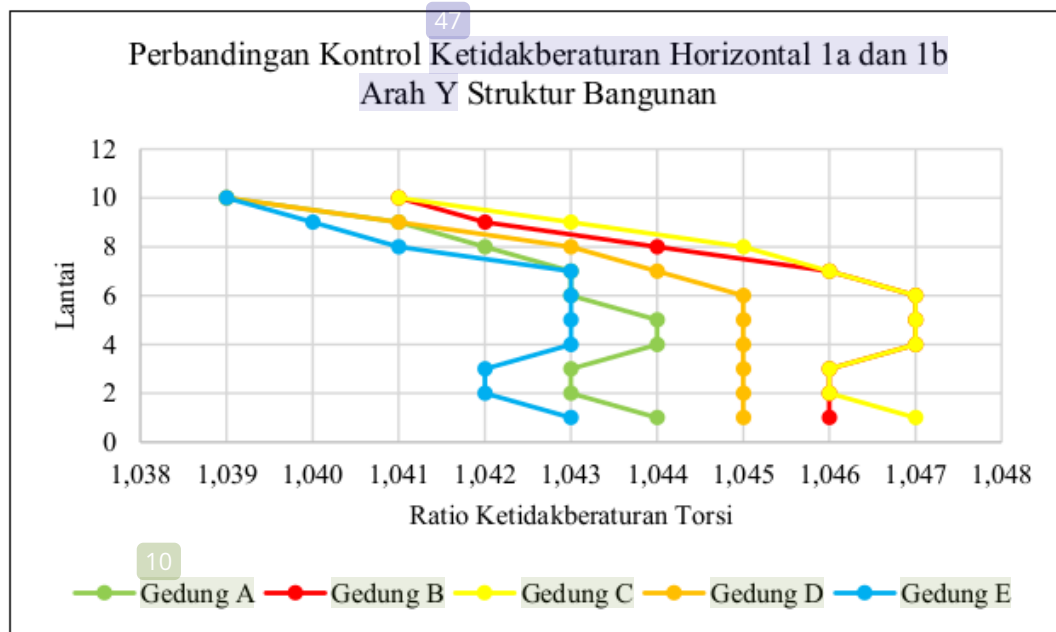
kecenderungan penurunan nilai koefisien stabilitas seiring dengan bertambahnya lantai, meskipun tingkat penurunan berbeda pada tiap gedung. Pada arah *X*, Gedung A dan Gedung D cenderung memiliki nilai koefisien stabilitas yang lebih rendah karena kekakuan struktur akibat distribusi massa yang lebih baik, ditambah variasi luas dan letak *void* yang lebih optimal dibandingkan Gedung B, C, dan E yang mengalami eksentrisitas serta ketidakseimbangan distribusi massa, sehingga berdampak pada nilai koefisien stabilitas. Sementara itu, pada arah *Y*, variasi antar gedung terlihat lebih berdekatan, dengan Gedung B dan Gedung C menunjukkan nilai yang relatif lebih tinggi dibandingkan gedung lainnya akibat kekakuan struktur sebagai dampak dari konfigurasi variasi luas dan letak *void* yang kurang optimal, sehingga menghasilkan nilai koefisien stabilitas yang meningkat.

Hasil ini menunjukkan bahwa variasi luas dan letak *void* memberikan pengaruh terhadap besarnya efek P-Delta yang terjadi pada masing-masing arah. Perbedaan nilai koefisien stabilitas mengindikasikan adanya variasi distribusi kekakuan dan massa struktur, sehingga setiap pemodelan memiliki respons yang berbeda terhadap beban lateral. Dengan demikian, meskipun seluruh gedung masih berada dalam batas stabilitas yang dapat diterima, variasi antar model tetap memberikan perbedaan perilaku struktur terhadap efek P-Delta.

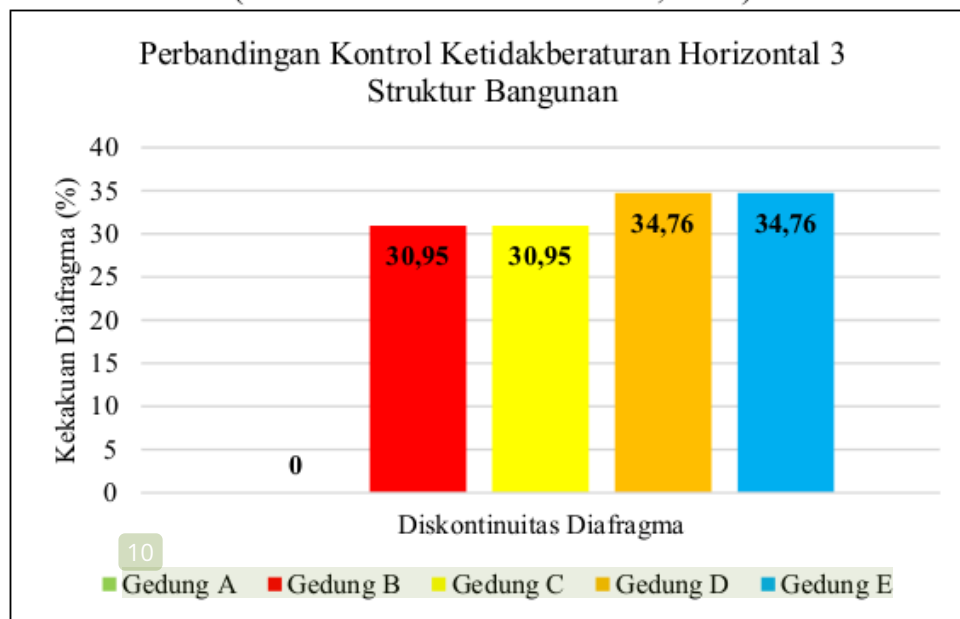
4.8.7 Perbandingan Ketidakberaturan Horizontal



Gambar 4. 121 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b Arah *X* Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 122 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b Arah Y Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



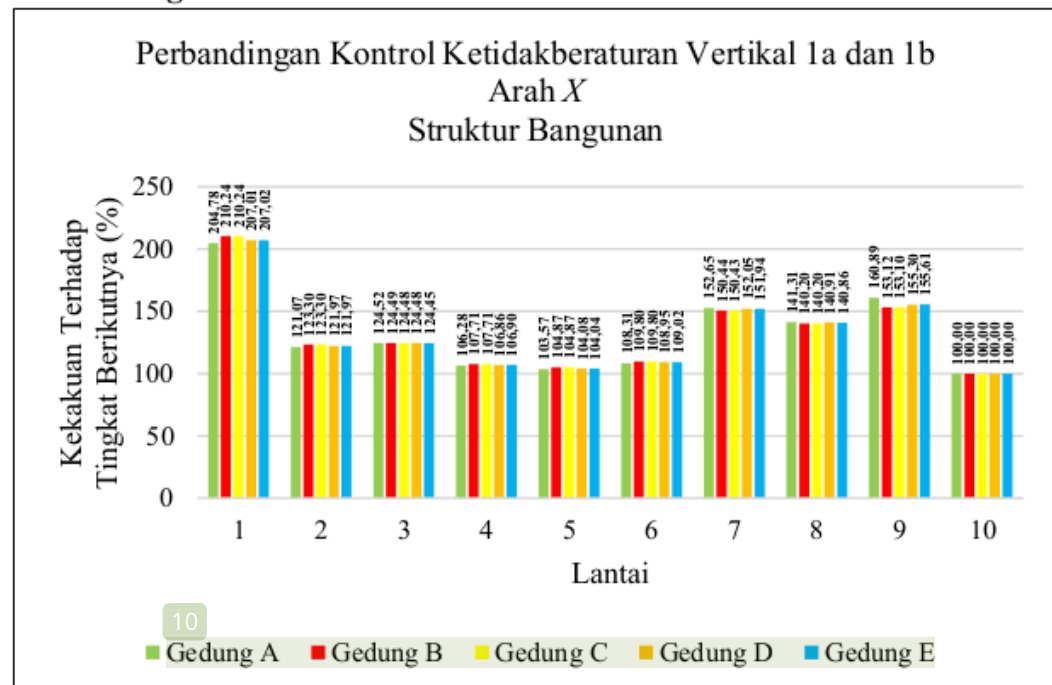
Gambar 4. 123 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Horizontal 3 Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4.121 dan Gambar 4.123, diperoleh bahwa nilai rasio ketidakberaturan horizontal pada setiap variasi pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E menunjukkan adanya perbedaan antar model baik pada arah X maupun arah Y. Secara umum, nilai rasio

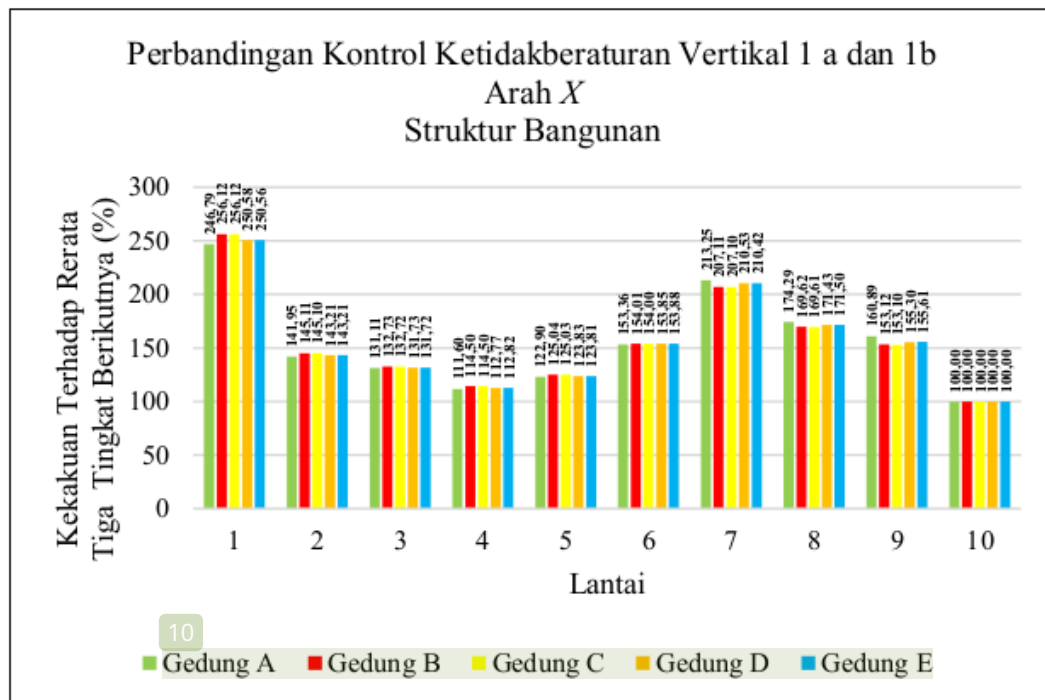
ketidakberaturan torsi arah X berada pada kisaran 1,125 hingga 1,155, sedangkan pada arah Y berkisar antara 1,038 hingga 1,048. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat ketidakberaturan horizontal arah X relatif lebih besar dibandingkan arah Y . Pada arah X , Gedung C dan Gedung D cenderung memiliki rasio ketidakberaturan yang lebih tinggi dibandingkan Gedung A, B, dan E, sedangkan pada arah Y perbedaan antar gedung terlihat lebih kecil dan cenderung stabil di setiap lantai. Sementara itu, pada Gambar 4.88 yang menunjukkan perbandingan kontrol ketidakberaturan horizontal tipe 3, nilai kekakuan diafragma antar gedung juga memperlihatkan variasi. Gedung C dan Gedung D memiliki nilai kekakuan diafragma tertinggi sebesar 34,76%, sedangkan Gedung A dan Gedung B menunjukkan nilai yang lebih rendah yaitu 30,95%. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa variasi konfigurasi *void* dan tata letak struktur berpengaruh terhadap distribusi kekakuan lantai, sehingga memengaruhi tingkat ketidakberaturan horizontal bangunan.

Hasil ini menunjukkan bahwa variasi luas dan letak *void* memberikan pengaruh terhadap kontrol ketidakberaturan horizontal memiliki karakteristik kekakuan dan stabilitas yang berbeda, meskipun seluruhnya masih berada dalam batas yang dapat diterima menurut kriteria ketidakberaturan horizontal.

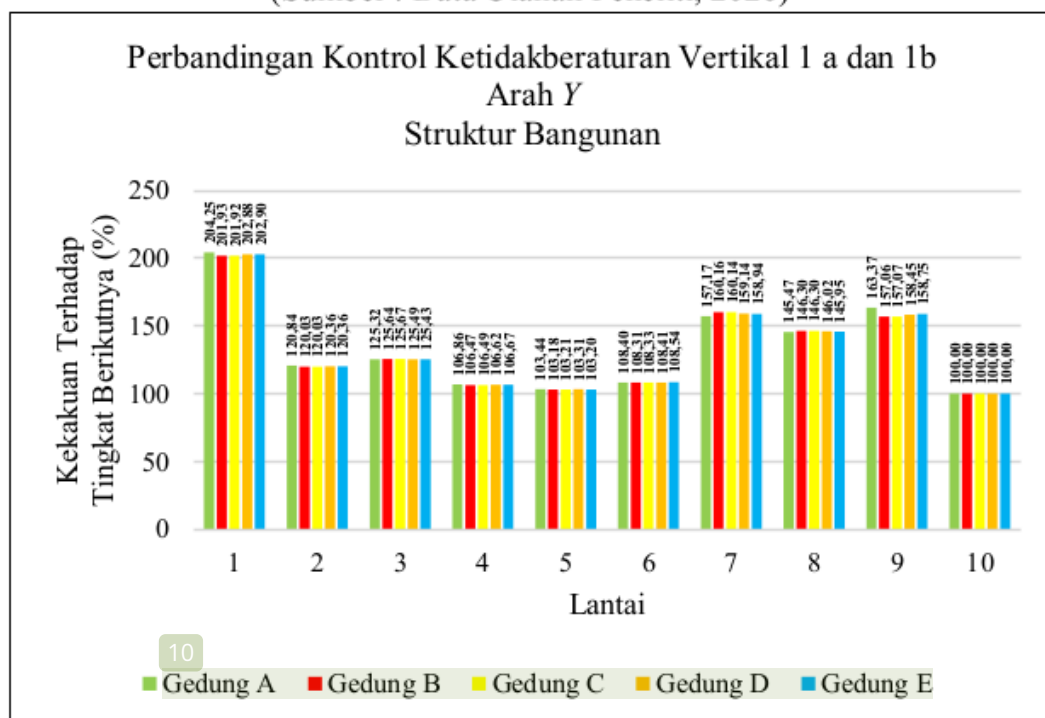
4.8.8 Perbandingan Ketidakberaturan Vertikal



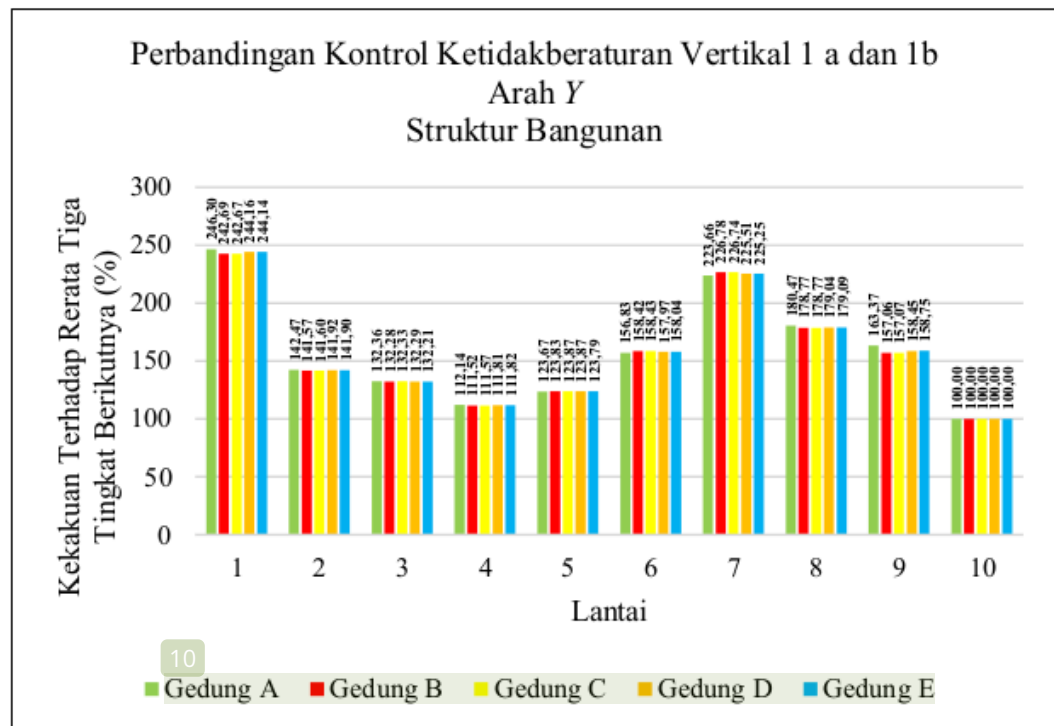
Gambar 4. 124 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b Arah X Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



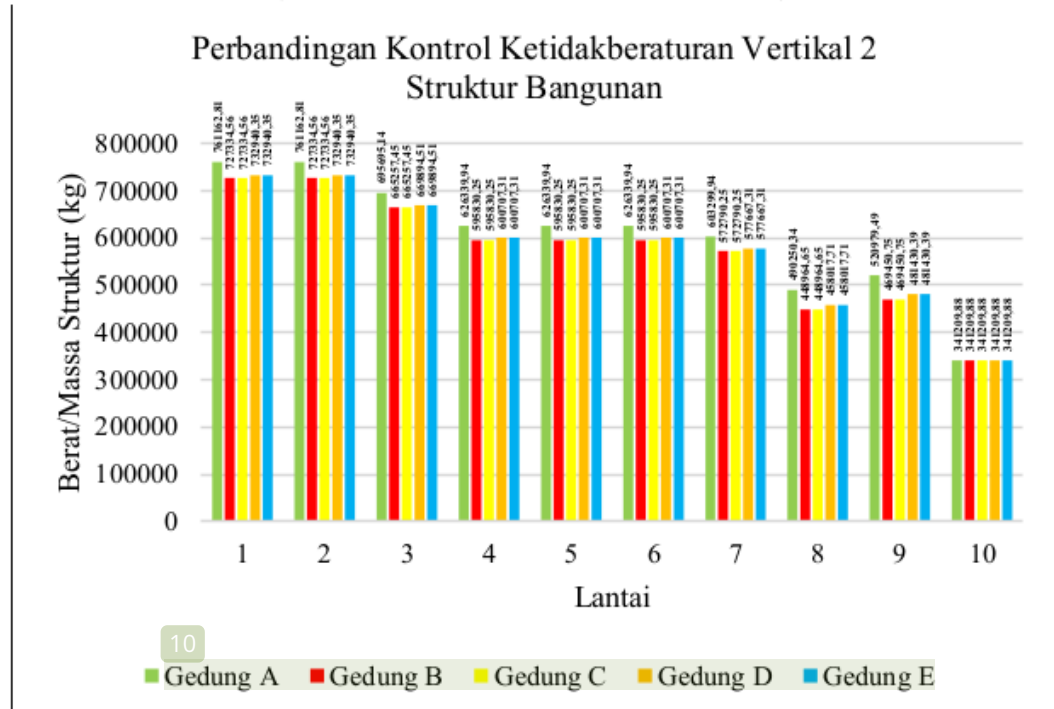
Gambar 4. 125 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b Arah X Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



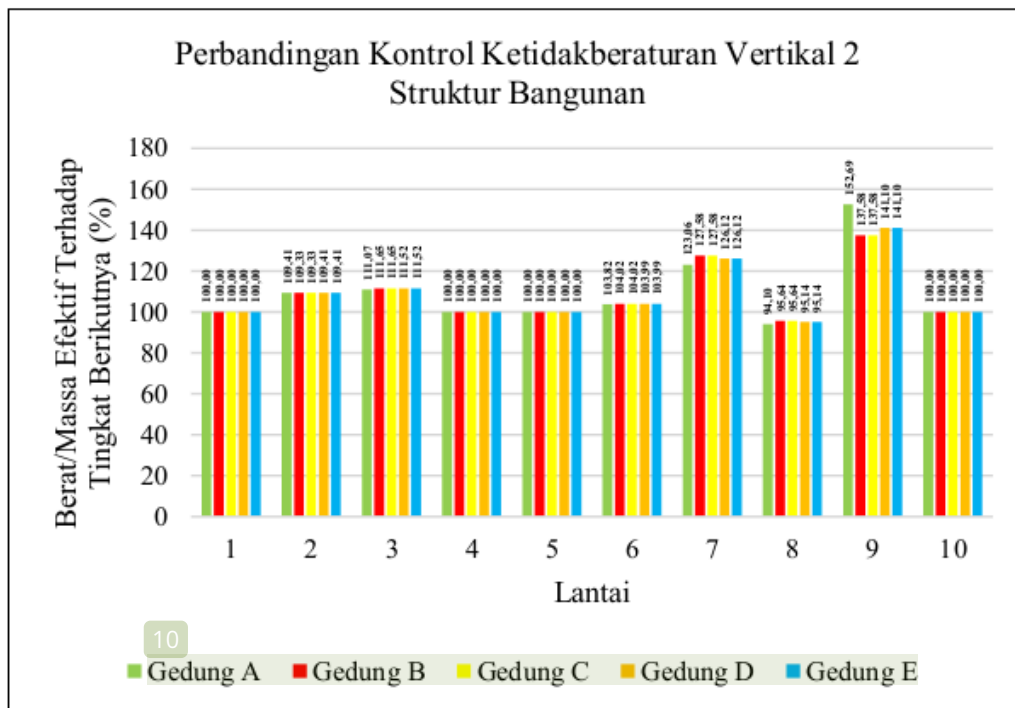
Gambar 4. 126 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b Arah Y Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



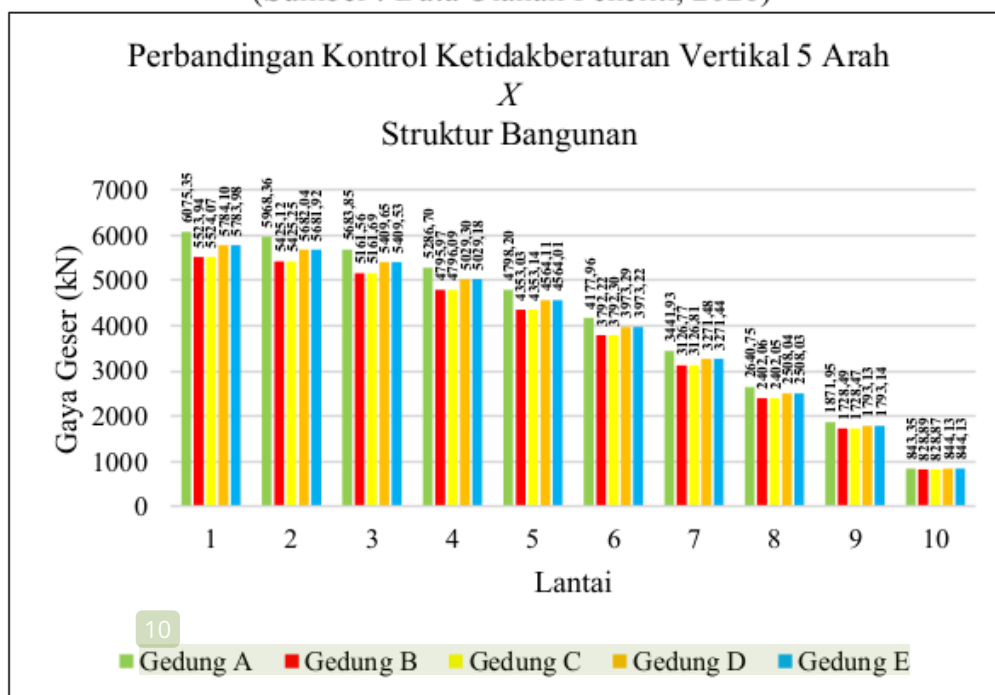
Gambar 4. 127 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b Arah Y Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



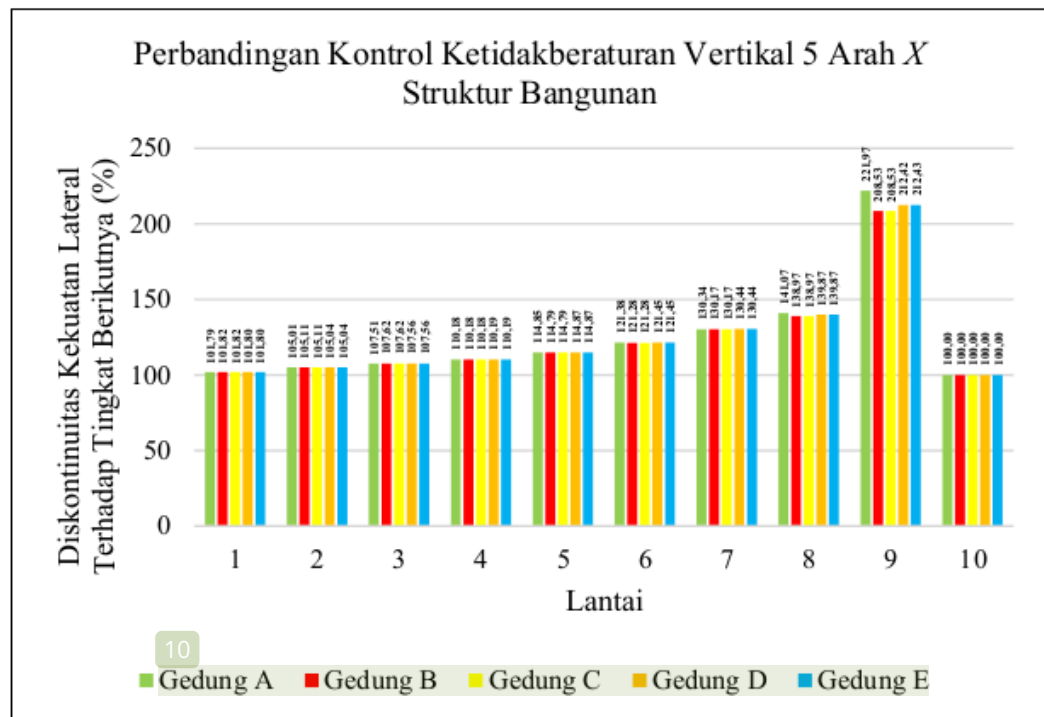
Gambar 4. 128 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal 2 Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



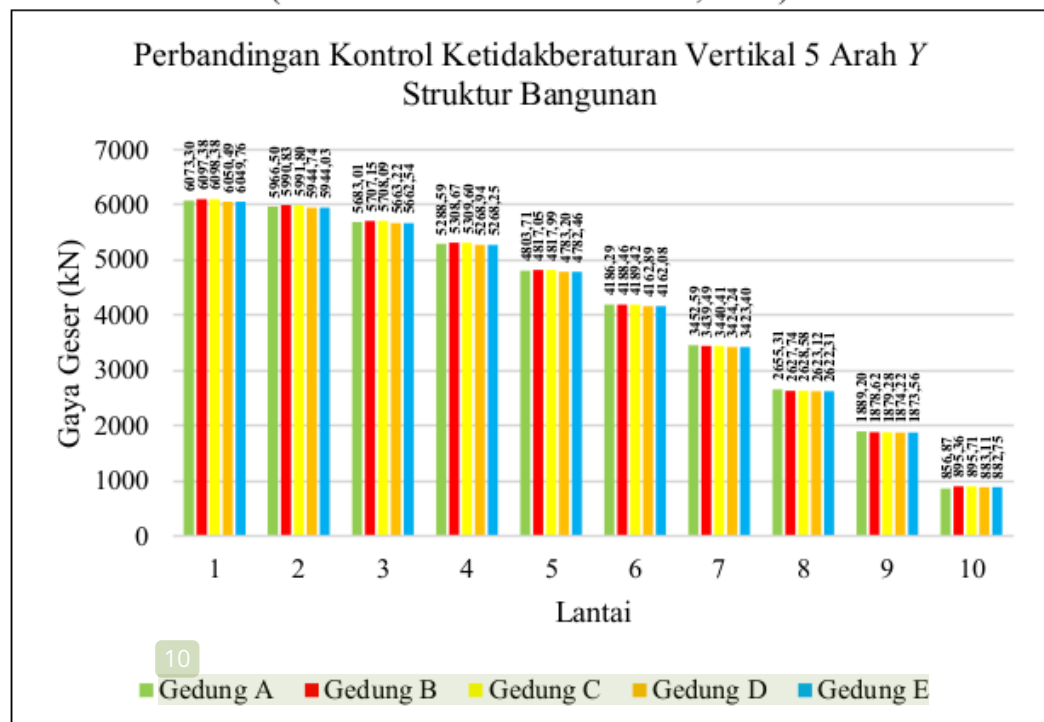
Gambar 4. 129 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal 2 Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



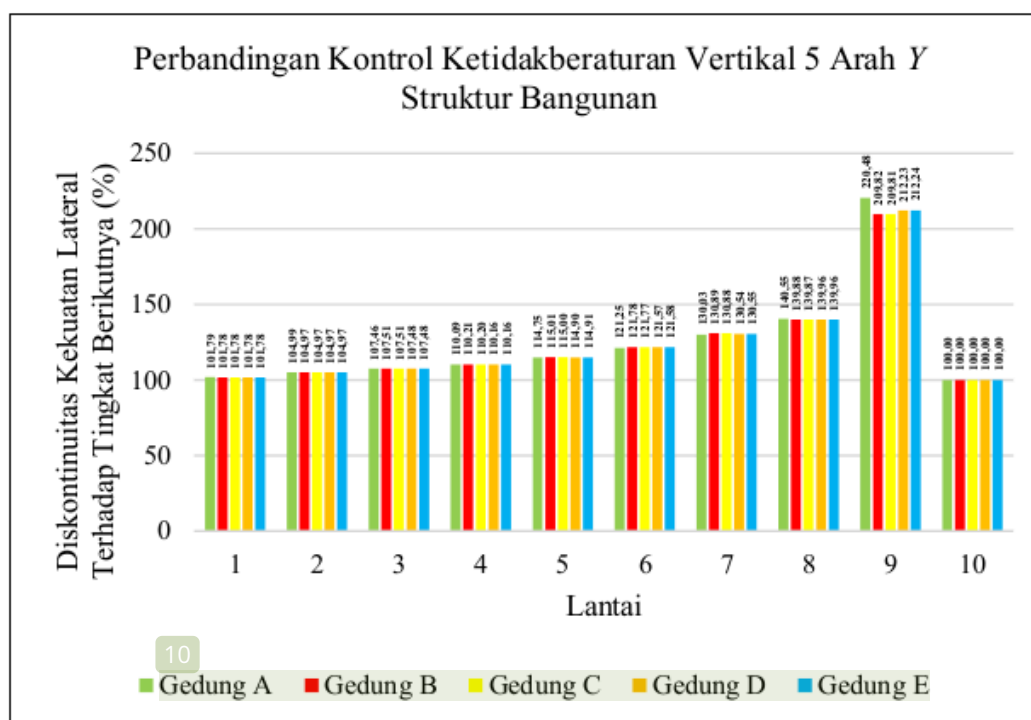
Gambar 4. 130 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal 5 Arah X Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 131 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal 5 Arah X Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 132 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal 5 Arah Y Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 133 Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal 5 Arah Y Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4.124 hingga Gambar 4.133, diperoleh bahwa setiap variasi pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E menunjukkan respons yang berbeda terhadap kontrol ketidakberaturan vertikal baik pada arah *X* maupun arah *Y*. Pada Gambar 4.124 dan Gambar 4.125, nilai kekakuan terhadap tingkat bangunan maupun terhadap rerata tiga tingkat bangunan arah *X* memperlihatkan variasi antar gedung, dengan Gedung C dan Gedung D cenderung memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan Gedung A, B, dan E. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan distribusi kekakuan lantai yang memengaruhi stabilitas struktur. Selanjutnya, pada Gambar 4.126 dan Gambar 4.127 yang menggambarkan arah *Y*, pola grafik menunjukkan kecenderungan yang lebih stabil antar gedung, meskipun Gedung B dan Gedung C relatif memiliki nilai kekakuan yang lebih besar dibandingkan gedung lainnya. Perbedaan ini menegaskan bahwa arah *Y* memiliki tingkat ketidakberaturan yang lebih rendah dibandingkan arah *X*.

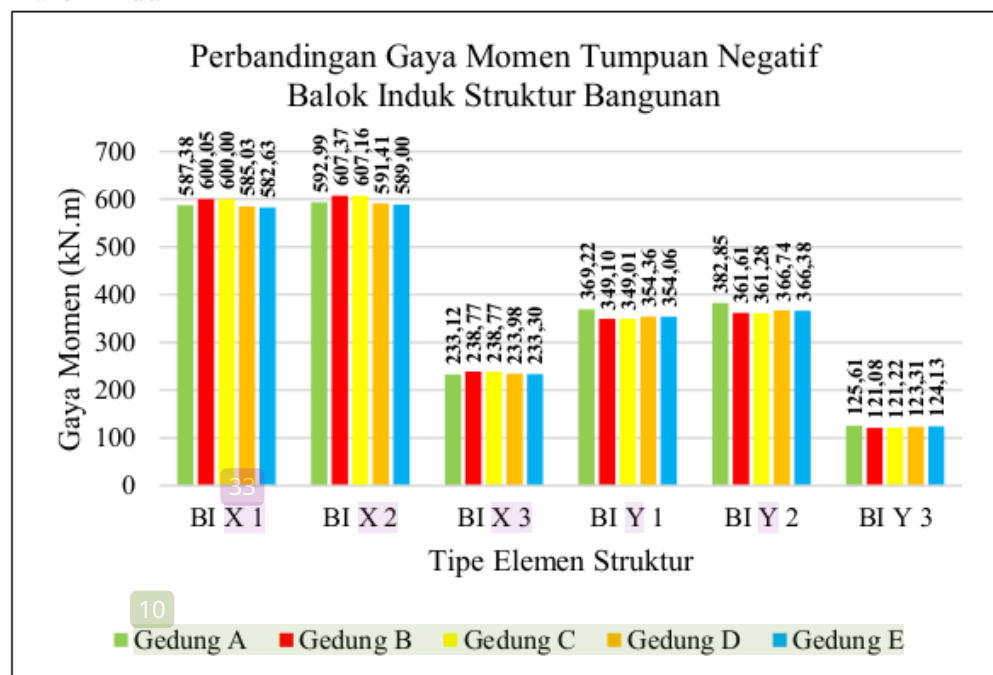
Pada Gambar 4.128 dan Gambar 4.129, perbandingan massa struktur dan massa efektif terhadap tingkat berkurang memperlihatkan bahwa Gedung A dan Gedung B memiliki nilai massa yang lebih kecil dibandingkan Gedung C dan Gedung D. Hal ini mengindikasikan bahwa variasi konfigurasi void berpengaruh terhadap distribusi massa vertikal bangunan.

Sementara itu, Gambar 4.130 dan Gambar 4.131 menunjukkan perbandingan gaya geser serta diskontinuitas kekakuan lateral arah *X*. Gedung A dan Gedung C memiliki nilai gaya geser yang lebih besar, sedangkan Gedung B dan Gedung D menunjukkan diskontinuitas kekakuan lateral yang lebih tinggi, terutama pada lantai atas. Terakhir, pada Gambar 4.132 dan Gambar 4.133 yang menggambarkan arah *Y*, nilai gaya geser menurun secara bertahap dari lantai dasar hingga lantai atas, dengan Gedung A dan Gedung C relatif lebih dominan. Namun, diskontinuitas lateral terlihat meningkat pada lantai 8 hingga 10, terutama pada Gedung B dan Gedung D.

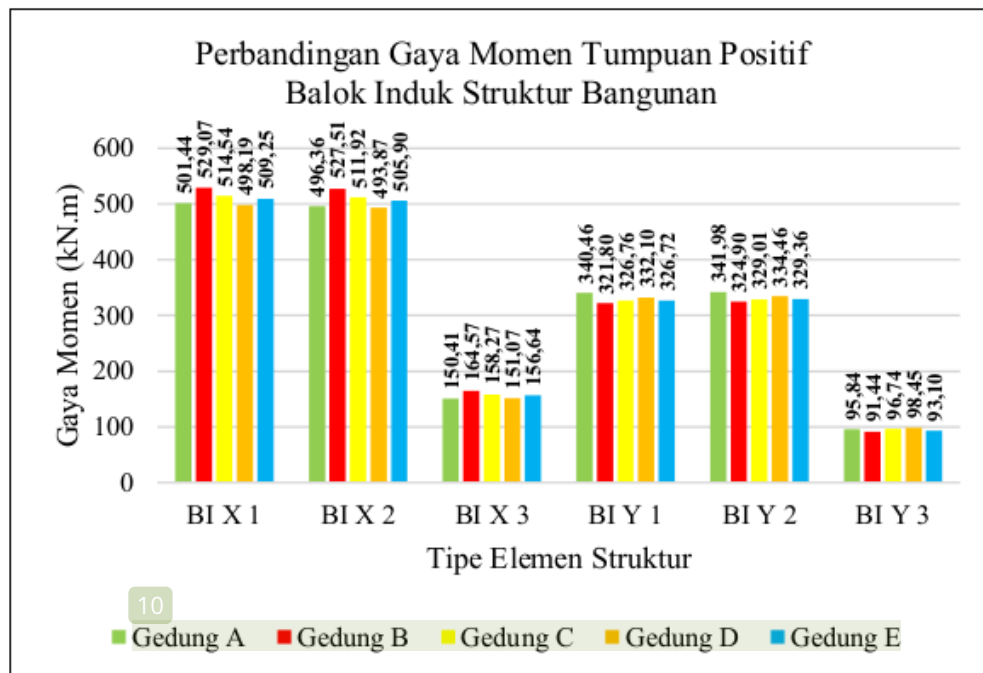
Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa variasi luas dan letak *void* memberikan pengaruh signifikan terhadap distribusi massa, kekakuan, dan gaya geser bangunan. Perbedaan antar gedung mengindikasikan adanya variasi respons struktur terhadap beban lateral, meskipun seluruh pemodelan masih berada dalam batas ketidakberaturan vertikal yang dapat diterima menurut kriteria peraturan.

4.8.9 Perbandingan Gaya Dalam

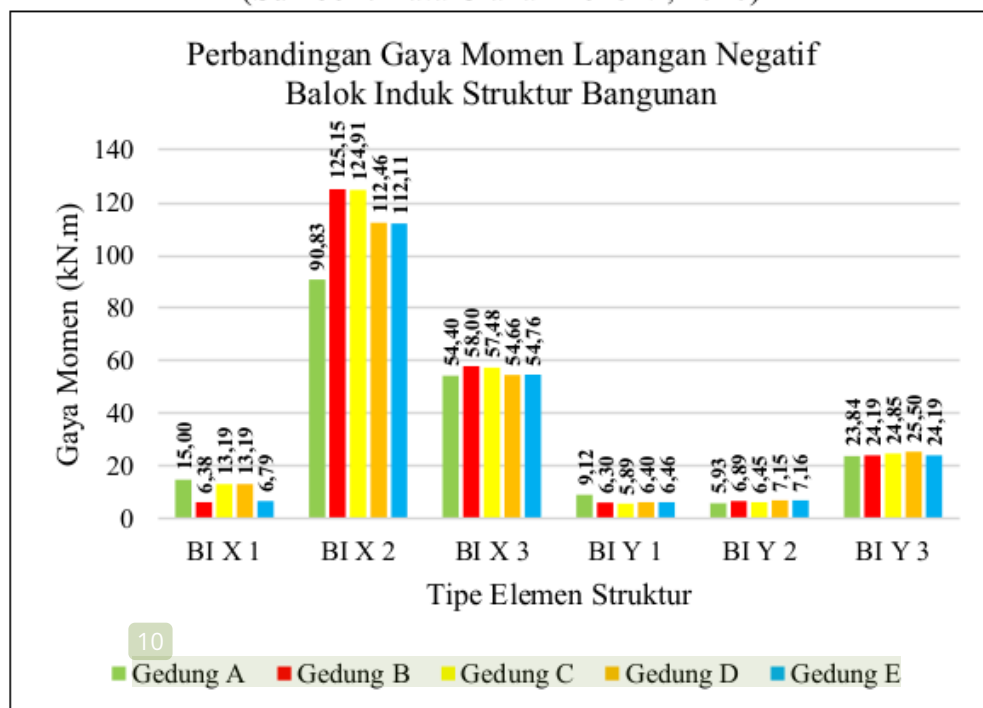
1. Balok Induk



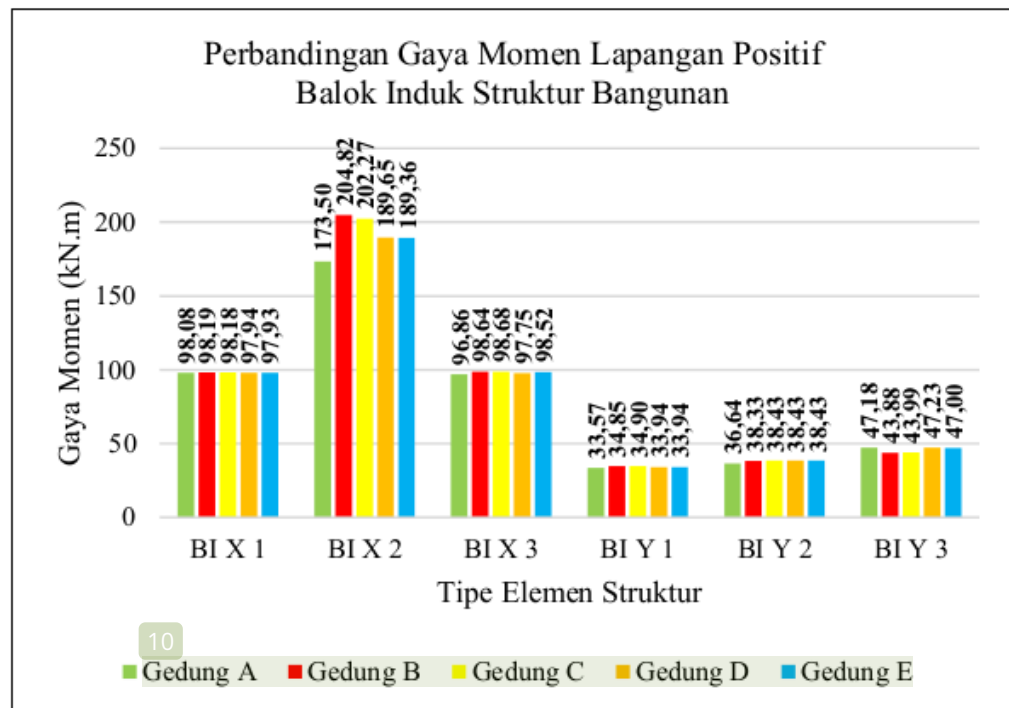
Gambar 4. 134 Grafik Perbandingan Gaya Momen Tumpuan Negatif
Balok Induk Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



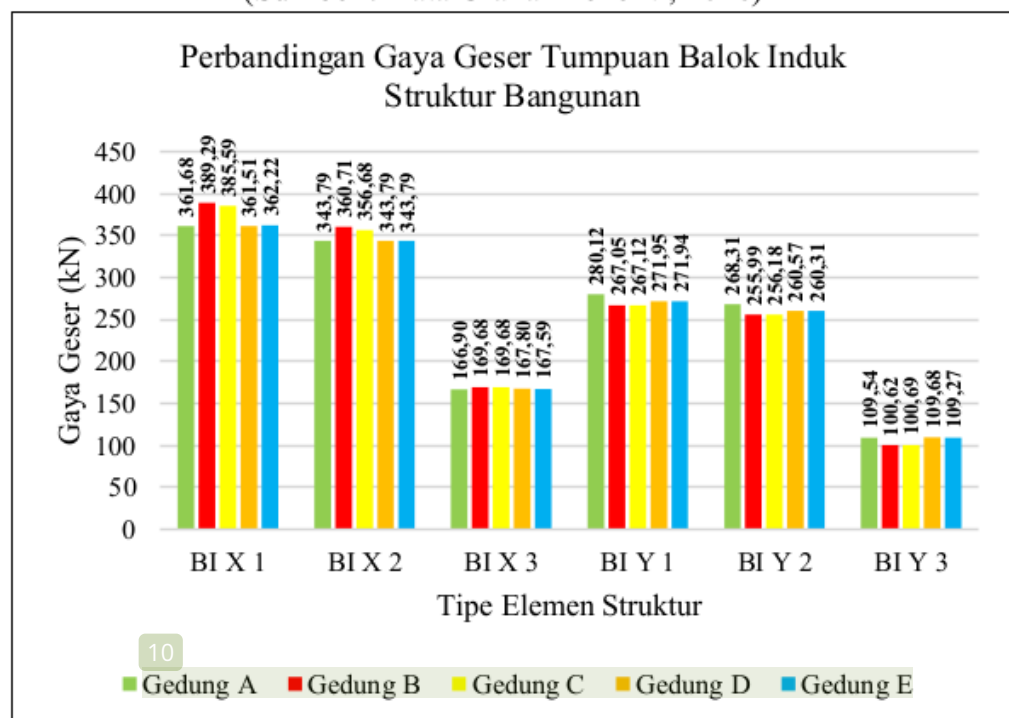
Gambar 4. 135 Grafik Perbandingan Gaya Momen Tumpuan Positif
Balok Induk Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



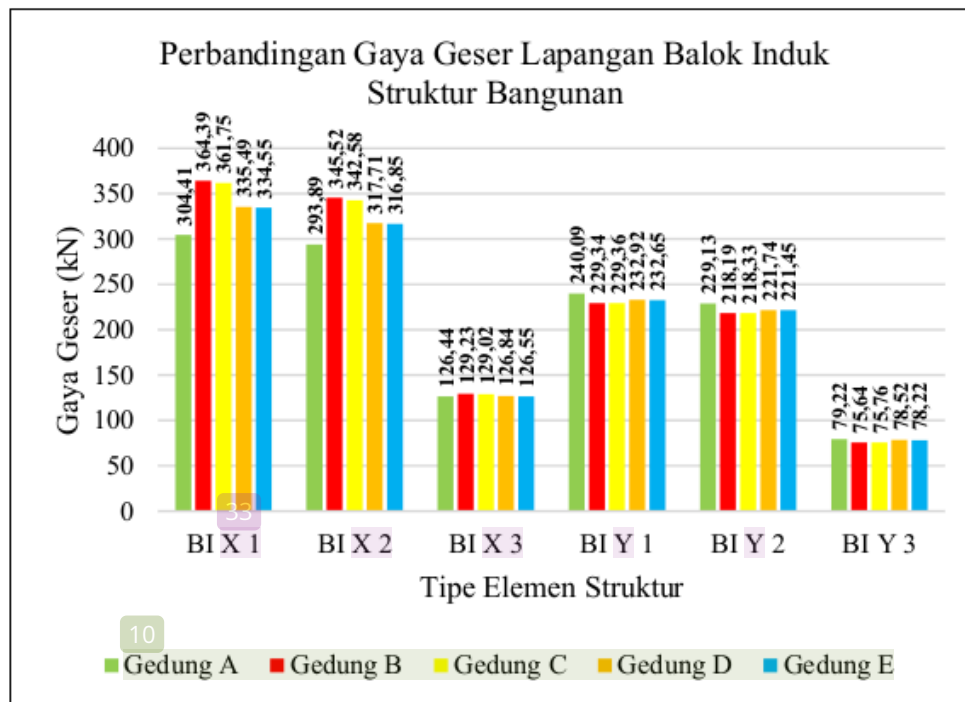
Gambar 4. 136 Grafik Perbandingan Gaya Momen Lapangan Negatif
Balok Induk Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



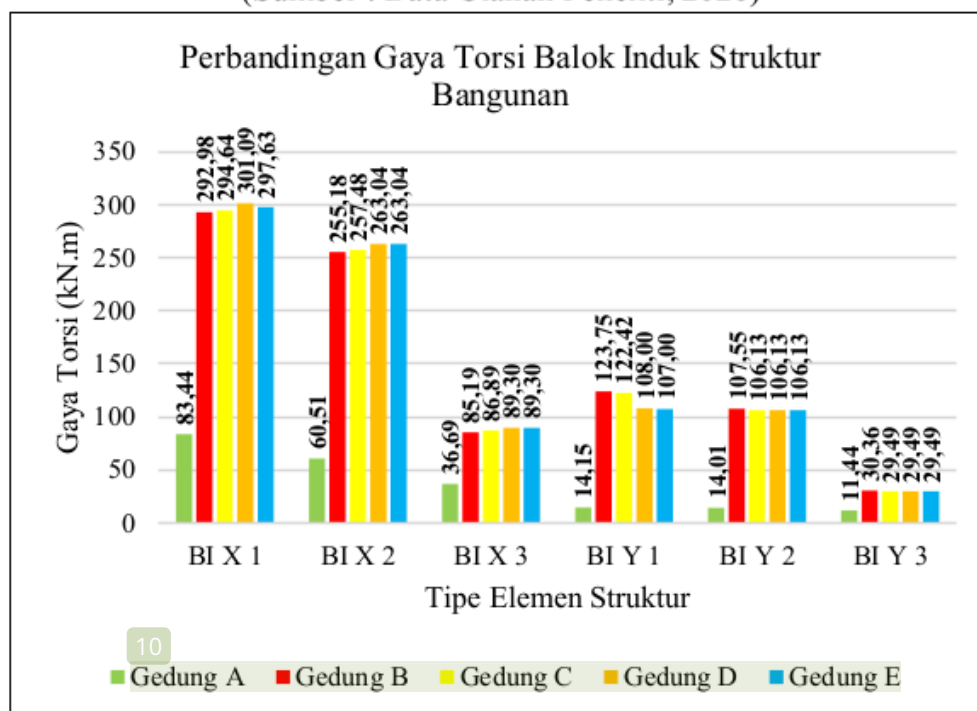
Gambar 4. 137 Grafik Perbandingan Gaya Momen Lapangan Negatif
Balok Induk Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 138 Grafik Perbandingan Gaya Geser Tumpuan Balok
Induk Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

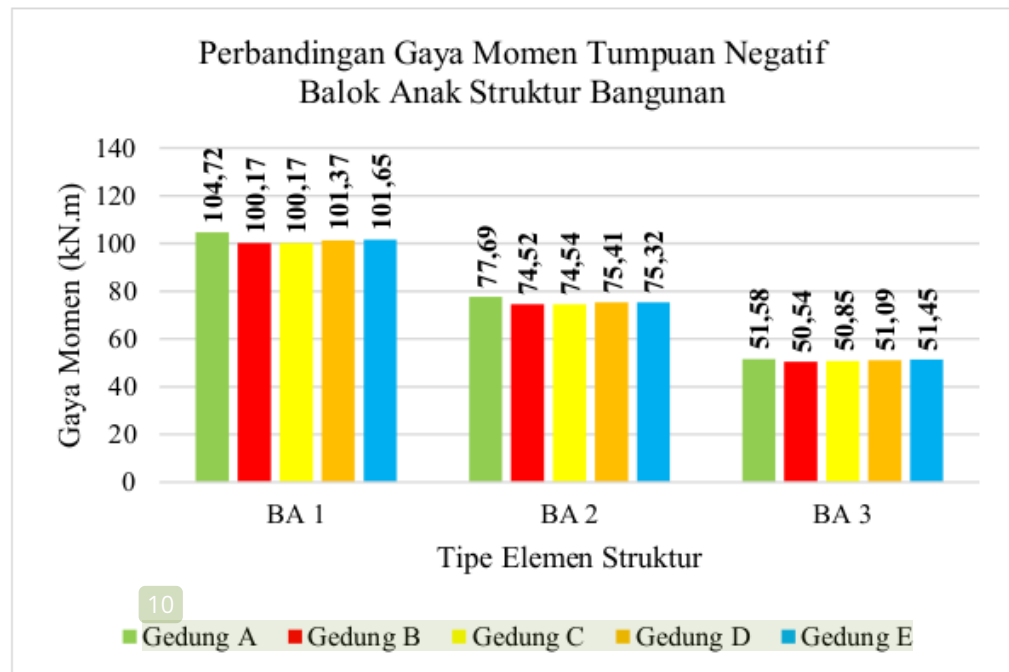


Gambar 4. 139 Grafik Perbandingan Gaya Geser Lapangan Balok Induk Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

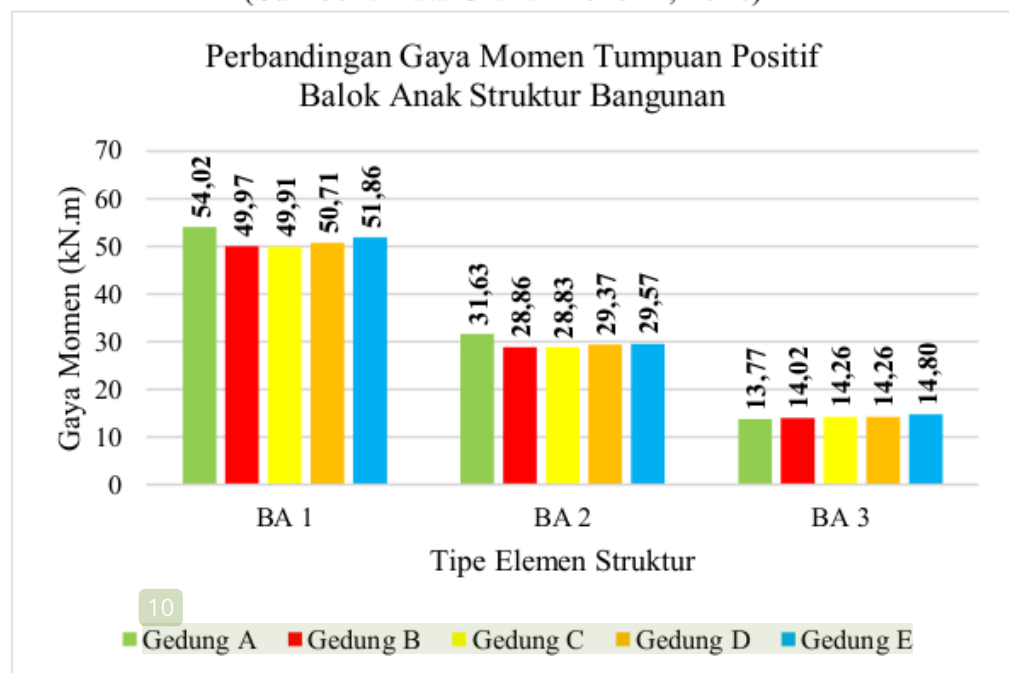


Gambar 4. 140 Grafik Perbandingan Gaya Torsi Balok Induk Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

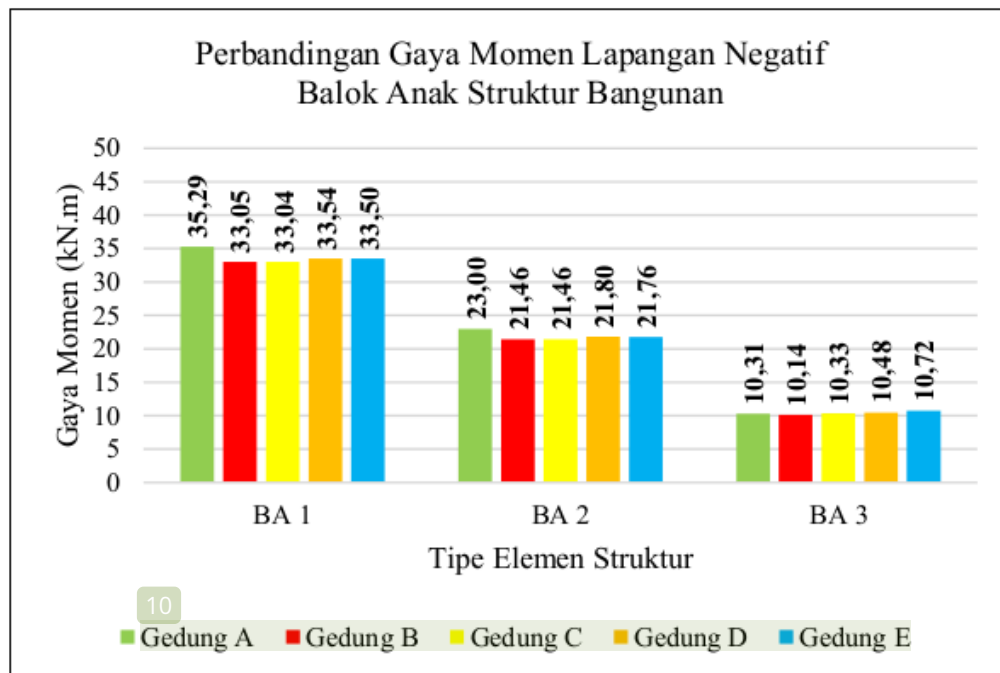
2. Balok Anak



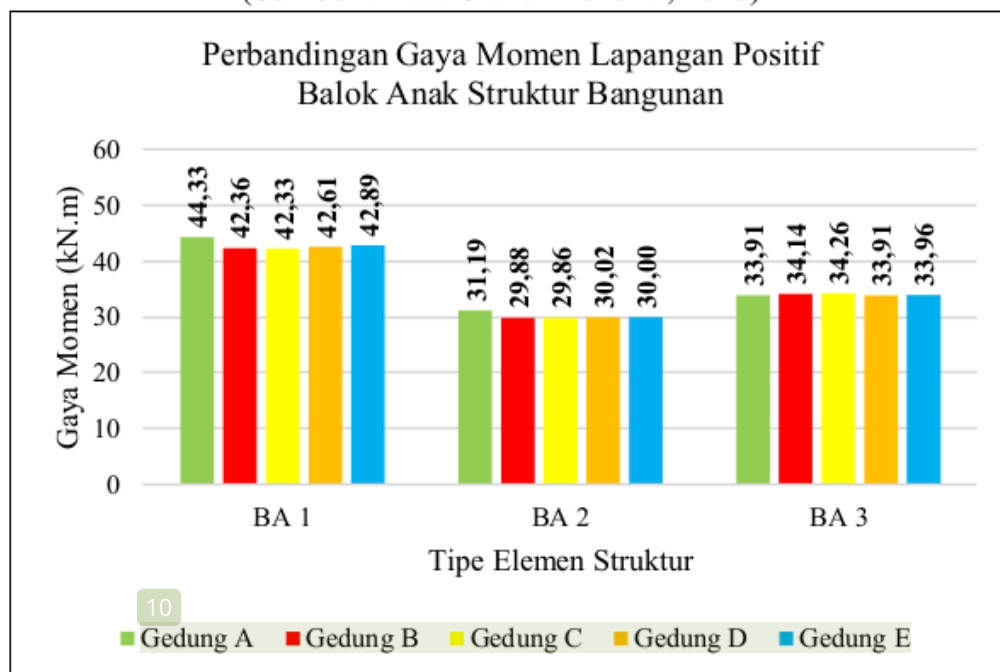
Gambar 4. 141 Grafik Perbandingan Gaya Momen Tumpuan Negatif
Balok Anak Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



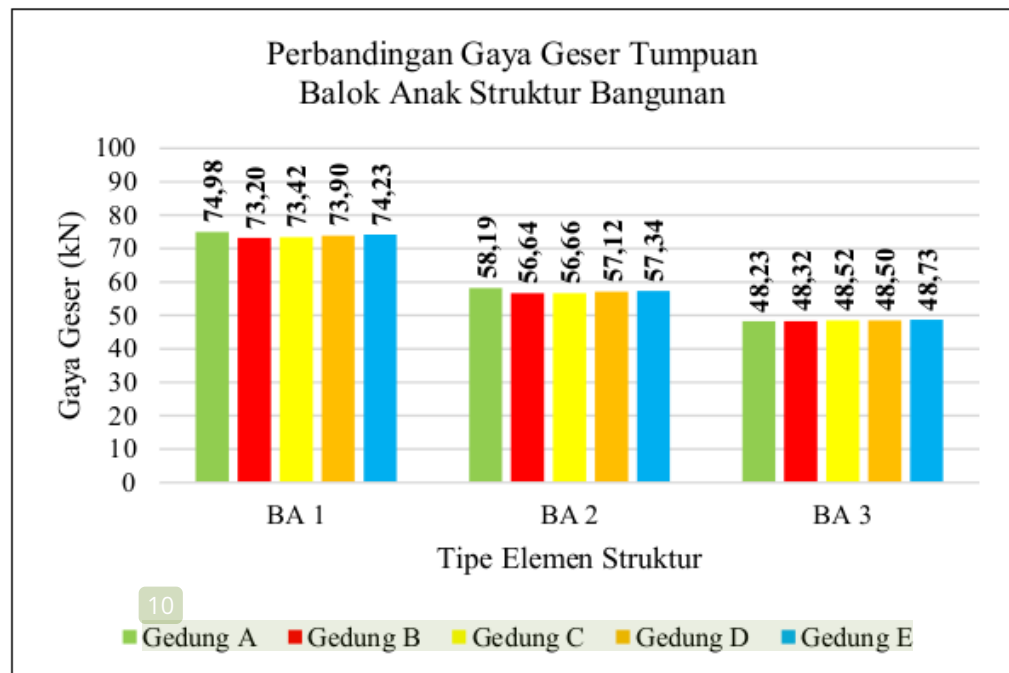
Gambar 4. 142 Grafik Perbandingan Gaya Momen Tumpuan Positif
Balok Anak Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 143 Grafik Perbandingan Gaya Momen Lapangan Negatif
Balok Anak Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

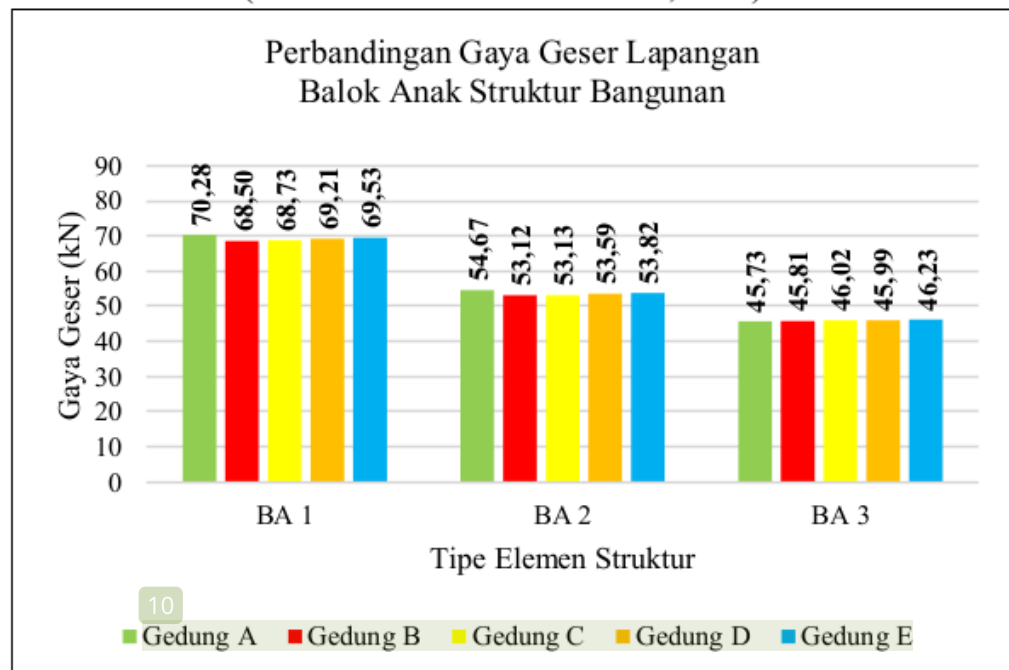


Gambar 4. 144 Grafik Perbandingan Gaya Momen Lapangan Negatif
Balok Anak Struktur Bangunan
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



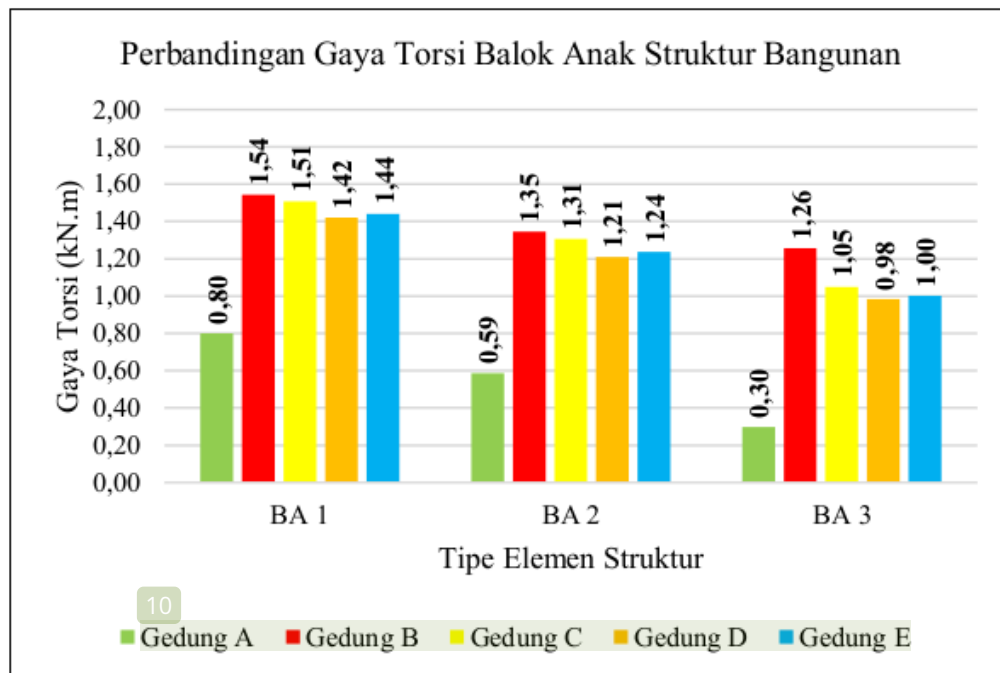
Gambar 4. 145 Grafik Perbandingan Gaya Geser Tumpuan Balok Anak Struktur Bangunan

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 146 Grafik Perbandingan Gaya Geser Lapangan Balok Anak Struktur Bangunan

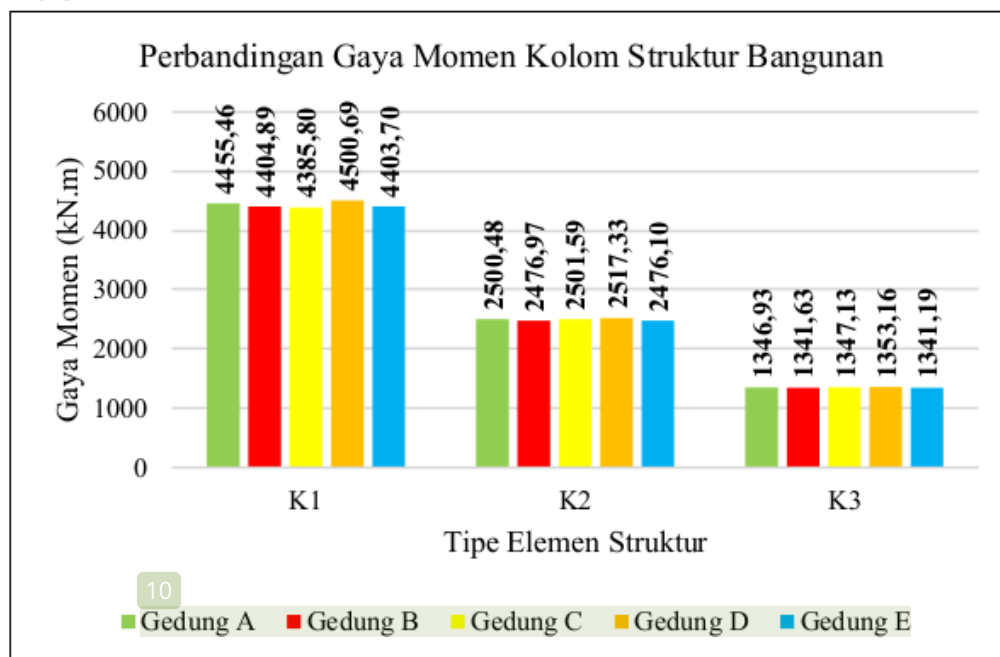
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 147 Grafik Perbandingan Gaya Torsi Balok Anak Struktur Bangunan

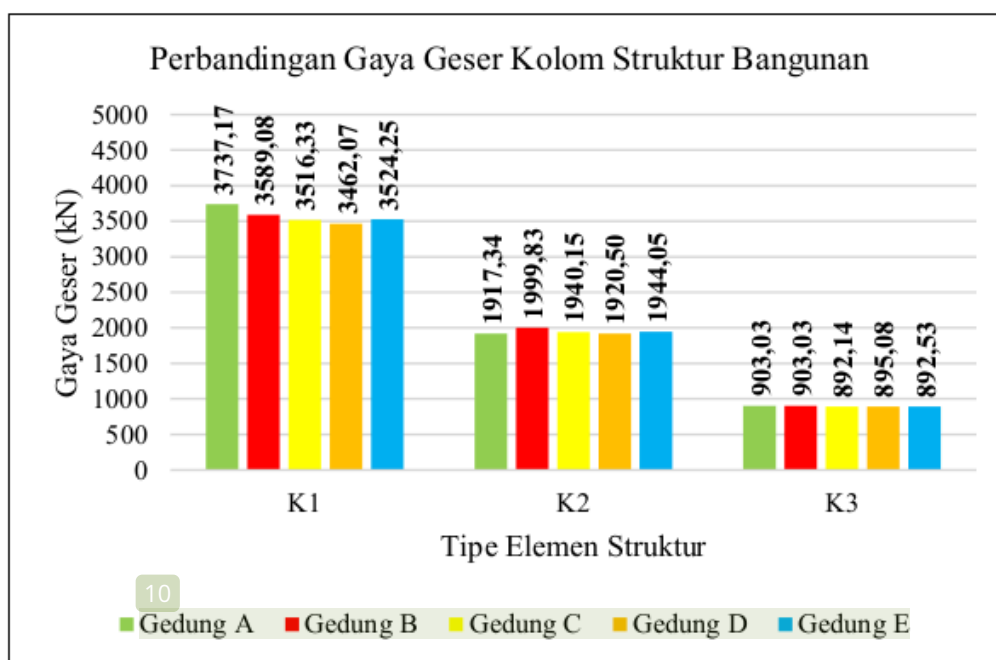
(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

3. Kolom



Gambar 4. 148 Grafik Perbandingan Gaya Momen Kolom Struktur Bangunan

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)



Gambar 4. 149 Grafik Perbandingan Gaya Geser Kolom Struktur Bangunan

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4.134 hingga Gambar 4.149, diperoleh bahwa variasi luas dan letak *void* memberikan pengaruh nyata terhadap besarnya gaya dalam elemen balok maupun kolom pada setiap pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E. Pada Gambar 4.134 dan Gambar 4.135, nilai gaya momen tumpuan negatif dan positif balok induk menunjukkan perbedaan antar gedung, dengan Gedung B dan Gedung C cenderung memiliki nilai momen yang lebih besar dibandingkan gedung lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa konfigurasi *void* yang lebih luas atau berada pada posisi tertentu meningkatkan konsentrasi momen pada elemen balok induk. Selanjutnya, pada Gambar 4.136 dan Gambar 4.137 yang memperlihatkan gaya momen lapangan negatif dan positif balok induk, terlihat bahwa Gedung D dan Gedung E memiliki nilai yang relatif lebih rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa letak *void* yang lebih terpusat dapat mengurangi distribusi momen pada bentang balok, sehingga respons struktur menjadi lebih ringan.

Pada Gambar 4.138 dan Gambar 4.139, nilai gaya geser tumpuan dan lapangan balok induk relatif lebih besar pada Gedung A dan Gedung E, sedangkan Gedung B dan Gedung D menunjukkan nilai yang lebih kecil. Hal ini menegaskan bahwa variasi *void* berpengaruh terhadap jalur distribusi gaya geser, di mana *void* yang lebih luas atau berada di tepi

bangunan cenderung meningkatkan konsentrasi gaya geser. Sementara itu, pada Gambar 4.141 hingga Gambar 4.147 yang membahas balok anak, terlihat bahwa nilai gaya momen dan gaya torsi bervariasi antar gedung. Gedung C dan Gedung D memiliki nilai momen lapangan dan torsi yang lebih tinggi, sedangkan Gedung B dan Gedung E relatif lebih rendah. Perbedaan ini menunjukkan bahwa letak *void* yang tidak simetris dapat meningkatkan ketidakberaturan gaya dalam balok anak.

Terakhir, pada Gambar 4.148 dan Gambar 4.149 yang memperlihatkan gaya momen dan gaya geser kolom, nilai terbesar terdapat pada elemen K1 dengan kisaran ribuan kN.m untuk momen dan ribuan kN untuk geser. Gedung A dan Gedung C cenderung memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan Gedung B dan Gedung D. Hal ini menegaskan bahwa variasi luas dan letak *void* berpengaruh langsung terhadap kapasitas kolom dalam menahan beban lateral, di mana *void* yang lebih besar atau berada di posisi kritis meningkatkan konsentrasi gaya dalam kolom.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa luas dan letak *void* berperan penting dalam menentukan distribusi gaya momen, geser, dan torsi pada elemen balok maupun kolom. Perbedaan antar gedung mengindikasikan adanya variasi respons struktur terhadap beban lateral, meskipun seluruh pemodelan masih berada dalam batas aman sesuai kriteria peraturan.

4.8.10 Perbandingan Level Kinerja

23

Tabel 4. 181 Perbandingan Level Kinerja Struktur Bangunan

Variasi Pemodelan	ATC-40				FEMA 356			
	%	Arah X	%	Arah Y	%	Arah X	%	Arah Y
Gedung A	0,67346	IO	0,69087	IO	0,46827	IO	0,47558	IO
Gedung B	0,68792	IO	0,69514	IO	0,49145	IO	0,45053	IO
Gedung C	0,68857	IO	0,69165	IO	0,49149	IO	0,45063	IO
Gedung D	0,66309	IO	0,70535	IO	0,47506	IO	0,45673	IO
Gedung E	0,68107	IO	0,70300	IO	0,47242	IO	0,45712	IO

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.181 yang menampilkan perbandingan tingkat kinerja struktur, diketahui bahwa seluruh sistem struktur pada setiap variasi ketinggian lantai memiliki kategori kinerja yang sama, yaitu *Immediate Occupancy* (IO), baik berdasarkan metode ATC-40 maupun FEMA 356. Hasil ini menunjukkan bahwa respons struktur terhadap beban gempa masih berada pada kondisi yang sangat baik, di mana bangunan hanya mengalami deformasi kecil tanpa kerusakan yang berarti pada elemen struktural maupun nonstruktural. Dengan tingkat kinerja tersebut, bangunan tetap dapat difungsikan secara normal setelah kejadian gempa tanpa memerlukan perbaikan signifikan. Selain itu, keseragaman hasil pada berbagai variasi ketinggian mengindikasikan bahwa perubahan konfigurasi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan kinerja struktur.

4.8.11 Perbandingan Tingkat Daktilitas

Tabel 4. 182 Perbandingan Tingkat Daktilitas Struktur Bangunan

Variasi Pemodelan	Daktilitas (μ)		Tingkat Daktilitas	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Gedung A	5,2664	4,9912	Daktail Penuh	Daktail Parsial
Gedung B	4,1610	5,5037	Daktail Parsial	Daktail Penuh
Gedung C	4,3290	5,4809	Daktail Parsial	Daktail Penuh
Gedung D	4,3135	5,4400	Daktail Parsial	Daktail Penuh
Gedung E	4,7454	5,5552	Daktail Parsial	Daktail Penuh

(Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026)

Berdasarkan Tabel 4.182 yang menampilkan perbandingan tingkat daktilitas struktur menggunakan acuan SNI 1726:2002 Pasal 4.3.4 dan Tabel 2, diketahui bahwa seluruh model pada setiap variasi pemodelan menunjukkan perilaku daktail, baik pada arah X maupun arah Y. Hasil ini menunjukkan bahwa struktur memiliki kemampuan deformasi inelastik yang cukup baik dalam merespons beban gempa. Sebagian besar model berada pada kategori daktail parsial hingga daktail penuh, dengan kecenderungan arah Y lebih dominan mencapai tingkat daktail penuh dibandingkan arah X. Kondisi ini mengindikasikan bahwa struktur mampu menyerap dan mendisipasikan energi gempa secara efektif tanpa mengalami kegagalan secara tiba-tiba.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan yang merangkum temuan penelitian sebagai berikut:

1. Perbandingan gaya dalam dan kekuatan struktur pada setiap variasi letak dan luas *void* menunjukkan adanya perbedaan respons pada masing-masing elemen struktur dengan Gedung A sebagai acuan pemodelan. Pada balok induk arah X, perbandingan gaya dalam untuk momen berkisar antara -7,103% hingga 4,371% dengan rerata sebesar -1,590%. Nilai geser berada pada rentang 5,810% hingga 8,606% dengan rerata 7,169%, sedangkan nilai torsi berkisar antara 68,246% hingga 69,398% dengan rerata 68,897%. Sementara itu, pada balok induk arah Y, perbandingan nilai momen berkisar antara -2,141% hingga -5,345% dengan rerata -3,919%. Nilai geser berada pada rentang -5,210% hingga -6,551% dengan rerata -5,896%, sedangkan nilai torsi berkisar antara 78,258% hingga 79,282% dengan rerata 78,663%. Pada elemen balok anak, perbandingan gaya dalam untuk momen berkisar antara -2,080% hingga -4,236% dengan rerata -3,284%. Nilai geser berada pada rentang -1,719% hingga 7,289% dengan rerata 0,787%, sedangkan nilai torsi berkisar antara 54,945% hingga 60,283% dengan rerata 57,217%. Adapun pada elemen kolom, perbandingan gaya dalam untuk nilai geser berkisar antara -0,351% hingga 2,355% dengan rerata 0,753%, sedangkan nilai aksial berkisar antara -2,919% hingga 1,816% dengan rerata -1,057%. Variasi nilai tersebut terjadi akibat perubahan distribusi massa dan kekakuan struktur yang dipengaruhi oleh letak dan luas *void*, sehingga memicu eksentrisitas dan peningkatan gaya torsi pada struktur.
2. Perbandingan perilaku struktur pada setiap variasi letak dan luas *void* menunjukkan bahwa nilai simpangan pada seluruh pemodelan meningkat secara bertahap dari lantai dasar hingga lantai 10. Pada arah X, nilai simpangan berkisar antara 2,91 mm hingga 65,13 mm dengan perbedaan sebesar 0,422% hingga 3,344%, sedangkan pada arah Y berkisar antara 2,84 mm hingga 62,67 mm dengan perbedaan sebesar -4,922% hingga -3,412%. Untuk parameter periode struktur berdasarkan hasil analisis *software* ETABS v.22, diperoleh nilai periode pada arah X berkisar antara 1,101 detik hingga 1,142 detik, sementara pada arah Y berkisar antara 1,035 detik hingga 1,053 detik. Nilai gaya geser dasar pada arah X berada pada rentang 5523,94 kN hingga 6075,35 kN, sedangkan pada arah Y berkisar antara 6049,76 kN

hingga 6098,38 kN. Pada parameter simpangan antar lantai (*story drift*), nilai maksimum terjadi pada lantai 4 dan 5, kemudian mengalami penurunan pada lantai-lantai berikutnya. Nilai simpangan antar lantai arah X berkisar antara 10,66 mm hingga 30,07 mm dengan perbedaan sebesar 1,196% hingga 4,886%, sedangkan arah Y berkisar antara 10,34 mm hingga 28,75 mm dengan perbedaan sebesar -4,760% hingga -3,221%. Parameter P-Delta menunjukkan pola serupa, yaitu meningkat pada lantai tengah lalu menurun kembali. Nilai P-Delta arah X berkisar antara 0,00695 hingga 0,01476 dengan perbedaan sebesar 1,147% hingga 7,730%, sedangkan arah Y berkisar antara 0,00633 hingga 0,01358 dengan perbedaan sebesar -11,352% hingga -7,696%. Variasi nilai pada setiap parameter dipengaruhi oleh penggunaan sistem SRPMK serta dimensi elemen struktur yang relatif sama, sehingga respons antar model cenderung seragam. Nilai periode dipengaruhi oleh kekakuan struktur, gaya geser dasar dipengaruhi oleh massa dan periode, sedangkan simpangan, *story drift*, dan P-Delta dipengaruhi oleh distribusi deformasi yang terkonsentrasi pada lantai tengah.

3. Perbandingan kinerja struktur pada variasi letak dan luas *void* menunjukkan bahwa level kinerja berdasarkan ATC 40 dan FEMA 356 memiliki tingkat kinerja yang sama pada arah X dan Y, yaitu *Immediate Occupancy* (IO). Nilai *drift ratio* berdasarkan ATC 40 pada setiap pemodelan berkisar antara 0,00663 hingga 0,00689 pada arah X dan 0,00692 hingga 0,00705 pada arah Y, yang berada pada rentang *Immediate Occupancy* dengan batas sebesar kurang dari 0,01. Sementara itu, berdasarkan FEMA 356, nilai *drift ratio* pada setiap pemodelan berkisar antara 0,46827% hingga 0,49149% pada arah X dan 0,45053% hingga 0,47558% pada arah Y, yang berada pada rentang *Immediate Occupancy* dengan batas 0% hingga 1%, dengan tingkat daktilitas sebesar 4,1202 hingga 5,1989 pada arah X dan 4,9892 hingga 5,5552 pada arah Y, yang berada pada rentang daktilitas parsial dan daktilitas penuh. Adapun nilai daktilitas parsial berada pada rentang 1,5 hingga 5,0, sedangkan daktilitas penuh berada pada rentang 5,3 hingga seterusnya.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, terdapat beberapa saran untuk pengembangan studi selanjutnya guna memperluas analisis dan meningkatkan ketelitian hasil, khususnya terkait pengaruh konfigurasi struktur terhadap kinerja bangunan. Adapun saran yang dapat dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

1. Diharapkan penelitian selanjutnya mencakup perencanaan dan desain pondasi secara rinci, sehingga dapat dianalisis perbedaan kebutuhan dimensi dan

kapasitas pondasi pada setiap variasi model dengan perubahan luas dan letak *void*.

2. Diharapkan Data Olahan berikutnya dapat memasukkan analisis biaya, kekuatan, dan tingkat keamanan secara terpadu agar menghasilkan rekomendasi yang lebih aplikatif dan ekonomis dalam penerapan variasi *void* pada bangunan.
3. Diharapkan penggunaan metode evaluasi kinerja lain, seperti FEMA 440, dapat diterapkan sebagai pembanding guna meningkatkan validitas dan kelengkapan hasil analisis.
4. Diharapkan penelitian lanjutan menggunakan metode *Time History Analysis* sebagai pembanding terhadap analisis statik nonlinier *pushover*, sehingga respons struktur terhadap beban gempa dapat dikaji secara lebih realistis.
5. Diharapkan dilakukan perbandingan dengan sistem struktur lain pada variasi luas dan letak *void* yang sama, sehingga dapat diketahui sistem struktur yang paling efektif dan efisien dalam menahan beban lateral.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Alow, G. R., Wallah, S. E., Dapas, S. O., Teknik, F., Sipil, J. T., & Ratulangi, U. S. (2019). Studi Mengenai Pengaruh Penempatan dan Luasan Void Terhadap Struktur Bangunan Tahan Gempa Yang Memiliki Dinding Geser Simetris. *Jurnal Sipil Statik*, 7(4), 409–418.
- Anam, S., Sutriyono, B., & Trimurtiningrum, R. (2020). Studi Perbandingan Kinerja Gedung Beton Bertulang SRPMK 6 Lantai Dengan Menggunakan Metode Pushover dan Nonlinear Time History Analysis. *Jurnal Ilmiah MITSU*, 8(1), 33–41. <https://doi.org/10.24929/ft.v8i1.922>
- Applied Technology Council. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (ATC-40)*. California: California Seismic Safety Commision.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019a). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2019)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019b). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung (SNI 1726:2019)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2002). *Standard Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726:2002)*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Permukiman.
- Dewanti, R. P., & Windari, A. C. (2024). Analisis Perbandingan Efisiensi Biaya dan Kinerja Struktur Beton Bertulang Dengan Struktur Baja Pada Bangunan Tinggi: Studi Kasus Proyek Rumah Susun Negara Kementerian Keuangan di Jakarta Barat. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 5(2), 4046–4058. <http://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/18613>
- Dipohusodo, I. (1994). *Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983)*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Federal Emergency Management Agency. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building (FEMA 356)*. Washington: Federal Emergency Management Agency.
- Ghozi, M., & Ifani Rizaldhy, A. (2023). Perbandingan Struktur Gedung Perkantoran BPR Delta Artha Dengan Desain Beban Gempa Statis dan Dinamis Berdasarkan SNI 1729-2020. *Inter Tech*, 1(2), 1–9. <https://doi.org/10.54732/i.v1i2.1060>
- Hafiz, M., & Anggraini, R. (2025). Analisis Respon Struktur Akibat Beban Gempa Statik dan Dinamik Pada Gedung Perpustakaan Berdasarkan SNI 1726-2019. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 12(1), 127–132. <https://doi.org/10.21063/JTS.2025.V1201.0127-132>

- Hutama, B. P. (2021). Evaluasi Kinerja Bangunan Rumah Sakit Santa Maria Pemalang Dengan Nonlinier Static Pushover Analysis Metode ATC-40 Dan FEMA 440. *Jurnal Inersia*, 17(2), 118–129. <http://eprints.uty.ac.id/3146/>
- Irwansyah, M. (2024). *Rekayasa Struktur Beton Bertulang* (Edisi 1). Medan: PT Media Penerbit Indonesia.
- Karima, F. A., Isneini, M., Sebayang, S., & Bayzoni, B. (2021). Analisis Struktur Gedung Bertingkat Rendah Akibat Pengaruh Beban Gempa Dengan Metode Riwayat Waktu. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 9(4), 655–668. <https://doi.org/10.23960/jrsdd.v9i4.2061>
- Pangestuti, P. A., Patria, A. S. N., & Sholikin, I. P. (2025). Pengaruh Variasi Ukuran dan Penempatan Void Plat Lantai Terhadap Perilaku dan Kekuatan Gedung Bertingkat. *Jurnal Talenta Sipil*, 8(1), 430–439. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v8i2.970>
- Prasetya, M. A., Wirakusuma, I., & Sarya, G. (2022). Kinerja Struktur Gedung Perkuliahan 10 Lantai Berdasarkan Analisis Nonlinier Pushover dan ATC-40 (Studi Kasus : Graha Wiyata UNTAG Surabaya). *Extrapolasi*, 19(01), 35–45. <https://doi.org/10.30996/ep.v19i01.6705>
- Propika, J., Septiarsilia, Y., Susanti, E., & Prasetyo, A. E. (2024). Analisis Pushover Terhadap Struktur Gedung Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Menggunakan Metode Precast. *Agregat*, 9(1), 1006–1013. <https://doi.org/10.30651/ag.v9i1.22101>
- Pusat Gempabumi Dan Tsunami BMKG. (2021). *Relokasi Hiposenter Dan Implikasi Tektonik* (Vol. 1). Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Ramadhan, A. Y., & Istiono, H. (2020). Analisis Pengaruh P-Delta Effect Terhadap Perbedaan Ketinggian Struktur Gedung Tahan Gempa (Studi Kasus: Non-Highrise Building). *Rekayasa Sipil*, 14(3), 218–226. <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2020.014.03.8>
- Ramadhan, M. F., Rochmah, N., & Sutriyono, B. (2024). Perbandingan Kinerja dan Harga Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Ganda Gedung 12 Lantai. *Prosiding Senandika*, 1(1), 876–886.
- Suprayitno, W. E., Sutriyono, B., & Trimurtiningrum, R. (2025). *Studi Perbandingan Kinerja Struktur Rangka Bresing Konsentrik Khusus dan Struktur Base Isolation Dengan Analisis Pushover*. 4(November), 753–764. <https://doi.org/10.55616/prince.v4i3.1100>
- Triayaska, A., & Trimurtiningrum, R. (2023). Analisa Perbandingan Pengaruh Gempa terhadap Gedung Bertingkat Berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 16(1), 67–74. <https://doi.org/10.30811/portal.v16i1.4720>
- Usman, M., Sudarso, & Ikhwanuddin. (2025). Struktur Tahan Gempa terhadap Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal Gedung Pendidikan Terpadu Agribisnis Politeknik Negeri Jember. *Jurnal Talenta Sipil*, 8(1), 430–439. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v8i2.1009>
- Utami, D. N. F., Susanti, E., & Istiono, H. (2024). Evaluasi Kinerja Struktur Beton Gedung Fakultas Perikanan dan Kelautan Unair Surabaya Dengan Metode

- Pushover Analysis. *Civil Engineering Proceeding*, 1(1), 18–29. <http://ejurnal.itats.ac.id/civpro/article/view/5474%0Ahttps://ejurnal.itats.ac.id/civpro/article/viewFile/5474/3667>
- Wulandari, S. B., & Sutriono, B. (2023). Evaluasi Struktur SRPM Gedung 10 Lantai Sesuai Peraturan Gempa SNI 1726:2019. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 16(1), 75–80. <https://doi.org/10.30811/portal.v16i1.4724>
- Zulfikar, A. R., Loekito, I. P., Munawaroh, N. A., Muzhaffar, N. I., & Salma, L. M. (2024). *Software Etabs v21 untuk Analisa Struktur Bangunan Gedung*. Sidoarjo: PT Mitra Edukasi dan Publikasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



M. Ubaidil Fikri, yang akrab disapa Ubaid, lahir di Sidoarjo pada tanggal 20 Desember 2002. Peneliti merupakan anak pertama dari pasangan Burhanuddin dan Priyantini. Pendidikan formal ditempuh di SDN Krian IV (2009-2015), SMPN 1 Krian (2015-2018), dan SMAN 1 Wonoayu (2018-2021). Pada tahun 2022, peneliti melanjutkan pendidikan tinggi dan diterima sebagai mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya. Selama masa perkuliahan, peneliti memiliki minat yang besar pada bidang Struktur dan Manajemen Konstruksi, khususnya yang berkaitan dengan perencanaan bangunan tahan gempa.

Ketertarikan tersebut mendorong peneliti untuk mendalami berbagai data olahan struktur serta menjadi dasar dalam penyusunan tugas akhir yang berjudul **“Pengaruh Letak dan Luas Void terhadap Kekuatan dan Kinerja Struktur SRPMK Gedung 10 Lantai”** dengan bimbingan Dosen Pembimbing Ir. Bantot Sutriyono, M.Sc. Selain aktif dalam kegiatan akademik, peneliti juga mengembangkan pengalaman profesional melalui program magang di PT Putri Zahra Nusantara, yang memberikan wawasan praktis mengenai dunia konstruksi dan pelaksanaan proyek di lapangan. Pengalaman tersebut semakin memperkuat pemahaman peneliti dalam menghubungkan teori yang diperoleh di bangku kuliah dengan praktik rekayasa sipil di dunia kerja. Dalam kegiatan kemahasiswaan, peneliti aktif sebagai Asisten Laboratorium Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya. Selama menjalankan tugas tersebut, peneliti pernah menjabat sebagai Anggota Asisten Laboratorium Struktur pada Semester Genap Tahun Akademik 2023/2024 dan kemudian dipercaya sebagai Koordinator Laboratorium Struktur pada Semester Gasal Tahun Akademik 2024/2025. Melalui berbagai kegiatan laboratorium, peneliti terlibat dalam pendampingan praktikum, pengelolaan laboratorium, serta pengembangan kompetensi mahasiswa di bidang struktur. Di luar lingkungan kampus, peneliti juga aktif dalam organisasi Brigadir Sipil Tujuh Belas Agustus dan memperoleh amanah sebagai Ketua Brigadir Sipil Tujuh Belas Agustus. Selain itu, peneliti turut berpartisipasi dalam berbagai kegiatan kepanitiaan dan pengembangan mahasiswa, di antaranya Pelatihan Software Teknik Sipil dan Turnamen Futsal Teknik Sipil 2025.

Email : ubaidilfikri456@gmail.com

No. Telp : 085780465029

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Lampiran 1. Brosur Mutu Beton


ADHIX RMC
INDONESIA

[BERANDA](#)
[TENTANG KAMI](#)
[PRODUK](#)
[KAWAH](#)
[MOBIL & BAHAN BAKU](#)
[HUBUNGI KAMI](#)



BETON SEGAR

Beton Segar

Sebagai produsen beton segar (ready mix concrete) kami selalu menjaga kualitas dan kuantitas produk. Untuk itu, dalam proses produksi menerapkan standar ASTM, ISO maupun SNI baik dalam penggunaan bahan baku (pasir,aplt, semen dan Additive) sampai dengan produk beton dikirim ke lokasi pengisian / pelanggan.

PT Adhix RMC Indonesia memproduksi beton segar dengan spesifikasi sebagai berikut :

NO	GRADE K (kg/cm ²)	GRADE P _c (Mpa)	GRADE CLASS	SLUMP (cm)
1	MORTAR 1:3			
2	K 100	Pc 8		12 ± 2
3	K 125	Pc 10	Class E	12 ± 2
4	K 150	Pc 12		12 ± 2
5	K 175	Pc 15	Class D	12 ± 2
6	K 200	Pc 18		12 ± 2
7	K 225	Pc 18		12 ± 2
8	K 250	Pc 20	Class C	12 ± 2
9	K 275	Pc 23		12 ± 2
10	K 300	Pc 25		12 ± 2
11	K 325	Pc 28		12 ± 2
12	K 400	Pc 28	Class B	12 ± 2
13	K 475	Pc 32		12 ± 2

NO	GRADE K (kg/cm ²)	GRADE P _c (Mpa)	GRADE CLASS	SLUMP (cm)
14	K 400	Pc 33		12 ± 2
15	K 425	Pc 35		12 ± 2
16	K 450	Pc 37	Class A	12 ± 2
17	K 475	Pc 38		12 ± 2
18	K 500	Pc 40		12 ± 2
19	K 525	Pc 42		12 ± 2
20	K 550	Pc 45		12 ± 2
21	K 575	Pc 47		30 ± 2 / 40 ± 10
22	K 600	Pc 49		35 ± 2 / 40 ± 10
23	K 625	Pc 50		35 ± 2 / 40 ± 10
24	K 650	Pc 55		30 ± 2 / 40 ± 10
25	K 725	Pc 60		35 ± 2 / 40 ± 10
26	K 750	Pc 65		35 ± 2 / 40 ± 10

Selain kami memproduksi beton dengan spesifikasi diatas kami juga dapat memproduksi beton sesuai dengan spesifikasi atau kebutuhan pelanggan.



TENTANG KAMI

PT Adhix RMC Indonesia fokus pada pembangunan infrastruktur untuk beton segar, semen, agregat dan perlengkapan produksi beton segar Indonesia dengan kualitas terbaik dan harga yang kompetitif. Kami juga menyediakan layanan logistik untuk pengiriman beton segar ke lokasi proyek.

Get the app






MENU

- Profil Perusahaan
- Info dan Download Aplikasi
- Info Lowongan
- Daftar Produk
- Artikel

HUBUNGI KAMI

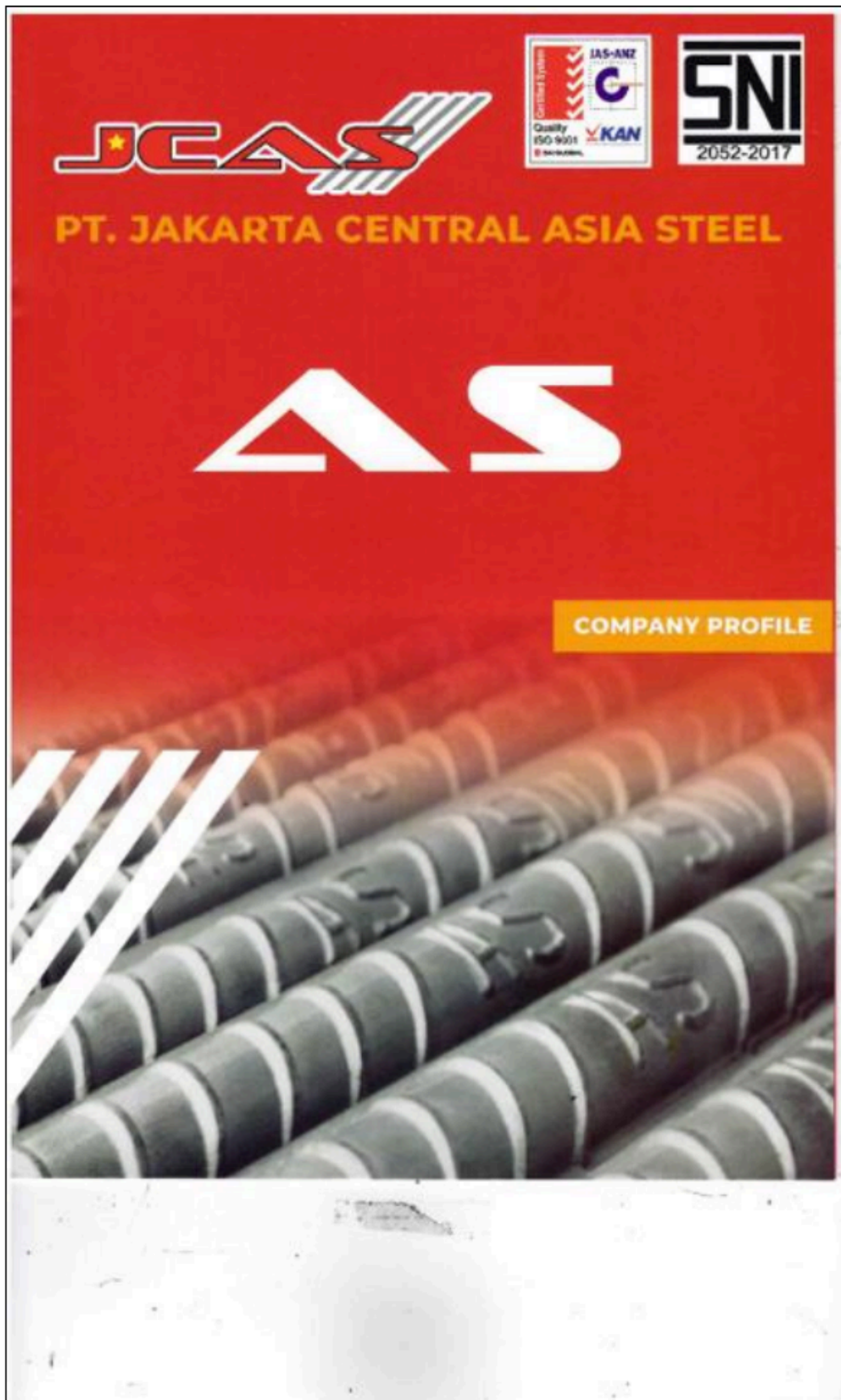
CONTACT OFFICE KAWAH UTARA
 Jl. Raya Pagar Mungku Km. 16,
 Pagar Mungku, Sukoharjo, Sukoharjo

Telp. 021-8222-8888
 Email: info@adhixrmc.co.id
 Website: www.adhixrmc.co.id

Copyright © Adhix RMC 2024.

All rights reserved

Lampiran 2. Brosur Baja Tulangan



Plain Bars

Steel Bars For Concrete Reinforcement Dimension and Tolerance
Dimension and Tolerance

Code No.	Diameter (mm)		Unit Weight		Nominal Cross Section	Nominal Perimeter (mm)
	Nominal	Tolerance	Nominal	Tolerance		
P.8	8	± 0.4	0.395	± 0.4	0.503	25.1
P.10	10	± 0.4	0.617	± 0.4	0.785	31.4
P.12	12	± 0.4	0.888	± 0.4	1.131	37.7
P.16	16	± 0.5	1.578	± 0.5	2.011	50.3
P.19	19	± 0.5	2.226	± 0.5	2.835	59.7
P.22	22	± 0.5	2.984	± 0.5	3.801	69.1
P.25	25	± 0.5	3.853	± 0.5	4.909	78.6
P.28	28	± 0.6	4.834	± 0.6	6.158	88.0
P.32	32	± 0.6	6.313	± 0.6	8.042	100.5

Mechanical Properties

Symbol of Class	Tensile Requirement					Bending Requirement		
	Minimum Yield Point (Kg/cm ²)	Maximum Yield Point (Mpa)	Minimum Tensile Strength (Kg/cm ²)	Minimum Tensile Strength (Mpa)	Code No.	Maximum Elongation in 200 mm (%)	Bending Angle	Code No.
B/TP 280	28 5521	280	35 6901	358	P.8-10	11	180°	P.8-16
					P.15-32	12		P.19-32
								3.5 x 4
								5 x 4



Deformed Bars

Dimension and Tolerance

Code No.	Unit Weight (Kg/m)		Nominal Diameter (mm)	Nominal Cross Section (mm ²)	Nominal Perimeter (mm)	to Height of rings (mm)		P Max Spacing of Rings (mm)	b Max Gaps of Rings (mm)
	Nominal	Tolerance				min	max		
S.8	0.595	±0.6	8	0.503	22.42	0.4	0.8	5.6	6.3
S.10	0.617	±0.6	10	0.785	31.42	0.5	1.0	7.0	7.9
S.13	1.042	±0.6	13	1.327	40.85	0.7	1.3	9.1	10.2
S.16	1.578	±0.5	16	2.011	50.27	0.8	1.6	11.2	12.6
S.19	2.226	±0.5	19	2.835	59.70	1.0	1.9	13.3	14.9
S.22	2.984	±0.5	22	3.801	69.12	1.1	2.2	15.4	17.3
S.25	3.851	±0.5	25	4.909	78.55	1.2	2.5	17.5	19.7
S.29	5.185	±5%	29	6.625	91.12	1.5	2.9	20.5	22.8
S.32	6.315	±4%	32	8.042	100.54	1.6	3.2	22.4	25.1

Mechanical Properties

Symbol of Class	Tensile Requirement				Bending Requirement			
	Minimum Yield Point (Kg/mm ²)	Minimum Yield Point (Mpa)	Minimum Tensile Strength (Kg/mm ²)	Minimum Tensile Strength (Mpa)	Code No.	Minimum Elongation at 200 mm (%)	Bending Angle	Code No.
B/TS 280	28.5521	280	35.6901	350	P.8-10	11	180°	P.8-10
					P.12-32	12		P.12-25
B/TS 420B	52.5251	420	55.5351	525	P.10-19	14	180°	P.10-16
					P.22-32	12		P.19-25
								P.29-32



Lampiran 3. Tabel Perbandingan Simpangan Seluruh Pemodelan Gedung dengan Variasi Luas dan Letak Void

Lantai	Gedung A		Gedung B				Gedung C				Gedung D				Gedung E			
	X	Y	X		Y		X		Y		X		Y		X		Y	
	δ_{xe}	δ_{xe}	δ_{xe}		δ_{xe}		δ_{xe}		δ_{xe}		δ_{xe}		δ_{xe}		δ_{xe}		δ_{xe}	
	mm	mm	%		%		%		%		%		%		%		%	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	2,94	2,92	2,93	-0,376%	2,82	-3,547%	2,93	-0,376%	2,82	-3,584%	2,91	-1,135%	2,84	-2,709%	2,91	-1,135%	2,84	-2,673%
2	8,84	8,76	8,96	1,372%	8,40	-4,310%	8,96	1,372%	8,40	-4,372%	8,80	-0,420%	8,50	-3,143%	8,80	-0,420%	8,50	-3,082%
3	15,66	15,50	16,07	2,527%	14,79	-4,806%	16,07	2,527%	14,79	-4,856%	15,67	0,070%	14,99	-3,422%	15,67	0,070%	15,00	-3,367%
4	23,54	23,35	24,27	2,992%	22,25	-4,945%	24,27	2,992%	22,24	-4,997%	23,60	0,263%	22,56	-3,502%	23,60	0,263%	22,57	-3,452%
5	31,10	30,91	32,23	3,521%	29,41	-5,122%	32,23	3,521%	29,40	-5,157%	31,25	0,480%	29,84	-3,603%	31,25	0,480%	29,85	-3,565%
6	37,87	37,68	39,46	4,034%	35,79	-5,292%	39,46	4,034%	35,78	-5,318%	38,13	0,687%	36,34	-3,696%	38,13	0,687%	36,35	-3,670%
7	43,84	43,66	45,92	4,534%	41,40	-5,454%	45,92	4,532%	41,40	-5,471%	44,23	0,889%	42,07	-3,777%	44,23	0,889%	42,08	-3,764%
8	50,62	50,68	53,14	4,744%	48,08	-5,393%	53,14	4,742%	48,08	-5,401%	51,13	0,988%	48,87	-3,704%	51,13	0,990%	48,87	-3,702%
9	57,21	57,71	60,18	4,945%	54,87	-5,167%	60,18	4,940%	54,87	-5,169%	57,86	1,123%	55,75	-3,518%	57,86	1,127%	55,74	-3,522%
10	61,78	62,67	65,13	5,142%	59,75	-4,897%	65,13	5,138%	59,75	-4,890%	62,58	1,274%	60,67	-3,307%	62,58	1,277%	60,66	-3,320%
($\bar{x}$)	33,34	33,38	34,83	3,344%	31,76	-4,893%	34,83	3,342%	31,75	-4,922%	33,62	0,422%	32,24	-3,438%	33,62	0,423%	32,25	-3,412%

Lampiran 4. Tabel Perbandingan Simpangan Antar Lantai Seluruh Pemodelan Gedung dengan Variasi Luas dan Letak *Void*

Lantai	Gedung A		Gedung B				Gedung C				Gedung D				Gedung E			
	X	Y	X		Y		X		Y		X		Y		X		Y	
	Δi		Δi		Δi		Δi		Δi		Δi		Δi		Δi		Δi	
	mm	mm	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
1	10,78	10,70	10,74	-0,376%	10,34	-3,547%	10,74	-0,376%	10,33	-3,584%	10,66	-1,135%	10,42	-2,709%	10,66	-1,135%	10,42	-2,673%
2	21,64	21,42	22,13	2,220%	20,46	-4,694%	22,13	2,220%	20,45	-4,770%	21,62	-0,068%	20,73	-3,361%	21,62	-0,068%	20,74	-3,288%
3	25,01	24,72	26,04	3,984%	23,44	-5,459%	26,04	3,984%	23,43	-5,492%	25,18	0,699%	23,82	-3,787%	25,18	0,699%	23,83	-3,739%
4	28,89	28,75	30,07	3,902%	27,33	-5,219%	30,07	3,902%	27,31	-5,276%	29,08	0,643%	27,74	-3,662%	29,08	0,643%	27,75	-3,621%
5	27,71	27,74	29,21	5,134%	26,25	-5,671%	29,21	5,134%	26,25	-5,656%	28,04	1,151%	26,69	-3,915%	28,04	1,151%	26,69	-3,915%
6	24,82	24,83	26,50	6,324%	23,41	-6,077%	26,50	6,324%	23,42	-6,060%	25,23	1,627%	23,85	-4,120%	25,23	1,627%	23,84	-4,152%
7	21,88	21,92	23,68	7,589%	20,58	-6,484%	23,67	7,574%	20,59	-6,446%	22,36	2,148%	21,02	-4,292%	22,36	2,148%	21,00	-4,365%
8	24,89	25,72	26,50	6,075%	24,49	-5,015%	26,50	6,075%	24,50	-4,968%	25,30	1,623%	24,91	-3,253%	25,30	1,638%	24,90	-3,314%
9	24,15	25,77	25,81	6,463%	24,89	-3,566%	25,81	6,436%	24,90	-3,520%	24,68	2,155%	25,22	-2,195%	24,68	2,169%	25,21	-2,240%
10	16,76	18,22	18,13	7,544%	17,88	-1,866%	18,13	7,544%	17,90	-1,762%	17,30	3,116%	18,05	-0,914%	17,30	3,116%	18,03	-1,037%
($\bar{x}$)	22,65	22,98	23,88	4,886%	21,91	-4,760%	23,88	4,882%	21,91	-4,753%	22,94	1,196%	22,24	-3,221%	22,95	1,199%	22,24	-3,234%

Lampiran 5. Tabel Perbandingan Kontrol P-Delta Seluruh Pemodelan Gedung dengan Variasi Luas dan Letak *Void*

Lantai	Gedung A		Gedung B				Gedung C				Gedung D				Gedung E			
	X	Y	X		Y		X		Y		X		Y		X		Y	
	θ		θ	%	θ	%	θ	%	θ	%	θ	%	θ	%	θ	%	θ	%
1	0,007000	0,00695	0,00726	3,622%	0,00633	-9,782%	0,00726	3,620%	0,00633	-9,839%	0,00695	-0,665%	0,00650	-6,976%	0,00695	-0,663%	0,00650	-6,926%
2	0,012450	0,01234	0,01325	6,015%	0,01110	-11,160%	0,01325	6,012%	0,01109	-11,258%	0,01249	0,302%	0,01145	-7,774%	0,01249	0,304%	0,01146	-7,685%
3	0,012880	0,01273	0,01394	7,630%	0,01135	-12,195%	0,01394	7,628%	0,01134	-12,248%	0,01300	0,961%	0,01175	-8,381%	0,01300	0,963%	0,01175	-8,318%
4	0,013650	0,01358	0,01476	7,504%	0,01212	-12,063%	0,01476	7,501%	0,01211	-12,142%	0,01377	0,855%	0,01254	-8,330%	0,01377	0,858%	0,01255	-8,273%
5	0,012010	0,01201	0,01313	8,512%	0,01066	-12,641%	0,01313	8,510%	0,01066	-12,647%	0,01216	1,253%	0,01105	-8,666%	0,01216	1,255%	0,01105	-8,649%
6	0,009870	0,00985	0,01089	9,359%	0,00871	-13,139%	0,01089	9,357%	0,00871	-13,147%	0,01002	1,571%	0,00904	-8,934%	0,01002	1,572%	0,00904	-8,947%
7	0,007890	0,00788	0,00878	10,080%	0,00694	-13,624%	0,00878	10,065%	0,00694	-13,614%	0,00804	1,846%	0,00722	-9,160%	0,00804	1,847%	0,00722	-9,210%
8	0,008050	0,00827	0,00873	7,870%	0,00738	-12,069%	0,00873	7,870%	0,00738	-12,054%	0,00813	1,003%	0,00765	-8,075%	0,00813	1,018%	0,00765	-8,106%
9	0,006790	0,00718	0,00734	7,580%	0,00651	-10,201%	0,00734	7,554%	0,00651	-10,192%	0,00688	1,314%	0,00672	-6,750%	0,00688	1,329%	0,00672	-6,759%
10	0,003530	0,00378	0,00389	9,130%	0,00355	-6,442%	0,00389	9,132%	0,00355	-6,375%	0,00364	3,026%	0,00363	-4,005%	0,00364	3,026%	0,00363	-4,089%
($\bar{x}$)	0,009410	0,00946	0,01020	7,730%	0,00847	-11,332%	0,01020	7,725%	0,00846	-11,352%	0,00951	1,147%	0,00876	-7,705%	0,00951	1,151%	0,00876	-7,696%

Lampiran 6. Tabel Perbandingan Gaya Dalam Balok dan Kolom Seluruh Pemodelan Gedung dengan Variasi Luas dan Letak Void

Tipe Duan Struktur	Lantai	Bentuk	Kolom A			Kolom B			Kolom C			Kolom D			Kolom E									
			M _u	V _u	T _u	M _u	V _u	T _u	M _u	V _u	T _u	M _u	V _u	T _u	M _u	V _u	T _u							
			kNm	kN	kNm	kNm	kN	kNm	kNm	kN	kNm	kNm	kN	kNm	kNm	kN	kNm	kN	kNm					
BX 1	1-3	Trapesium (+)	297,38	507,93		600,65	2,112%	564,2	9,601%	292,68	7,1520%	585,54	2,349%	564,0	9,601%	585,53	0,440%	564,56	10,011%	564,61	0,49%			
		Trapesium (+)	301,44			250,07	5,225%	364,39	8,6408%	262,37	1,520%	316,54	2,497%	364,39	8,6408%	262,37	1,520%	316,54	2,497%	364,39	8,6408%			
		Trapesium (+)	15,00	184,41		98,19	0,121%	164,39	0,1408%	98,19	0,121%	164,39	0,1408%	98,19	0,121%	164,39	0,1408%	98,19	0,121%	164,39	0,1408%			
BX 2	4-7	Trapesium (+)	292,99	492,20		607,37	2,106%	534,74	9,638%	251,18	7,6280%	519,92	2,337%	534,5	9,638%	519,91	0,457%	534,6	9,637%	534,7	0,457%			
		Trapesium (+)	66,16			257,51	5,594%	342,36	8,642%	262,37	1,520%	316,54	2,497%	342,36	8,642%	262,37	1,520%	316,54	2,497%	342,36	8,642%			
		Trapesium (+)	15,00	184,41		98,19	0,121%	164,39	0,1408%	98,19	0,121%	164,39	0,1408%	98,19	0,121%	164,39	0,1408%	98,19	0,121%	164,39	0,1408%			
BX 3	8-10	Trapesium (+)	231,12	235,29		238,17	2,065%	211,75	1,927%	85,49	5,6301%	192,47	4,963%	211,6	1,926%	192,46	0,462%	211,7	4,963%	211,8	0,462%			
		Trapesium (+)	180,41			164,57	8,604%	164,57	8,604%	164,57	8,604%	164,57	8,604%	164,57	8,604%	164,57	8,604%	164,57	8,604%	164,57	8,604%			
		Trapesium (+)	34,40	126,44		99,64	1,100%	12,25	2,106%	99,64	1,100%	12,25	2,106%	99,64	1,100%	12,25	2,106%	99,64	1,100%	12,25	2,106%			
(D)		Trapesium (+)	297,53	325,19	48,31	273,54	-4,806%	544,61	8,606%	211,12	-68,348%	260,78	-4,271%	544,61	8,606%	260,78	-4,271%	544,61	8,606%	260,78	-4,271%			
		Trapesium (+)	397,22	427,13		146,10	-5,794%	407,25	-12,849%	211,12	-68,348%	260,78	-4,271%	407,25	-12,849%	260,78	-4,271%	407,25	-12,849%	260,78	-4,271%			
		Trapesium (+)	301,46			321,80	-5,796%	364,39	-12,849%	211,12	-68,348%	260,78	-4,271%	364,39	-12,849%	260,78	-4,271%	364,39	-12,849%	260,78	-4,271%			
BX 1	1-3	Trapesium (+)	912	240,69		6,30	-46,858%	229,24	-4,669%	211,12	-68,348%	260,78	-4,271%	229,24	-4,669%	260,78	-4,271%	229,24	-4,669%	260,78	-4,271%			
		Trapesium (+)	282,85	421,13		161,61	-5,535%	384,66	-12,849%	211,12	-68,348%	260,78	-4,271%	384,66	-12,849%	260,78	-4,271%	384,66	-12,849%	260,78	-4,271%			
		Trapesium (+)	84,108			134,60	-5,257%	164,57	-12,849%	211,12	-68,348%	260,78	-4,271%	164,57	-12,849%	260,78	-4,271%	164,57	-12,849%	260,78	-4,271%			
BX 2	4-7	Trapesium (+)	593	229,13		38,33	44,23%	218,39	-5,022%	211,12	-68,348%	260,78	-4,271%	218,39	-5,022%	260,78	-4,271%	218,39	-5,022%	260,78	-4,271%			
		Trapesium (+)	359,61	177,24		121,68	-3,746%	170,76	-0,276%	80,36	62,188%	121,68	-3,746%	170,76	-0,276%	121,68	-3,746%	170,76	-0,276%	121,68	-3,746%			
		Trapesium (+)	95,04			91,44	-4,311%	91,44	-4,311%	80,36	62,188%	91,44	-4,311%	91,44	-4,311%	91,44	-4,311%	91,44	-4,311%	91,44	-4,311%			
BX 3	8-10	Trapesium (+)	21,84	79,32		43,88	-7,579%	75,64	-4,311%	80,36	62,188%	43,88	-7,579%	75,64	-4,311%	43,88	-7,579%	75,64	-4,311%	43,88	-7,579%			
		Trapesium (+)	47,18			145,76	-5,085%	247,64	6,551%	87,22	79,321%	145,76	-5,085%	247,64	6,551%	87,22	79,321%	145,76	-5,085%	247,64	6,551%			
		Trapesium (+)	81,62	206,16	11,20	100,17	-4,546%	72,30	-2,411%	154	48,153%	100,17	-4,546%	72,30	-2,411%	100,17	-4,546%	72,30	-2,411%	100,17	-4,546%			
BA 1	1-3	Trapesium (+)	54,02			49,97	-8,113%	63,16	-3,598%	154	48,153%	49,97	-8,113%	63,16	-3,598%	49,97	-8,113%	63,16	-3,598%	49,97	-8,113%			
		Trapesium (+)	35,29	70,28		42,36	-4,444%	66,30	-2,367%	154	48,153%	42,36	-4,444%	66,30	-2,367%	42,36	-4,444%	66,30	-2,367%	42,36	-4,444%			
		Trapesium (+)	44,2			74,52	-4,253%	56,64	-2,709%	135	56,339%	74,52	-4,253%	56,64	-2,709%	74,52	-4,253%	56,64	-2,709%	74,52	-4,253%			
BA 2	4-7	Trapesium (+)	77,60	38,19		29,56	-9,596%	31,67	-9,596%	135	56,339%	29,56	-9,596%	31,67	-9,596%	29,56	-9,596%	31,67	-9,596%	31,67	-9,596%			
		Trapesium (+)	31,67			29,58	-4,294%	51,12	-3,969%	135	56,339%	29,58	-4,294%	51,12	-3,969%	29,58	-4,294%	51,12	-3,969%	29,58	-4,294%			
		Trapesium (+)	31,89	54,67		14,02	1,788%	14,02	1,788%	126	76,300%	14,02	1,788%	14,02	1,788%	14,02	1,788%	14,02	1,788%	14,02	1,788%			
BA 3	8-10	Trapesium (+)	13,77	43,23		50,54	-2,067%	40,32	0,172%	126	76,300%	50,54	-2,067%	40,32	0,172%	50,54	-2,067%	40,32	0,172%	50,54	-2,067%			
		Trapesium (+)	11,77			14,02	1,788%	14,02	1,788%	126	76,300%	14,02	1,788%	14,02	1,788%	14,02	1,788%	14,02	1,788%	14,02	1,788%			
		Trapesium (+)	10,81	43,73		14,14	-1,728%	6,81	0,82%	126	76,300%	14,14	-1,728%	6,81	0,82%	14,14	-1,728%	6,81	0,82%	14,14	-1,728%			
(E)		Trapesium (+)	42,62	59,68	6,56	46,76	-4,296%	57,60	4,170%	138	68,301%	46,76	-4,296%	57,60	4,170%	46,76	-4,296%	57,60	4,170%	46,76	-4,296%			
		Trapesium (+)	81,62	206,16	11,20	100,17	-4,546%	72,30	-2,411%	154	48,153%	100,17	-4,546%	72,30	-2,411%	100,17	-4,546%	72,30	-2,411%	100,17	-4,546%			
		Trapesium (+)	54,02			49,97	-8,113%	63,16	-3,598%	154	48,153%	49,97	-8,113%	63,16	-3,598%	49,97	-8,113%	63,16	-3,598%	49,97	-8,113%			

Tipe Elemen Struktur	Lantai	Gedung A			Gedung B			Gedung C			Gedung D			Gedung E		
		V_u kN	P_u kN	V_u/P_u %	V_u kN	P_u kN	V_u/P_u %	V_u kN	P_u kN	V_u/P_u %	V_u kN	P_u kN	V_u/P_u %	V_u kN	P_u kN	V_u/P_u %
K1	1 - 3	3483,53	4601,08	3589,08	3589,08	4950,22	2,941%	3516,33	4612,97	0,933%	3482,07	4526,66	-1,644%	3524,25	4568,81	-0,708%
K2	4 - 7	1917,34	2855,25	1999,83	1999,83	3066,74	4,125%	1940,15	2858,13	1,175%	1920,50	2811,56	-1,554%	1944,06	2836,63	-0,656%
K3	8 - 10	1002,03	1005,58	1002,03	1002,03	921,66	0,000%	993,86	921,58	-0,822%	986,06	984,01	-2,192%	994,15	979,94	-2,616%
(i)		2134,30	2820,64	2196,98	2196,98	2986,21	2,353%	2150,11	2797,56	0,429%	2136,21	2774,08	-1,797%	2154,15	2795,13	-1,328%

Lampiran 7. Bukti Nilai *Plagiarism*

629e2240d2d31a69_PENGARUH LETAK DAN LUAS VOID TERHADAP KEKUATAN DAN KINERJA STRUKTUR SRPMK GEDUNG 10 LANTAI

ORIGINALITY REPORT

18%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	repository.unissula.ac.id Internet	2376 words — 2%
2	repository.its.ac.id Internet	2263 words — 2%
3	repository.ummat.ac.id Internet	2176 words — 2%
4	dspace.uui.ac.id Internet	1667 words — 2%
5	www.scribd.com Internet	1290 words — 1%
6	repository.umsu.ac.id Internet	796 words — 1%
7	eprints.itn.ac.id Internet	773 words — 1%
8	e-journal.uajy.ac.id Internet	731 words — 1%
9	Rusi Rusmiati Aliyyah, Sri Wahyuni Ulfah, Endang Sri Budi Herawati, Reza Rachmadtullah, Andes Safarandes Asmara. "Bidikmisi: Analisis Pelaksanaan Program Beasiswa Pendidikan Tinggi", Journal Of	559 words — 1%

Lampiran 8. Letter of Acceptance (LoA) Jurnal

	UNDIKNAS UNIVERSITAS PENDIDIKAN NASIONAL Jl. Bedugul No.39 Sidosakra, Denpasar, Bali 80228 Email: info@undiknas.ac.id Website: www.undiknas.ac.id	
Dear Authors, On the behalf of the Call for Papers Jurnal Reinforcement: Review in Civil Engineering Studies and Management Volume 5 Number 1, we are pleased to inform that your paper entitled: "Pengaruh Letak dan Luas Void Terhadap Perilaku dan Kekuatan Struktur SRPMK Gedung 10 Lantai" Written by M. Ubaidil Fikri, Bantot Sutriyono, Retno Trimurtiningrum, Has been ACCEPTED and will be proceeded to be published in Jurnal Reinforcement: Review in Civil Engineering Studies and Management Volume 5 Number 1, April 2026. We congratulate on your achievement. The technical issues about the publication will be informed later. Thank you very much for participating in our journal.		
April 29, 2026 Best Regards, Head of Research and Journal Publication Universitas Pendidikan Nasional  Ir. Adi Wahyudi Oktavia Gama S.T., M.T., I.P.M., ASEAN Eng. NPP: 02.01.19.295		
  Undiknas  Undiknas Official  UndiknasUniversity  0361-723858  0021-6647-3167		

1

Lampiran 9. Lembar Bimbingan dan Persetujuan Sidang Tugas Akhir



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

LEMBAR BIMBINGAN & PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING

Periode Semester Genap 2025/2026

Nama Mahasiswa	:	M. Ubaidil Fikri	
NIM	:	1432200048	
Alamat Rumah / Kost	:	Dusun Karangketak Desa Wonokalang RT 004 RW 002 Wononyu Sidoarjo	
Nomor Telp/Hp/Whatsapp	:	085780465029	
Dosen Pembimbing 1	:	Ir. Bantot Sutrisno, M.Sc., M.T.	
Dosen Pembimbing 2	:	Ir. Retno Trimurtiningrum, S.T., M.T	
Tanggal Kepesertaan Pembekalan Tugas Akhir	:	KAMIS, 29 JANUARI 2026	
Nama dan Tanggal Publish Jurnal	:	Nama Jurnal/seminar : REINFORCEMENT BEHAVIOR IN CIVIL ENGINEERING	Paraf koordinator jurnal 
	:	Link Jurnal : STUDIES AND MANAGEMENT	
	:	Tanggal Publish Jurnal/Seminar :	

Judul Tugas Akhir :

PENGARUH LETAK DAN LUAS VOID TERHADAP KEKUATAN DAN KINERJA STRUKTUR SRPMK GEDUNG 10 LANTAI

Dosen Pembimbing 1

[Signature]
(Ir. Bantot Sutrisno, M.Sc.)

Dosen Pembimbing 2

[Signature]
(Ir. Retno Trimurtiningrum, S.T., M.T)

Persetujuan Koordinator TA

[Signature] acc 11/5
(Dr. Ir. Dika Ayu Safitri, ST., MT., Ph.D)

Keterangan :

1. Bimbingan WAJIB dilakukan minimal 2 minggu sekali
2. Mahasiswa WAJIB sudah melakukan publikasi jurnal / seminar nasional / internasional yang terakreditasi
3. Segala bentuk pelanggaran dapat dikenakan sanksi dari Program Studi Teknik Sipil Untag Surabaya

Mengetahui,

Ka. Program Studi Teknik Sipil

[Signature]
(Ir. Michella Beatrix, ST., MT.)



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

LEMBAR BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Minggu	No	Tanggal	Uraian Perbaikan / Konsultasi	Paraf Dosen Pembimbing
Ke - 1 dan 2 Perkuliahan		4/3 '26	Preliminary design	.Pz
Ke - 3 dan 4 Perkuliahan		27/3 '26	Penilakan Struktur balok Gump (Kedua Batahan)	Pz
Ke - 5 dan 6 Perkuliahan		10/4 '26	Revisi jurnal	Pz
Ke - 7 dan 8 Perkuliahan		28/4 '26	Revisi sesuai catatan	Pz
		5/5 '26	Kesimpulan perpendek @ referensi jurnal	Pz



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

LEMBAR BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Minggu	No	Tanggal	Uraian Perbaikan / Konsultasi	Paraf Dosen Pembimbing
Ke - 9 dan 10 Perkuliahan		7/5/26	Jawaban : R. Murah 1. OK - gambar di revisi agar lebih terbaca - Kusenja : di lindungi dengan kayu lapis kawat - Sirip dan pte : prosedur instalasi	
Ke - 11 dan 12 Perkuliahan		7/5/26	Rev. sesuai catatan	RHS
		7/5/26	ACE	
Ke - 13 dan 14 Perkuliahan				
Ke - 15 Perkuliahan				

Lampiran 10. Lembar Perintah Revisi Sidang Tugas Akhir



PROGRAM STUDI SI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA
Jl. Semolowatu No. 45, Surabaya 60118
Homepage : www.sipil.untag-sby.ac.id Email : sipil@untag-sby.ac.id

Lampiran 3

PERINTAH REVISI SIDANG TUGAS AKHIR (SESL2)
TAHUN AKADEMIK GENAP 2025/2026

Yang bertandatangan di bawah ini, Dosen Penguji Sidang Tugas Akhir (TA) pada tanggal **Selasa, 02 Juni 2026** dari Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil :

Nama Mahasiswa : M. Ubaidil Fikri
NBI/NIM : 1432200048
Judul : Pengaruh Letak dan Luas Void Terhadap Kekuatan dan Kinerja Struktur SRPMK Gedung 10 Lantai

Memerintahkan untuk memperbaiki dokumen Tugas Akhir (TA) Sebagai berikut :

No	URAIAN PERBAIKAN	PARAF DOSEN (setelah perbaikan)
	<i>Flow chart nya di perbaiki lagi :</i> <i>1. bahwa ada pekerjaan berulang untuk bangunan ber void. b.c. j. e</i> <i>2. Perbaikan untuk penban dangan nya cukup di hand sign perbaikan ke bagian nya</i>	<i>[Signature]</i> <i>[Signature]</i> <i>[Signature]</i>

Dari Sidang Tugas Akhir yang telah dilakukan maka mahasiswa dinyatakan:

☐ : Lulus tanpa perbaikan
☐ : Lulus dengan perbaikan
☐ : Dilakukan Sidang TA ulang

(Dosen Penguji dapat memberikan tanda centang (✓) pada kotak yang tersedia)

Surabaya, **02 Juni 2026**
 Penguji,

(Ir. Bantot Sutrisno, M.Sc.)



**PROGRAM STUDI SI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA**

Jl. Semolowaru No. 45, Surabaya 60118
Homepage : www.sipil.untag-sby.ac.id Email : sipil@untag-sby.ac.id

Lampiran 3

**PERINTAH REVISI SIDANG TUGAS AKHIR (SESI 2)
TAHUN AKADEMIK GENAP 2025/2026**

Yang bertandatangan di bawah ini, Dosen Penguji Sidang Tugas Akhir (TA) pada tanggal Selasa, 02 Juni 2026 dari Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil :

Nama Mahasiswa : M. Ubaidil Fikri

NBI/NIM : 1432200048

Judul : Pengaruh Letak dan Luas Void Terhadap Kekuatan dan Kinerja Struktur SRPMK Gedung 10 Lantai

Memerintahkan untuk memperbaiki dokumen Tugas Akhir (TA) Sebagai berikut :

No	URAIAN PERBAIKAN	PARAF DOSEN (setelah perbaikan)
	- perbaiki latar blkg - tambahkan ukuran gambar di Gul 3 - perbaiki Tabel perhitungan Kespun Struktur - hal 274 tambah sketsa - hal 369 perbaiki - tambahkan lampiran terkait masalah yg ada dan Solusi	 18 Juni 2026

Dari Sidang Tugas Akhir yang telah dilakukan maka mahasiswa dinyatakan:

- ☐ : Lulus tanpa perbaikan
☒ : Lulus dengan perbaikan
☐ : Dilakukan Sidang TA ulang

(Dosen Penguji dapat memberikan tanda centang (✓) pada kotak yang tersedia)

Surabaya, 02 Juni 2026
Penguji,



(Dr. Ir. Nurul Rochmah, S.T., M.T., M.Sc.)



PROGRAM STUDI SI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

Jl. Semolowaru No. 45, Surabaya 60118
Homepage : www.sipil.umtag-sby.ac.id Email : sipil@umtag-sby.ac.id

Lampiran 3

PERINTAH REVISI SIDANG TUGAS AKHIR (SESI 2)
TAHUN AKADEMIK GENAP 2025/2026

Yang bertandatangan di bawah ini, Dosen Penguji Sidang Tugas Akhir (TA) pada tanggal Selasa, 02 Juni 2026 dari Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil :

Nama Mahasiswa : M. Ubaidil Fikri

NBI/NIM : 1432200048

Judul : Pengaruh Letak dan Luas Void Terhadap Kekuatan dan Kinerja Struktur SRPMK Gedung 10 Lantai

Memerintahkan untuk memperbaiki dokumen Tugas Akhir (TA) Sebagai berikut :

No	URAIAN PERBAIKAN	PARAF DOSEN (setelah perbaikan)
	tambahkan keterangan luas void di gambar 3.4-3.7. cek halaman 306 cek catatan di Buku ya	22/6/25

Dari Sidang Tugas Akhir yang telah dilakukan maka mahasiswa dinyatakan:

- ☐ : Lulus tanpa perbaikan
☒ : Lulus dengan perbaikan
☐ : Dilakukan Sidang TA ulang

(Dosen Penguji dapat memberikan tanda centang (✓) pada kotak yang tersedia)

Surabaya, 02 Juni 2026

Penguji,

(Ir. Retno Trimurtiningrum, S.T., M.T.)

Lampiran 11. Syarat Rekomendasi Cetak Buku Tugas Akhir



Program Studi S1 Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
 Kampus : Jl. Semolowaru No. 45 Surabaya 60118
 Homepage : www.sipil.untag-sby.ac.id E-mail : sipil@untag-sby.ac.id

FORM SYARAT REKOMENDASI CETAK BUKU TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

Nama lengkap	: M. UBAIDIL FIKRI
NBI	: 1432200040

1. Membawa bukti penyelesaian revisi Tugas Akhir yang sudah ditanda tangani oleh masing-masing dosen penguji → Prodi (Riska) 24/10/2026
2. Membawa bukti bimbingan Proposal Tugas Akhir dan Persetujuan mengikuti Seminar Proposal dan Sidang Tugas Akhir (Asli) 24/10
3. Membawa bukti publikasi jurnal yang sudah terbit / sertifikat seminar yang telah diikuti mahasiswa 24/10
4. Pastikan susunan Bab pada Tugas Akhir tersusun sebagai berikut (Klip Hitam)

No	Bab Tugas Akhir	Nama File	Keterangan	Checklist	Ket
1	Halaman Cover/ Sampul Bahasa Indonesia	NIM_Cover_id	Word/Pdf	✓	OK
2	Halaman Cover/ Sampul Bahasa Inggris	NIM_Cover_eng	Word/Pdf	✓	OK
3	Halaman Pengesahan Scan (lengkap ttd)	NIM_Approval_Sheet	Pdf	✓	OK
4	Surat Pernyataan Orisinalitas	NIM_Originalitas_Letter	Pdf (material)	✓	OK
5	Kata Pengantar	NIM_Preface	Word/Pdf	✓	OK
6	Abstrak Bahasa Indonesia	NIM_Abstract_id	Word/Pdf	✓	OK
7	Abstrak Bahasa Inggris	NIM_Abstract_eng	Word/Pdf	✓	OK
8	Daftar Isi	NIM_Table_of_content	Word/Pdf	✓	OK
9	Daftar Gambar	NIM_List_of_Figures	Word/Pdf	✓	OK
10	Daftar Tabel	NIM_List_of_Table	Word/Pdf	✓	OK
11	Isi Tugas Akhir BAB I	NIM_BAB I	Word/Pdf	✓	OK
12	Isi Tugas Akhir BAB II	NIM_BAB II	Word/Pdf	✓	OK
13	Isi Tugas Akhir BAB III	NIM_BAB III	Word/Pdf	✓	OK
14	Isi Tugas Akhir BAB IV	NIM_BAB IV	Word/Pdf	✓	OK
15	Kesimpulan	NIM_Conclusion	Word/Pdf	✓	OK
16	Daftar Pustaka	NIM_Bibliography	Word/Pdf	✓	OK
17	Biodata Penulis	NIM_Author	Word/Pdf	✓	OK
18	Lampiran	NIM_Attachment	Word/Pdf	✓	OK
19	Publikasi Media Massa	NIM_Media Massa	Pdf	✓	OK
20	Surat Tugas Panitia Prodi	NIM_ST Panitia	Pdf	✓	OK

(juga foto Scan)
 Supriatna



Program Studi S1 Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Kampus : Jl. Semolowaru No. 45 Surabaya 60118
Homepage : www.sipiluntag-sby.ac.id

E-mail : sipil@untag-sby.ac.id

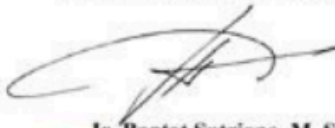
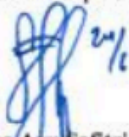
5. Semua kelengkapan dibawa secara *hardfile* dan *softfile*
6. Setelah hardfile sudah sesuai dengan susunan, mahasiswa bisa mengunggah Softfile pada link berikut ini: <https://bit.ly/syaratcetakbukuTA-GNP2526>
7. Surat rekomendasi cetak Buku didapatkan setelah semua syarat cetak Buku terpenuhi. Silahkan tukarkan lembar form ini dengan surat rekomendasi cetak buku di Prodi Teknik Sipil (Riska)

8. ST. prodi → Turnamen futsal 24/06
9. Publikasi jurnal 24/06
10. Turnamen TA 24/06

Surabaya,
Koor. Tugas Akhir Prodi Teknik Sipil,


Dr. Ir. Dika Ayu Safitri, ST., MT., Ph.D
NPP. 20430.15.0655

Lampiran 12. Surat Rekomendasi Cetak Buku Tugas Akhir

	PROGRAM STUDI SI TEKNIK SIPIL
	FAKULTAS TEKNIK
	UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA
	Jl. Semolowaru No. 45, Surabaya 60118
	Homepage : www.sipil.untag-sby.ac.id Email : sipil@untag-sby.ac.id
<u>SURAT REKOMENDASI</u>	
<u>CETAK BUKU TUGAS AKHIR</u>	
Berdasarkan hasil Sidang Tugas Akhir semester Genap 2025/2026 pada hari ini Selasa; Tanggal 02 Juni 2026 yang tercantum di bawah ini :	
Nama Mahasiswa	: M. Ubaidil Fikri
NBI/NIM	: 1432200048
Judul Tugas Akhir	: Pengaruh Letak dan Luas Void terhadap Kekuatan dan Kinerja Struktur SRPMK Gedung 10 Lantai
Dosen Pembimbing Tugas Akhir	: 1. Ir. Bantot Sutriyono, M. Sc. 2. -
Telah melaksanakan Sidang Tugas Akhir yang telah diselenggarakan pada : Hari / Tanggal : Selasa, 02 Juni 2026 dan telah menyelesaikan perbaikan/revisi tugas akhir dengan menyerahkan bukti perbaikan revisi di kantor Program Studi Teknik Sipil Untag Surabaya pada : Hari / Tanggal : Selasa, 23 Juni 2026	
Sehingga mahasiswa dapat melanjutkan proses Cetak Buku Tugas Akhir untuk syarat kelengkapan Yudisium.	
Surabaya, 24 Juni 2026 Menyetujui,	
Dosen Pembimbing Tugas Akhir Prodi Teknik Sipil Untag Surabaya	Koordinator Tugas Akhir Prodi Teknik Sipil Untag Surabaya
 <u>Ir. Bantot Sutriyono, M. Sc.</u> (NPP. 20430.15.0303)	 <u>Dr. Ir. Dika Ayu Safitri, ST., MT., Ph.D. /</u> <u>Mochamad Firmansyah, ST., MT</u> (NPP. 20430.15.0655 / 20430.24.0894)

Lampiran 13. Media Massa Tugas Akhir

The image is a screenshot of a Medium article. At the top, the article title is "Revealing the Effect of Voids on the Strength of Earthquake-Resistant Buildings" by Ubaidifiki. Below the title is a diagram showing five 3D models of buildings, labeled Gedung A through Gedung E. Each model is shown from a perspective view and a corresponding 2D floor plan view. Gedung A and B are on the top row, C and D on the middle row, and E is centered on the bottom row. The buildings have different void configurations. Below the diagram is a caption: "Structural Modeling of SMRF Buildings with Variations in Void Size and Location (Source: Author's Analysis, 2020)". The article text below the diagram discusses the use of voids in modern architecture and their technical implications, particularly in earthquake-prone regions like Indonesia. At the bottom of the screenshot, there is a Medium membership banner that says "Unlock every single story. Medium members get access to everything. Upgrade today".

4/30/26, 9:22 PM

Revealing the Effect of Voids on the Strength of Earthquake-Resistant Buildings | by Ubaidilfikri | Apr, 2026 | Medium

Research conducted by M. Ubaidil Fikri, a Civil Engineering student at Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, examines the effect of the location and size of voids in a 10-story building with a Special Moment Resisting Frame (SMRF) system, which is designed to provide high resistance to seismic loads. In this study, several building models were developed, ranging from structures without voids to those with various configurations of void location and size. The analysis considered dead loads, live loads, wind loads, and seismic loads, followed by a structural performance evaluation using pushover analysis to understand the building behavior up to nonlinear conditions.

The results show that the presence of voids can lead to structural irregularities in terms of both mass and stiffness distribution. This condition has the potential to induce excessive torsion when the building is subjected to seismic loads and to increase inter-story drift, which may affect occupant comfort and safety. In addition, the internal force distribution in structural elements such as beams and columns also changes significantly, requiring more careful design of member dimensions and reinforcement to meet strength and performance requirements.

Nevertheless, voids do not always have a negative impact on building structures. With proper planning, particularly in determining the location and size of voids, buildings can still meet the required structural performance standards. This indicates that the use of voids remains feasible as long as it is supported by adequate structural analysis. This study is expected to serve as a reference for designers and construction practitioners in understanding the influence of void configuration on structural performance and as a guideline in designing multi-story buildings that are not only aesthetically pleasing but also safe and resistant to seismic loads.

Paper Sign Structure High Building Smart News



Written by Ubaidilfikri

Edit profile

0 followers · 1 following

Mahasiswa Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

No responses yet



Ubaidilfikri

What are your thoughts?

<https://medium.com/@ubaidilfikri456/revealing-the-effect-of-voids-on-the-strength-of-earthquake-resistant-buildings-2ffb3454db95>

2/3

Lampiran 14. Surat Tugas Panitia Prodi

	
UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 (UNTAG) SURABAYA FAKULTAS TEKNIK	
Kampus : Jl. Semokawu No. 45 Surabaya 60118 Telp. +62 31 5931800 (hunting) Fax. +62 31 5927817	
- Program Studi Teknik Industri - Program Studi Teknik Mesin - Program Studi Teknik Sipil - Program Studi Arsitektur	
- Program Studi Magister Teknik Sipil - Program Studi Magister Arsitektur - Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur	
Homepage : ft.untag-sby.ac.id Email : teknik@untag-sby.ac.id	
<u>SURAT TUGAS</u> Nomor : 912.1/K/FT/XI/2025	
1. Pemberi Tugas	
Nama	: Dr. Ir. Ar. R.A. Retno Hastijanti, MT., IPU., IAL., APEC Eng
NPP	: 20440.91.0218
Jabatan	: Dekan Fakultas Teknik UNTAG Surabaya
2. Memberi Tugas Kepada	
Nama	: Terlampir
NPP	: Terlampir
3. Waktu	: Minggu, 16 November 2025 15.00 WIB – Selesai
4. Tujuan	: Gor AWS Futsal & Volley Indoor Nginden Intan Timur I No.18, Nginden Jangkungan, Kec. Sukolilo, Surabaya
5. Keperluan	: Sebagai Panitia pada Kegiatan "Turnamen Futsal : Unity in Sport, Strength in Friendship"
6. Keterangan	: Diharap melaporkan kegiatan setelah menyelesaikan tugas ke Dekan Fakultas Teknik

Demikian surat tugas ini diterbitkan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 13 November 2025
Dekan,


Dr. Ir. Ar. R.A. Retno Hastijanti, MT., IPU., IAL., APEC Eng.
NPP. 20440.91.0218

Tembusan :
1. Arsip

Lampiran Surat Tugas Dekan Fakultas Teknik
Nomor : 912.1/K/FT/XI/2025

DAFTAR NAMA PANITIA

Periode/Tanggal : Minggu, 16 November 2025

NO.	NAMA	NPP / NBI	KETERANGAN
1	Ir. Michella Beatrix, ST., MT	2043F.15.0660	Penanggungjawab Umum
2	Dr. Ir. Dika Ayu Safitri, ST., MT., Ph.D	20430.15.0655	Dosen Pembimbing Kegiatan
3	Riska Carollina, SE	23.8690	Admin Pelaksana
4	M. Ubaidil Fikri	1432200048	Ketua Pelaksana
5	Gisella Benzeline Bosawer	1432400041	Sekretaris
6	Naila Litololy	1432400048	Bendahara
7	Wisnu Edi Suprayitno	1432200057	Sie Acara
8	Tio Firman Syah	1432200060	Sie Humas
9	Virgia Ayung Pratama	1432400069	Sie Pubdekdok
10	Maulidya Ainal Izza	1432400101	Sie Pubdekdok
11	Sodiq Cahyo Utomo	1423400112	Sie Pubdekdok
12	Ariya Dafa Praduta	1432300062	Sie Keamanan
13	Clara Yosinta Israella Rahayaan	1432400019	Sie Konsumsi
14	Serliana Riati	1432400020	Sie Konsumsi
15	Marsya Berliana Rachmanitha	1432300107	Sie Kesehatan
16	Aisyah Nur Hasanah	1432300111	Sie Kesehatan

Surabaya, 13 November 2025

Dekan,



Dr. Ir. Ar. R. Retno Hastjanti, MT., IPU., IAL., APEC Eng.
NPP. 20440.91.0218



Program Studi S1 Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Alamat : Jl. Semolowaru No. 45 Surabaya 60118
Homepage : www.sipil.untag-sby.ac.id E-mail : sipil@untag-sby.ac.id

Nomor : 288.1/K/TS/XI/2025

Lamp. : 1 berkas

Perihal : ***Permohonan Surat Tugas Panitia Kegiatan***
Semester Gasal 2025/2026

Kepada : Yth. Dekan Fakultas Teknik
Universitas 17 Agustus 1945
S u r a b a y a

Dengan Hormat,

Sehubungan dengan akan dilaksanakan kegiatan "Turnamen Futsal" dengan tema *Unity in Sport, Strength in Friendship* yang akan diikuti oleh mahasiswa Prodi Teknik Sipil UNTAG Surabaya, maka kami selaku Ka. Prodi Teknik Sipil ingin mengajukan Surat Tugas untuk Panitia dari kegiatan tersebut. Adapun data untuk nama-nama Panitia adalah sebagaimana terlampir. Kegiatan ini akan dilaksanakan pada:

Hari/tanggal : Minggu, 16 November 2025
Waktu : 15.00 WIB - Selesai
Tempat : Gor AWS Futsal & Volley Indoor
Nginden Intan Timur I No.18, Nginden Jangkungan,
Kec. Sukolilo, Surabaya
Peserta : Mahasiswa Prodi Teknik Sipil UNTAG Surabaya
Acara : Pelaksanaan Turnamen Futsal
Dengan Tema: *Unity in Sport, Strength in Friendship*

Demikian surat permohonan ini kami buat, atas perkenan dan juga kerja samanya diucapkan terimakasih

Surabaya, 07 November 2025
Ka. Prodi Teknik Sipil

Ir. Michella Beatrix ST., MT
NPP. 2043F.15.0660

Lampiran 1

Nomor : 288.1/K/TS/XI/2025

Perihal : Permohonan Surat Tugas Panitia Kegiatan

Daftar Nama Panitia Turnamen Futsal 2025
Program Studi Teknik Sipil
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Periode/Tanggal : Minggu, 16 November 2025

Nama	NPP/NBI	Struktur Panitia
Ir. Michella Beatrix, ST., MT	2043F.15.0660	Penanggungjawab Umum
Dr. Ir. Dika Ayu Safitri, ST., MT., Ph.D	20430.15.0655	Dosen Pembimbing Kegiatan
Riska Carolina, SE	23.8690	Admin Pelaksana
M. Ubaidil Fikri	1432200048	Ketua Pelaksana
Gisella Benzeline Bosawer	1432400041	Sekretaris
Naila Litiloly	1432400048	Bendahara
Wisnu Edi Suprayitno	1432200057	Sie Acara
Tio Firman Syah	1432200060	Sie Humas
Virgia Ayung Pratama	1432400069	Sie Pubdekdok
Maulidya Ainal Izza	1432400101	Sie Pubdekdok
Sodiq Cahyo Utomo	1423400112	Sie Pubdekdok
Ariya Dafa Praduta	1432300062	Sie Keamanan
Clara Yosinta Israella Rahayaan	1432400019	Sie Konsumsi
Serliana Riati	1432400020	Sie Konsumsi
Marsya Berliana Rachmanitha	1432300107	Sie Kesehatan
Aisyah Nur Hasanah	1432300111	Sie Kesehatan

Surabaya, 07 November 2025

Ka. Prodi Teknik Sipil



Ir. Michella Beatrix, ST., MT
NPP. 2043F.15.0660

Lampiran 15. Bukti Korespondensi Artikel Tugas Akhir

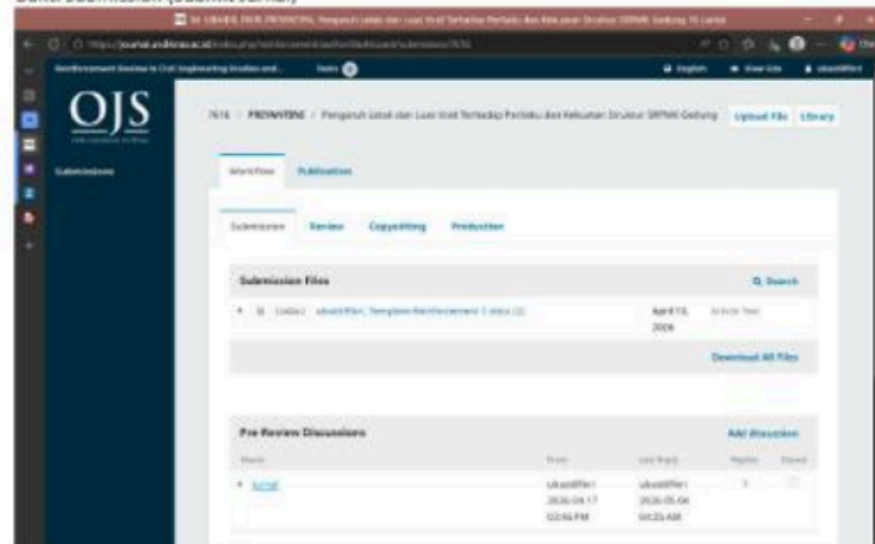
BUKTI KORESPONDENSI

ARTIKEL JURNAL NASIONAL BEREPUTASI

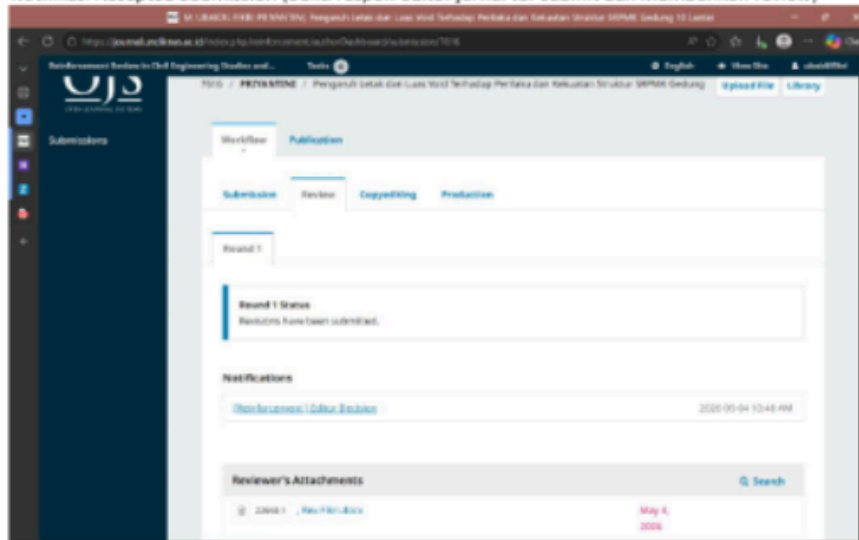
Judul Artikel	: Pengaruh Letak dan Luas Void Terhadap Perilaku dan Kekuatan Struktur SRPMK Gedung 10 Lantai
Jurnal	: Reinforcement Review in Civil Engineering Studies and Management
Penulis (email)	: 1432200048@surel.untag-sby.ac.id bantot@untag-sby.ac.id retnotrimurti@untag-sby.ac.id *
Submission Files (Journal)	: 13 April 2026
Pemberitahuan Penerimaan Artikel	: 25 April 2026
Bukti konfirmasi review dan hasil review pertama	: 4 Mei 2026
Bukti konfirmasi dan submit revisi	: 8 Mei 2026
Bukti Accept Submitted Revision Article	: 11 Mei 2026
Bukti Pengiriman LoA	: 19 Mei 2026
Bukti konfirmasi artikel published	: 26 Mei 2026

LAMPIRAN KORESPONDENSI JURNAL

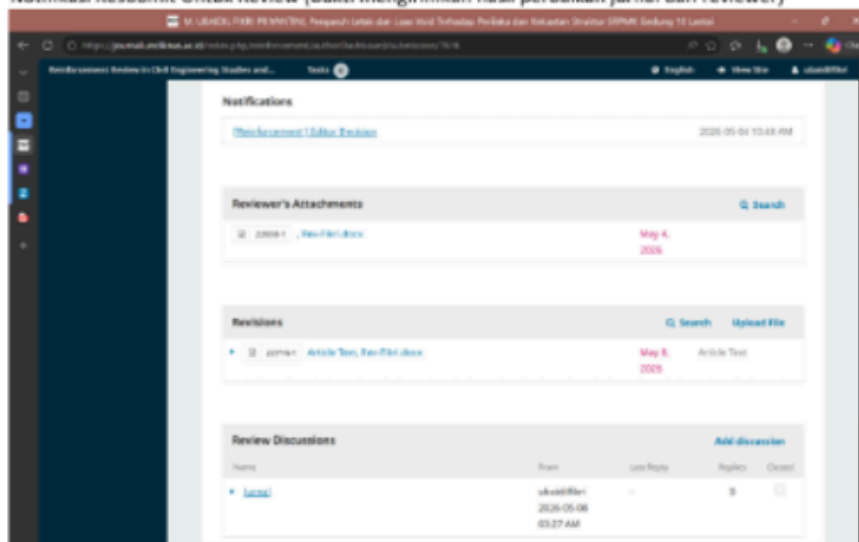
1. Bukti Submission (Submit Jurnal)



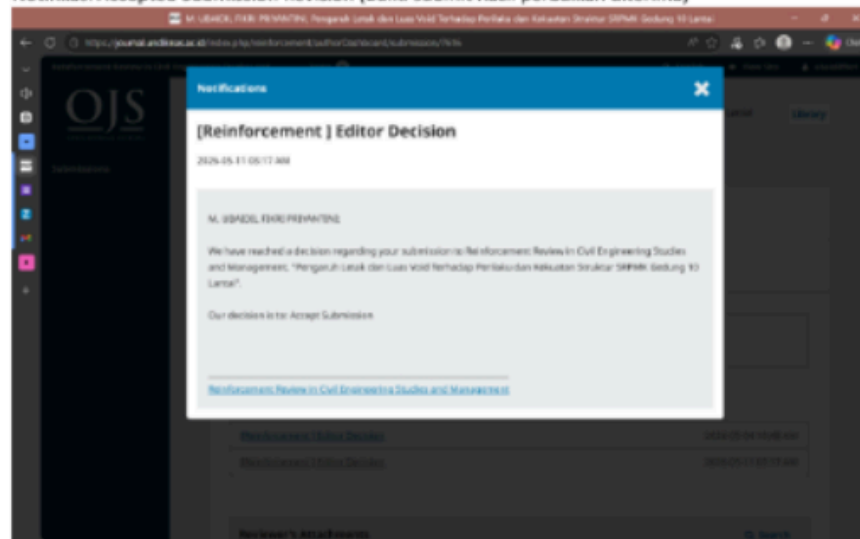
2. Notifikasi Accepted Submission (Bukti respon editor jurnal ter submit dan memberikan review)



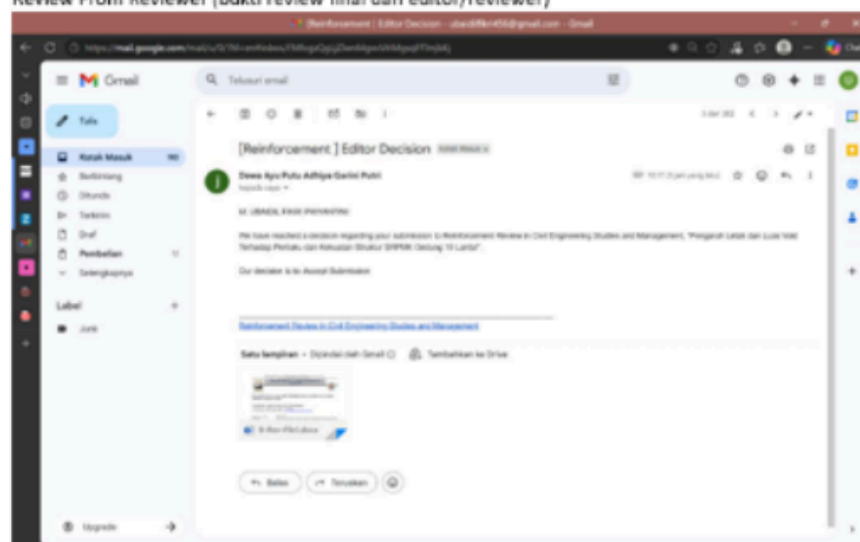
3. Notifikasi Resubmit Untuk Review (Bukti mengirimkan hasil perbaikan jurnal dari reviewer)

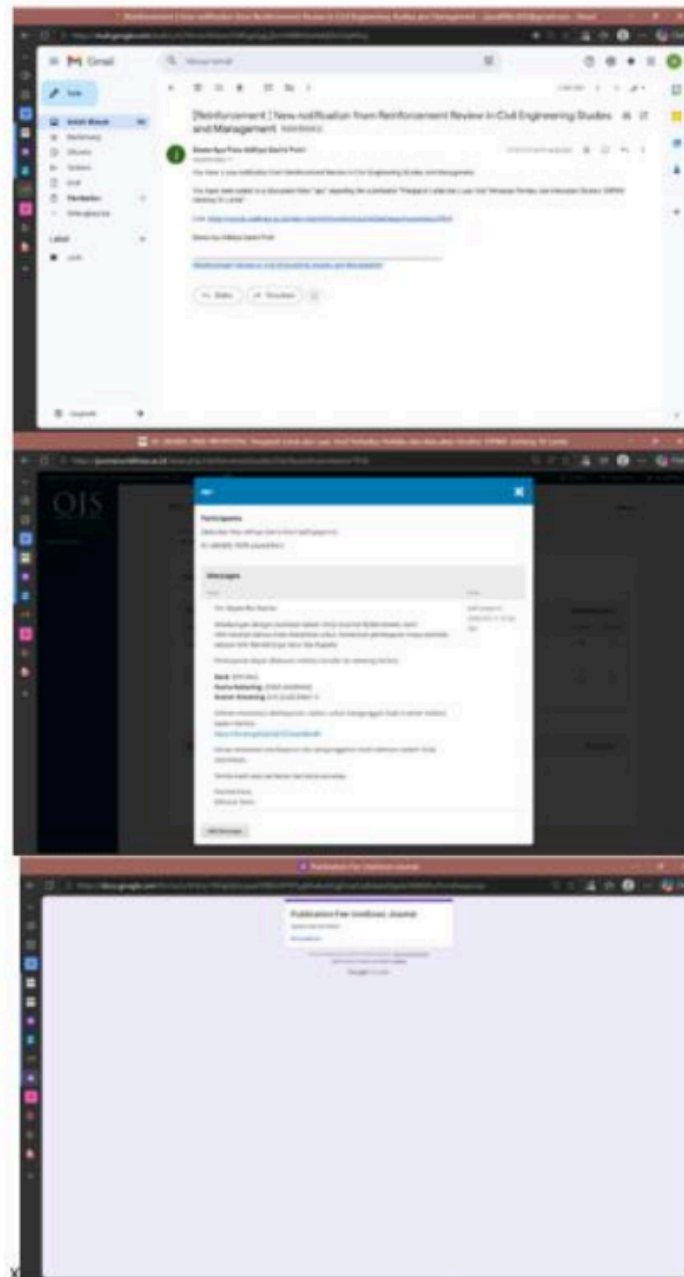


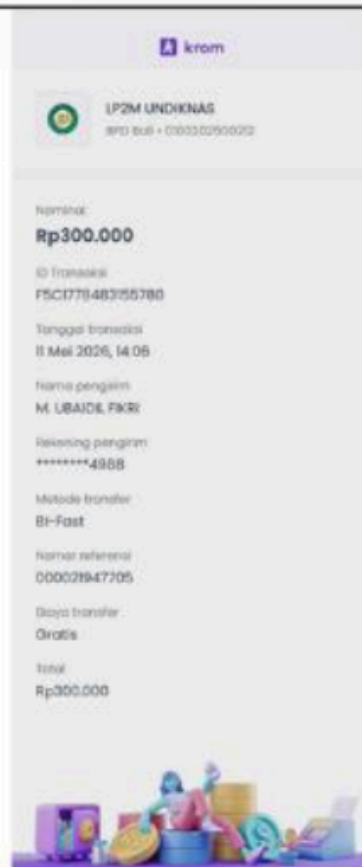
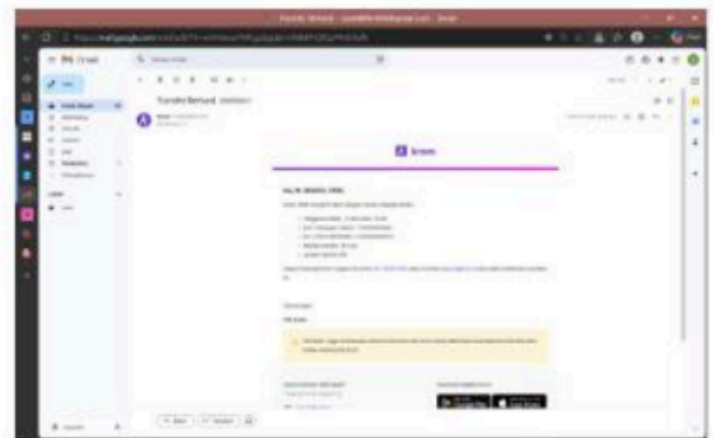
4. Notifikasi Accepted Submission Revision (Bukti submit hasil perbaikan diterima)



5. Review From Reviewer (bukti review final dari editor/reviewer)







6. Notifikasi LoA (Bukti penerimaan LoA dari Editor/Reviewer Jurnal)

Participants [Edit](#)

Dewa Ayu Putu Adhiya Garini Putri (adhiyagarini)

Putu Indah Dianti Putri (indahdianti)

I Made Satya Graha (satyagraha)

M. UBAIDIL FIKRI (ubaidifikri)

Messages

Note	From
Assalamualaikum Wk. Wb. Izin untuk mengkonfirmasi telah melakukan pembayaran APC kak, terima kasih atas perhatiannya.	ubaidifikri 2026-05-11 07:11 AM
 ubaidifikri, BUKTI PEMBAYARAN JURNAL M. UBAIDIL FIKRI.jpeg	
• Assalamualaikum kak, mohon maaf terkait kelanjutan terbitnya LoA kapan ya kak, untuk syarat saya mengikuti sidang soalnya. Terima kasih	ubaidifikri 2026-05-19 01:56 AM
Dear Authors, Berikut kami sampaikan LOAny gh.. Terimakasih	satyagraha 2026-05-19 03:11 AM
 satyagraha, LoA 1-Ubaidil Fikri.pdf	
• Lalu untuk publishnya perkiraan di tanggal berapa ya kak?	ubaidifikri 2026-05-19 12:11 PM
• Mohon maaf kak jin menanyakan informasi selanjutnya terkait tanggal publish untuk kebutuhan sidang kak	ubaidifikri 2026-05-26 02:14 AM

Add Message

7. LoA (FILE LoA)



UNDIKNAS
UNIVERSITAS PONDOKREJO NASIONAL
Jl. Belagat No. 07 Sukoharjo, Durgam, Sukoharjo
Email: info@undiknas.ac.id / Website: www.undiknas.ac.id

**TECHNO
RESEARCH
PRENEUR
UNIVERSITY**

Dear Authors,

On the behalf of the Call for Papers *Jurnal Reinforcement: Review in Civil Engineering Studies and Management* Volume 5 Number 1, we are pleased to inform that your paper entitled:

"Pengaruh Letak dan Luas Void Terhadap Perilaku dan Kekuatan Struktur SRPMK Gedung 10 Lantai"

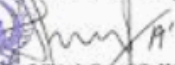
Written by M. Ubaidi Fikri, Hastut Sutrisno, Helma Trimurtiningrum,

Has been **ACCEPTED** and will be proceeded to be published in *Jurnal Reinforcement: Review in Civil Engineering Studies and Management* Volume 5 Number 1, April 2024.

We congratulate on your achievement. The technical issues about the publication will be informed later. Thank you very much for participating in our journal.

April 20, 2024
Best Regards,

Head of Research and Journal Publication
Universitas Pendidikan Nasional


Ir. Ali M. Hidayat, S.T., M.T., I.P.M., ASEAN Eng.
NPP: 02/98.119.293



8. Bukti Konfirmasi Artikel Publish (File Bukti Konfirmasi Jurnal Sudah Terpublish)

The screenshot shows the OJS interface for the journal 'Reinforcement Review in Civil Engineering Studies and Management'. The 'Publishing' workflow is active, showing a table of articles. The article 'Pengaruh Letak dan Luas Void Terhadap Perilaku dan Kekuatan Struktur SRPMK Gedung 10 Lantai' is in the 'Publishing' stage. The table includes columns for 'Title', 'Date', 'Last Reply', 'Reply', and 'Status'. Below the table, there is a 'Cepyeted' section with a search bar and a list of articles.

9. Jurnal (File Jurnal terpublish)

The screenshot shows the journal's article page for the article 'Pengaruh Letak dan Luas Void Terhadap Perilaku dan Kekuatan Struktur SRPMK Gedung 10 Lantai'. The page includes a sidebar with 'ARTICLE TEMPLATES' and 'INFORMATION JOURNAL'. The main content area shows the article title, authors, and a brief abstract.

10. Bukti Turnitin (Max 20%)



Lampiran 16. Kendala dan Solusi Penyelesaian Tugas Akhir

1. Preliminary Design

Kendala

1. Penentuan dimensi awal balok dan kolom berdasarkan pendekatan *preliminary design* menghasilkan beberapa elemen yang belum memenuhi persyaratan kekakuan struktur.
2. Nilai periode struktur pada pemodelan awal melebihi nilai yang dipersyaratkan sehingga diperlukan penyesuaian dimensi elemen.
3. Adanya variasi letak dan luas *void* menyebabkan distribusi massa dan kekakuan bangunan menjadi tidak seragam pada setiap model.
4. Perubahan dimensi kolom untuk meningkatkan kekakuan sering kali memengaruhi kebutuhan dimensi balok dan hubungan balok-kolom.
5. Beberapa dimensi awal yang memenuhi syarat kekuatan ternyata belum mampu memenuhi persyaratan simpangan dan *drift*.

Solusi

1. Melakukan evaluasi bertahap terhadap dimensi balok, kolom, dan pelat menggunakan ETABS.
2. Menyesuaikan dimensi elemen berdasarkan hasil analisis periode, simpangan, dan gaya dalam.
3. Membandingkan beberapa alternatif dimensi hingga diperoleh model yang paling efisien.
4. Mengacu pada ketentuan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019 dalam menentukan dimensi elemen.
5. Melakukan analisis ulang setiap kali terjadi perubahan dimensi untuk memastikan seluruh persyaratan struktur terpenuhi.

2. Kontrol Perilaku Struktur

Kendala

1. Nilai simpangan total pada beberapa model meningkat akibat perubahan luas dan letak *void*.
2. *Story drift* pada lantai tengah cenderung lebih besar dibandingkan lantai lainnya.
3. Efek P-Delta meningkat pada model dengan kekakuan yang lebih rendah.
4. Perbedaan distribusi massa menyebabkan respons arah X dan Y tidak selalu sama.
5. Beberapa variasi model menunjukkan kecenderungan peningkatan periode struktur.

Solusi

1. Melakukan kontrol berkala terhadap nilai simpangan, *drift*, dan P-Delta setelah setiap revisi model.
2. Menyesuaikan dimensi elemen struktur untuk meningkatkan kekakuan lateral bangunan.
3. Membandingkan hasil seluruh model dengan batas yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019.
4. Mengevaluasi distribusi massa dan kekakuan pada setiap variasi void.
5. Memastikan seluruh model memenuhi persyaratan stabilitas struktur sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya.

3. Kontrol Kekuatan Struktur

Kendala

1. Beberapa elemen balok memiliki rasio desain melebihi batas yang diizinkan.
2. Perubahan letak *void* menyebabkan redistribusi gaya momen, geser, dan torsi pada elemen struktur.
3. Nilai gaya dalam antar model menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan terutama pada elemen balok induk.
4. Kebutuhan tulangan pada beberapa elemen berubah setelah dilakukan analisis gempa.
5. Proses desain harus dilakukan berulang karena perubahan pada satu elemen memengaruhi elemen lainnya.

Solusi

1. Melakukan *check design* menggunakan fitur desain beton bertulang pada ETABS.
2. Menambah dimensi elemen yang belum memenuhi kapasitas desain.
3. Mengoptimalkan kebutuhan tulangan sesuai hasil analisis gaya dalam.
4. Melakukan pengecekan ulang terhadap seluruh kombinasi pembebanan.
5. Mengulangi proses desain hingga seluruh elemen memenuhi persyaratan SRPMK.

4. Kontrol *Strong Column Weak Beam* (SCWB)

Kendala

1. Beberapa joint balok-kolom belum memenuhi persyaratan *Strong Column Weak Beam*.
2. Kapasitas momen balok lebih besar dibandingkan kapasitas momen kolom pada beberapa lokasi.
3. Perubahan dimensi balok akibat kebutuhan kekuatan menyebabkan rasio SCWB berubah.

4. Jumlah joint yang harus diperiksa cukup banyak sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama.
5. Variasi model mengakibatkan hasil kontrol SCWB berbeda pada setiap pemodelan.

Solusi

1. Melakukan perhitungan kapasitas momen nominal balok dan kolom pada setiap joint.
2. Menambah dimensi kolom pada joint yang belum memenuhi persyaratan.
3. Menyesuaikan jumlah tulangan longitudinal kolom untuk meningkatkan kapasitas momen.
4. Membuat tabel rekapitulasi kontrol SCWB agar proses evaluasi lebih sistematis.
5. Mengulangi pengecekan hingga seluruh joint memenuhi syarat $\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$.

5. Proses *Running Analisis Pushover*

Kendala

1. Waktu *running* analisis pushover cukup lama karena melibatkan analisis nonlinier.
2. Beberapa model mengalami kegagalan konvergensi sebelum mencapai target *displacement*.
3. Kesalahan pendefinisian hinge dapat menyebabkan hasil analisis tidak terbaca.
4. Penggunaan banyak *load case* membuat waktu komputasi semakin panjang.
5. Perubahan kecil pada model sering kali mengharuskan proses *running* dilakukan kembali dari awal.

Solusi

1. Memeriksa kembali definisi *hinge*, *load case*, dan parameter pushover sebelum *running*.
2. Mengurangi *load case* yang tidak digunakan untuk mempercepat proses analisis.
3. Menyesuaikan target *displacement* dan jumlah step analisis secara bertahap.
4. Memastikan semua elemen telah terhubung dengan benar sebelum analisis dijalankan.
5. Menjalankan analisis pada komputer dengan spesifikasi yang memadai serta melakukan penyimpanan data secara berkala.

6. Interpretasi Hasil Analisis Pushover

Kendala

1. Kurva kapasitas yang dihasilkan cukup kompleks untuk diinterpretasikan.

2. Penentuan *performance point* memerlukan pemahaman metode ATC-40 dan FEMA 356.
3. Distribusi sendi plastis harus dianalisis satu per satu untuk mengetahui mekanisme keruntuhan.
4. Hasil pushover pada arah X dan Y menunjukkan karakteristik yang berbeda.
5. Banyaknya data keluaran menyebabkan proses pengolahan hasil membutuhkan waktu yang cukup lama.

Solusi

1. Mempelajari pedoman ATC-40, FEMA 356, dan referensi penelitian terdahulu.
2. Membuat tabel rekapitulasi *performance point* dan *drift ratio* setiap model.
3. Membandingkan hasil pushover seluruh model secara sistematis.
4. Memanfaatkan grafik dan diagram untuk mempermudah interpretasi data.
5. Melakukan verifikasi silang antara hasil ETABS dan teori yang digunakan.

7. Manajemen Waktu Pengerjaan

Kendala

1. Proses pemodelan lima variasi gedung membutuhkan waktu yang cukup lama.
2. Setiap perubahan dimensi mengharuskan analisis diulang dari tahap awal.
3. Pengolahan data hasil analisis menghasilkan ratusan tabel dan grafik yang harus direkap.
4. Penyusunan laporan tugas akhir dilakukan bersamaan dengan proses analisis.
5. Jadwal bimbingan dan revisi sering menyebabkan perubahan target pengerjaan.

Solusi

1. Menyusun timeline penelitian sejak awal semester.
2. Membagi pekerjaan menjadi tahap studi literatur, pemodelan, analisis, pengolahan data, dan penulisan laporan.
3. Membuat backup file ETABS secara berkala untuk menghindari kehilangan data.
4. Menyusun format tabel dan grafik sejak awal agar proses rekapitulasi lebih cepat.
5. Menentukan target mingguan dan melakukan evaluasi progres secara berkala bersama dosen pembimbing.

PENGARUH LETAK DAN LUAS VOID TERHADAP KEKUATAN DAN KINERJA STRUKTUR SRPMK GI LANTAI

ORIGINALITY REPORT

20%

SIMILARITY INDEX

15%

INTERNET SOURCES

7%

PUBLICATIONS

13%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

repository.unissula.ac.id

Internet Source

2

Submitted to Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Student Paper

3

Submitted to Universitas Bung Hatta

Student Paper

4

dspace.uui.ac.id

Internet Source

5

Submitted to Forum Perpustakaan Perguruan Tinggi Indonesia Jawa Tengah

Student Paper

6

repositori.unsil.ac.id

Internet Source

7

Submitted to Universitas Merdeka Malang

Student Paper

8

repository.umsu.ac.id

Internet Source

9

eskripsi.usm.ac.id

Internet Source

10

Rusi Rusmiati Aliyyah, Sri Wahyuni Ulfah, Endang Sri Budi Herawati, Reza Rachmadtullah, Andes Safarandes Asmara. "Bidikmisi: Analisis Pelaksanaan Program Beasiswa Pendidikan Tinggi", Journal Of Administration and Educational Managemer (ALIGNMENT), 2020

Publication

11

Submitted to Universitas Diponegoro

Student Paper

12

Submitted to Sultan Agung Islamic University

Student Paper

13

Submitted to Clarkston Community Schools

Student Paper

14

Submitted to Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Gadjah Mada

Student Paper

Submitted to Rektorat (ADM)

15

Student Paper

16

Submitted to Universitas Andalas

Student Paper

17

eprints.untirta.ac.id

Internet Source

18

Submitted to Landmark University

Student Paper

19

eprints3.upgris.ac.id

Internet Source

20

Submitted to Library

Student Paper

21

正博 大淵, 睦博 吉澤, 文宣 尾崎, 保宏 森. "建築基準法により設計された建物の信頼性評価に基づく耐震性能水準の評価", 構造物の安全性および信頼性：構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム(JCOSSAR)論文集, 2023

Publication

22

Submitted to Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Student Paper

23

Arnie Widyaningrum, Yanuar Haryanto. "Evaluasi Kinerja Gedung Dinas Kependudukan Dan Catatan Sipil Purbalingga Dengan Analisis Pushovera", Dinamika Rekayasa, 2019

Publication

24

eprints.umsb.ac.id

Internet Source

25

repository.its.ac.id

Internet Source

26

Submitted to Purdue University

Student Paper

27

Melta Yuana, Putri Octa Hadiyanti. "Pengaruh Model Pembelajaran Kooperatif Tipe Jigsaw terhadap Hasil Belajar IPAS Siswa Kelas V SD Islam Plus YLPI Pekanbaru", RIGC Journal of Artificial Intelligence and Digital Business, 2026

Publication

28

Submitted to Konsorsium Perguruan Tinggi Swasta Indonesia

Student Paper

29

repository.ummat.ac.id

Internet Source

30

Submitted to Universitas Islam Indonesia

Student Paper

31

Muhammad Dilraya Adhani, Robiatul Adawiyah, Fitriani Ridzeki. "ANALISIS BALOK DAKSIOT KOLOM PADA GEDUNG REKTORAT UNISKA MAB BANJARMASIN", Jurnal EEICT (Electr

32

Submitted to Universitas Pancasila

Student Paper

33

Alberto Carpinteri, Pietro G. Gambarova, Giuseppe Ferro, Giovanni A. Plizzari. "Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures - Volume 2: Design, Assessment and Retrofitting of RC Structures", CRC Press, 2026

Publication

34

repositori.uma.ac.id

Internet Source

35

Submitted to itera

Student Paper

36

Muhammad Alvinur Fatih, M Haniifuzzidan, Sumirin Sumirin. "Analisis Kinerja Struktur dengan Metode Pushover pada Struktur SRPMK Gedung 11 Lantai di Jakarta", RIGGS Journal of Artificial Intelligence and Digital Business, 2026

Publication

37

Submitted to Sriwijaya University

Student Paper

38

e-journal.uajy.ac.id

Internet Source

39

Submitted to Universitas Islam Riau

Student Paper

40

Achmad Muzaki, Retno Trimurtiningrum. "Analisis Kinerja Struktur Gedung Perkantoran Pabrik Pupuk Gresik dengan Pembebanan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019 terhadap Simpangan Antar Lantai dan Pengaruh P-Delta", Jurnal Teknik Industri Terintegrasi, 2024

Publication

41

I Gede Gegiranang Wiryadi, I Putu Agus Putra Wirawan, I Ketut Diartama Kubon Tubi I Made Andika Candra. "LEVEL KINERJA STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS PARIWISATA UNIVERSITAS UDAYANA BERDASARKAN FEMA 356 DAN ATC-40", Jurnal Teknik Gradien, 2022

Publication

42

Bangun Rahmadi, Yudhia Pratidina, Elsa Rati Hariza. "Analisis Desain Bangunan 15 Lantai Pada Daerah Intensitas Seismik Tinggi Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Kota Bengkulu", RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business, 2026

Publication

43

Bungale S. Taranath. "Wind and Earthquake Resistant Buildings - Structural Analysis and Design", CRC Press, 2019

Publication

-
- 44 Satyabrata Choudhury. "Performance-Based Seismic Design of Structures", Routledge 2024
Publication
-
- 45 Nick Barton, Ove Stephansson. "Rock Joints - Proceedings of the International Symposium on Rock Joints Loen / Norway / 4-6 June 1990", CRC Press, 2026
Publication
-
- 46 "Proceedings of the International Conference on Emerging Smart Cities (ICESC2022)" Springer Science and Business Media LLC, 2024
Publication
-
- 47 Alif Alif, Hence Michael Wuaten, Wahyu Mahendra Tyas Admaja. "Kajian Seismik Perencanaan Gedung Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda Berdasarkan Sni 1726:2019", Kurva S : Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik Sipil, 2024
Publication
-
- 48 tekonsipil.sv.ugm.ac.id
Internet Source
-
- 49 Bravian Ariq Akbarulah, Budi Kudwadi, Ben Novarro Batubara. "Performance Analysis of the Pejaten Park Residence Apartment Building Structure Due to Earthquake Load", Formosa Journal of Applied Sciences, 2025
Publication
-
- 50 id.scribd.com
Internet Source
-
- 51 N. Septian, G. Turuallo, I.K. Sulendra. "Kinerja Portal Struktur Gedung Tahan Gempa dengan Sistem Ganda Menggunakan Metode Pushover Analysis", REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development, 2022
Publication
-
- 52 Aulia Jessica Saudila, Yosafat Pranata. "Studi Komparatif Analisis Statik dan Dinamik: Studi Kasus Rumah Tinggal dengan Dinding Pasangan Bata, Kayu, dan Kombinasi, di Kecamatan Medan Belawan Kota Medan", Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil, 2025
Publication
-
- 53 Rajib Rizkul Hidayatullah, Bantot Sutriyono. "Analisis Perbandingan Respons Seismik Gedung Beton Bertulang 10 Lantai dengan Sistem Shear Wall dan Base Isolation High Damping Rubber Bearing (HDRB)", Jurnal Teknik Industri Terintegrasi, 2026
Publication
-
- 54 William M.C. McKenzie. "Examples in Structural Analysis", CRC Press, 2019
Publication
-
- 55 Gani Adiyatma Ramadhan, Nurti Kusuma Anggraini. "Analisis Perbandingan Kolom Eksisting dan Redesain Gedung 9 Lantai Surakarta", RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business, 2026
Publication
-

-
- 56 ARMAN SETIAWAN. "STUDI KERUNTUHAN AKIBAT BEBAN SIKLIK DENGAN METODE ANALISA PUSHOVER PADA PORTAL", INA-Rxiv, 2018
Publication
-
- 57 Eri Rihandiar, Muhammad Robby Indrawan. "KOMPARASI PERENCANAAN KONSTRUI SERTA RENCANA BIAYA PEMBANGUNAN GEDUNG KONSTRUKSI BETON DAN GEDUN KONSTRUKSI BAJA KOMPOSIT", JURNAL MOMEN TEKNIK SIPIL, 2020
Publication
-
- 58 akses-sispk.bsn.go.id
Internet Source
-
- 59 Muhammad Farhan Mahendra Kelilaw, Rahmani Kadarningsih, Mirzan Gani. "TINJAU KINERJA STRUKTUR YANG DIRANCANG BERDASARKAN SNI 1726-2002 TERHADAP SN 1726-2012 (STUDI KASUS STRUKTUR SRPMK KDS D DI KOTA GORONTALO)", Compos Journal, 2021
Publication
-
- 60 herbycalvinpascal.files.wordpress.com
Internet Source
-
- 61 Brian Porter, Reg Rose, Chris Tooke. "Carpentry and Joinery: Bench and Site Skills", Routledge, 1996
Publication
-
- 62 G. Turu'allo, A.H. Anggara. "Analisis Struktur Baja dengan Perhitungan Beban Gempa Menggunakan Metode Time History Berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1729:2015" REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development 2023
Publication
-
- 63 Callista Gian Syahada, Fathinah Syarofina Rosyadah, Sumirin Sumirin. "Analisis Struk Sambungan Baja Tahan Gempa pada Bangunan Industri (Tinjauan: Bangunan Pabrik Kawasan Industri Wijayakusuma)", RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business, 2026
Publication
-
- 64 Mohamad Dicky Saputra, Bantot Sutriyono. "Analisis Perilaku Seismik Struktur Beton Bertulang dengan Sistem Base Isolation HDRB pada Gedung 6 Lantai di Surabaya", Jurnal Teknik Industri Terintegrasi, 2026
Publication
-
- 65 Sulardi Sulardi, Lilik Setiawan HP, Dimyati Dimyati, Didiek Pramono, Nur Aziz Prastiy "Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang 8 Lantai pada Gedung Kantor Kementerian Koordinator 4 Ibu Kota Negara (IKN) dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)", Indonesian Journal of Innovation Multidisipliner Research 2026
Publication
-
- 66 Seto Ditosurya Aranta, Inggar Sephia Irawati. "Evaluasi Kinerja Struktur Pada Desain Struktural Gedung Rumah Sakit Dengan Metode Pushover", Jurnal Permukiman, 202
Publication
-

67

African Journal of Economic and Management Studies, Volume 2, Issue 2 (2012-08-01)

Publication

68

R.A.N. Dhanarsari, S. Indra, Y.P. Manaha. "Pengaruh Menghilangkan Dinding Geser Terhadap Perilaku Stuktur Gedung 11 Lantai dengan Denah L-Shaped", REKONSTRUKTADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development, 2025

Publication

69

Reneé Jordashe Franco Sgalla. "Investigação cinética de modos geodésicos de baixas frequências em plasmas magnetizados", Universidade de São Paulo. Agência de Bibliotecas e Coleções Digitais, 2014

Publication

70

Singgih Subagyo. "PENGUNAAN PROGRAM KOMPUTER PADA GEDUNG BERTINGKAT MENGGUNAKAN PAKET PROGRAM SANSPRO V 4,7", CivETech, 2020

Publication

71

Submitted to Walters State Community College

Student Paper

72

Wiratna Tri Nugraha, Shopia Putri Anindhita. "REDESIGN STRUKTUR GEDUNG TATA USAHA TOWER PUSDIKLAT PENGAWASAN BPKP CIAWI BOGOR", JURNAL MOMEN TEKNIK SIPIL, 2024

Publication

73

Yudistira Ekatama, Kasmat Saleh Nur, Mirzan Gani. "ANALISIS GAYA GESER DASAR D. SIMPANGAN STRUKTUR GEDUNG UTAMA FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO BERDASARKAN SNI", Jurnal Sains dan Teknologi Tadulako, 2023

Publication

74

Adli Shahzada Putra, Arya Ardhana. "Tinjauan Komparatif Aplikasi Finite Element Method (FEM) Untuk Pemodelan Dan Analisis Perilaku Struktur Kompleks", Journal of Infrastructure and Construction Technology, 2024

Publication

75

Dimas Permana, Bantot Sutriyono, Nurul Rochmah. "Studi Perbandingan Perilaku Struktur Shear Wall dan Base Isolation Type Lead Rubber Bearing pada Rumah Sakit Surabaya", Jurnal Teknik Industri Terintegrasi, 2025

Publication

76

Mohammad Khozi, Achmad Ifani Rizaldhy. "Perbandingan Struktur Gedung Perkantoran BPR Delta Artha Dengan Desain Beban Gempa Statis Dan Dinamis Berdasarkan SNI 1729-2020", INTER TECH, 2023

Publication

77

"Selected Articles from the 8th International Conference on Architecture and Civil Engineering", Springer Science and Business Media LLC, 2025

Publication

78

C. Guedes Soares, Y. Garbatov. "Progress in the Analysis and Design of Marine Structures - Proceedings of The 6 International Conference on Marine Structures (Marstruct 2017), Lisbon, Portugal, 8-10 May 2017", CRC Press, 2017

Publication

-
- 79 Hifzil Hanif, Iskandar Romey Sitompul, Enno Yuniarto. "Analisis Sambungan Balok Kolom Beton Bertulang Menggunakan SNI 2847 2013 dan SNI 2847 2019", Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil, 2022
Publication
-
- 80 Submitted to Yonkers High School
Student Paper
-
- 81 "Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures" American Society of Civil Engineers (ASCE), 2017
Publication
-
- 82 Luiz Carlos Marcos Vieira Junior. "Análise numérica do comportamento estrutural e resistência de terças de aço restringidas pelas telhas", Universidade de São Paulo. Agência de Bibliotecas e Coleções Digitais, 2007
Publication
-
- 83 Muh Fauzi Mazaruddin, Retno Trimurtiningrum. "Analisis Perbandingan Perilaku dan Kinerja Struktur Baja Terbreis Eksentris Tipe Split K-Bresing dan Two Story X-Bresing Jurnal Teknik Industri Terintegrasi, 2024
Publication
-
- 84 Daniel Jason Tatang, Lidya Fransisca Tjong. "Studi Komparasi Perilaku Gedung Beton Bertulang dengan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Menggunakan Dinding Geser dan Rangka Bresing Konsentrik Inverted-V", Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil, 2022
Publication
-
- 85 Eko Walujodjati, Ripan Maulidan, Risa Kristalia. "Pengaruh Perubahan Dimensi Kolor Pada Kapasitas Struktur Tahan Gempa Gedung Beton Bertulang", INTER TECH, 2024
Publication
-
- 86 Muhammad Habibie, Muttaqin Hasan, Syarizal Fonna. "Efek Korosi Baja Tulangan Terhadap Kinerja Struktur Tipikal Pertokoan di Banda Aceh", Al Qalam: Jurnal Ilmiah Keagamaan dan Kemasyarakatan, 2023
Publication
-
- 87 "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures", American Society of Civil Engineers (ASCE), 2013
Publication
-
- 88 Hery Kristiyanto, Fery Syahputra. "ANALISIS PERUBAHAN LUAS TULANGAN KOLOM AKIBAT PENGARUH PEMASANGAN DINDING GESER", CivETech, 2021
Publication
-
- 89 Jan Kubica, Arkadiusz Kwiecień, Łukasz Bednarz. "Brick and Block Masonry - From Historical to Sustainable Masonry", CRC Press, 2020
Publication
-
- 90 Submitted to North South University
Student Paper
-

91 Retno Yogi Widjayanti, Usholl Auli AL HS, Adtya Setyo Rahman, Dimas Permana, Solih Alfiandy. "Analisis Nilai Percepatan Tanah Maksimum dan Klasifikasi Kelas Situs di Kota Serang Provinsi Banten", Buletin GAW Bariri, 2025
Publication

92 TALITHA ZHAIRA, Ilham Salman Ariq, Deva Eryan Sugya Mawada, Trias Widorini. "Analisis Kinerja Struktur Gedung IGD Terpadu K.R.M.T Wongsonegoro Kota Semarang", Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto) 2024
Publication

93 "Spon's Architects' and Builders' Price Book 2004", Spon Press, 2019
Publication

94 Chi Wai Law, Yung Ming Cheng. "Analysis and Design of Tall Reinforced Concrete Buildings", CRC Press, 2026
Publication

95 Remigildus Cornelis, Raynaldo Lewlelek, Andi Kumalawati. "Efek Rasio Ketinggian dan Luasan Lantai Setback Dua Arah Terhadap Respons Dinamik Struktur", Jurnal Permukiman, 2023
Publication

96 Aip Samsul Ma'rip, Telly Rosdiyani, Fitri Aida Sari. "PERENCANAAN STRUKTUR BALOK DAN KOLOM PADA GEDUNG BANTEN ISLAMIC CENTER KOTA SERANG", Journal of Sustainable Civil Engineering (JOSCE), 2023
Publication

97 Bungale S. Taranath. "Reinforced Concrete Design of Tall Buildings", CRC Press, 2019
Publication

98 M Fahzan Difinubun, Bantot Sutiriono. "Analisis Perbandingan Kekakuan Serta Efisiensi pada Desain Menggunakan Flat Slab Terhadap Gedung Eksisting SRPM RSUD Sidoarjo Jurnal Teknik Industri Terintegrasi, 2024
Publication

99 Putri Aru Anjani, Radinal Bakri, Yoga C. V. Tethool. "Structure Design Modification of DPW Nasdem Office Building using Steel Special Moment Resisting Frame", JISTECH: Journal of Information Science and Technology, 2023
Publication

Exclude quotes

On

Exclude matches

Off

Exclude bibliography

On

PENGARUH LETAK DAN LUAS VOID TERHADAP KEKUATAN DAN KINERJA STRUKTUR SRPMK GI LANTAI

GRADEMARK REPORT

FINAL GRADE

/0

GENERAL COMMENTS

PAGE 1

PAGE 2

PAGE 3

PAGE 4

PAGE 5

PAGE 6

PAGE 7

PAGE 8

PAGE 9

PAGE 10

PAGE 11

PAGE 12

PAGE 13

PAGE 14

PAGE 15

PAGE 16

PAGE 17

PAGE 18

PAGE 19

PAGE 20

PAGE 21

PAGE 22

PAGE 23

PAGE 24

PAGE 25

PAGE 26

PAGE 27

PAGE 28

PAGE 29

PAGE 30

PAGE 31

PAGE 32

PAGE 33

PAGE 34

PAGE 35

PAGE 36

PAGE 37

PAGE 38

PAGE 39

PAGE 40

PAGE 41

PAGE 42

PAGE 43

PAGE 44

PAGE 45

PAGE 46

PAGE 47

PAGE 48

PAGE 49

PAGE 50

PAGE 51

PAGE 52

PAGE 53

PAGE 54

PAGE 55

PAGE 56

PAGE 57

PAGE 58

PAGE 59

PAGE 60

PAGE 61

PAGE 62

PAGE 63

PAGE 64

PAGE 65

PAGE 66

PAGE 67

PAGE 68

PAGE 69

PAGE 70

PAGE 71

PAGE 72

PAGE 73

PAGE 74

PAGE 75

PAGE 76

PAGE 77

PAGE 78

PAGE 79

PAGE 80

PAGE 81

PAGE 82

PAGE 83

PAGE 84

PAGE 85

PAGE 86

PAGE 87

PAGE 88

PAGE 89

PAGE 90

PAGE 91

PAGE 92

PAGE 93

PAGE 94

PAGE 95

PAGE 96

PAGE 97

PAGE 98

PAGE 99

PAGE 100

PAGE 101

PAGE 102

PAGE 103

PAGE 104

PAGE 105

PAGE 106

PAGE 107

PAGE 108

PAGE 109

PAGE 110

PAGE 111

PAGE 112

PAGE 113

PAGE 114

PAGE 115

PAGE 116

PAGE 117

PAGE 118

PAGE 119

PAGE 120

PAGE 121

PAGE 122

PAGE 123

PAGE 124

PAGE 125

PAGE 126

PAGE 127

PAGE 128

PAGE 129

PAGE 130

PAGE 131

PAGE 132

PAGE 133

PAGE 134

PAGE 135

PAGE 136

PAGE 137

PAGE 138

PAGE 139

PAGE 140

PAGE 141

PAGE 142

PAGE 143

PAGE 144

PAGE 145

PAGE 146

PAGE 147

PAGE 148

PAGE 149

PAGE 150

PAGE 151

PAGE 152

PAGE 153

PAGE 154

PAGE 155

PAGE 156

PAGE 157

PAGE 158

PAGE 159

PAGE 160

PAGE 161

PAGE 162

PAGE 163

PAGE 164

PAGE 165

PAGE 166

PAGE 167

PAGE 168

PAGE 169

PAGE 170

PAGE 171

PAGE 172

PAGE 173

PAGE 174

PAGE 175

PAGE 176

PAGE 177

PAGE 178

PAGE 179

PAGE 180

PAGE 181

PAGE 182

PAGE 183

PAGE 184

PAGE 185

PAGE 186

PAGE 187

PAGE 188

PAGE 189

PAGE 190

PAGE 191

PAGE 192

PAGE 193

PAGE 194

PAGE 195

PAGE 196

PAGE 197

PAGE 198

PAGE 199

PAGE 200

PAGE 201

PAGE 202

PAGE 203

PAGE 204

PAGE 205

PAGE 206

PAGE 207

PAGE 208

PAGE 209

PAGE 210

PAGE 211

PAGE 212

PAGE 213

PAGE 214

PAGE 215

PAGE 216

PAGE 217

PAGE 218

PAGE 219

PAGE 220

PAGE 221

PAGE 222

PAGE 223

PAGE 224

PAGE 225

PAGE 226

PAGE 227

PAGE 228

PAGE 229

PAGE 230

PAGE 231

PAGE 232

PAGE 233

PAGE 234

PAGE 235

PAGE 236

PAGE 237

PAGE 238

PAGE 239

PAGE 240

PAGE 241

PAGE 242

PAGE 243

PAGE 244

PAGE 245

PAGE 246

PAGE 247

PAGE 248

PAGE 249

PAGE 250

PAGE 251

PAGE 252

PAGE 253

PAGE 254

PAGE 255

PAGE 256

PAGE 257

PAGE 258

PAGE 259

PAGE 260

PAGE 261

PAGE 262

PAGE 263

PAGE 264

PAGE 265

PAGE 266

PAGE 267

PAGE 268

PAGE 269

PAGE 270

PAGE 271

PAGE 272

PAGE 273

PAGE 274

PAGE 275

PAGE 276

PAGE 277

PAGE 278

PAGE 279

PAGE 280

PAGE 281

PAGE 282

PAGE 283

PAGE 284

PAGE 285

PAGE 286

PAGE 287

PAGE 288

PAGE 289

PAGE 290

PAGE 291

PAGE 292

PAGE 293

PAGE 294

PAGE 295

PAGE 296

PAGE 297

PAGE 298

PAGE 299

PAGE 300

PAGE 301

PAGE 302

PAGE 303

PAGE 304

PAGE 305

PAGE 306

PAGE 307

PAGE 308

PAGE 309

PAGE 310

PAGE 311

PAGE 312

PAGE 313

PAGE 314

PAGE 315

PAGE 316

PAGE 317

PAGE 318

PAGE 319

PAGE 320

PAGE 321

PAGE 322

PAGE 323

PAGE 324

PAGE 325

PAGE 326

PAGE 327

PAGE 328

PAGE 329

PAGE 330

PAGE 331

PAGE 332

PAGE 333

PAGE 334

PAGE 335

PAGE 336

PAGE 337

PAGE 338

PAGE 339

PAGE 340

PAGE 341

PAGE 342

PAGE 343

PAGE 344

PAGE 345

PAGE 346

PAGE 347

PAGE 348

PAGE 349

PAGE 350

PAGE 351

PAGE 352

PAGE 353

PAGE 354

PAGE 355

PAGE 356

PAGE 357

PAGE 358

PAGE 359

PAGE 360

PAGE 361

PAGE 362

PAGE 363

PAGE 364

PAGE 365

PAGE 366

PAGE 367

PAGE 368

PAGE 369

PAGE 370

PAGE 371

PAGE 372

PAGE 373

PAGE 374

PAGE 375

PAGE 376

PAGE 377

PAGE 378

PAGE 379

PAGE 380

PAGE 381

PAGE 382

PAGE 383

PAGE 384

PAGE 385

PAGE 386

PAGE 387

PAGE 388

PAGE 389

PAGE 390

PAGE 391

PAGE 392

PAGE 393

PAGE 394

PAGE 395

PAGE 396

PAGE 397

PAGE 398

PAGE 399

PAGE 400

PAGE 401

PAGE 402

PAGE 403

PAGE 404

PAGE 405

PAGE 406

PAGE 407

PAGE 408

PAGE 409

PAGE 410

PAGE 411

PAGE 412

PAGE 413

PAGE 414

PAGE 415

PAGE 416

PAGE 417

PAGE 418

PAGE 419

PAGE 420

PAGE 421

PAGE 422

PAGE 423

PAGE 424

PAGE 425

PAGE 426

PAGE 427

PAGE 428

PAGE 429

PAGE 430

PAGE 431

PAGE 432

PAGE 433

PAGE 434

PAGE 435

PAGE 436

PAGE 437

PAGE 438

PAGE 439

PAGE 440

PAGE 441

PAGE 442

PAGE 443

PAGE 444

PAGE 445

PAGE 446

PAGE 447

PAGE 448

PAGE 449

PAGE 450

PAGE 451

PAGE 452

PAGE 453

PAGE 454

PAGE 455

PAGE 456

PAGE 457

PAGE 458

PAGE 459

PAGE 460

PAGE 461

PAGE 462

PAGE 463

PAGE 464

PAGE 465

PAGE 466

PAGE 467

PAGE 468

PAGE 469

PAGE 470

PAGE 471
