

## Pengaruh Letak dan Luas Void Terhadap Perilaku dan Kekuatan Struktur SRPMK Gedung 10 Lantai

M.Ubaidil Fikri<sup>a,\*</sup>, Bantot Sutriano<sup>b</sup>, Retno Trimurtiningrum<sup>c</sup>

<sup>a,b,c</sup>Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Surabaya

\*Corresponding author, email address: [1432200048@surel.untag-sby.ac.id](mailto:1432200048@surel.untag-sby.ac.id)

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received: 22 Februari 2026

Revised: 18 Maret 2026

Accepted: 31 Maret 2026

Available Online: 30 April 2026

#### Kata Kunci:

bukaan pelat, konfigurasi struktur, ketidakberaturan struktur, SRPMK

#### Keywords:

void, structural configuration, structural irregularity, SMRF

### ABSTRAK

Pesatnya perkembangan bangunan bertingkat di Kabupaten Sidoarjo dipicu oleh keterbatasan lahan serta meningkatnya kebutuhan ruang. Kondisi ini menuntut perencanaan struktur yang mampu menahan beban gempa, mengingat wilayah Sidoarjo berada di antara Sesar Surabaya dan Sesar Waru yang memiliki potensi gempa berkekuatan sekitar 6,5–7,0 magnitudo. Salah satu aspek yang turut memengaruhi respons struktur adalah keberadaan *void* atau bukaan pada pelat lantai, yang dapat mengubah distribusi massa dan kekakuan bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi luas dan letak *void* terhadap perilaku serta kekuatan struktur pada sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) untuk gedung 10 lantai di Kabupaten Sidoarjo. Analisis dilakukan menggunakan *software* ETABS v.22 dengan lima variasi model, yaitu Gedung A tanpa *void*, serta Gedung B, C, D, dan E yang memiliki variasi luas dan letak *void*. Hasil analisis menunjukkan bahwa model Gedung D dan Gedung E memiliki kinerja perilaku struktur yang lebih optimal dibandingkan model lainnya. Hal ini ditunjukkan oleh nilai gaya geser dasar dan periode struktur yang lebih terkendali, sehingga menghasilkan simpangan antar lantai dan efek P-Delta yang lebih kecil. Kondisi tersebut terjadi karena distribusi

kekakuan struktur yang lebih merata, sehingga tidak memicu ketidakberaturan yang signifikan. Sebaliknya, model Gedung B dan Gedung C cenderung mengalami penurunan kekakuan yang berdampak pada meningkatnya gaya geser dasar, periode struktur, simpangan, serta efek P-Delta, bahkan berpotensi memicu ketidakberaturan struktur. Dari segi kinerja kekuatan struktur, Gedung D dan E juga menunjukkan performa yang lebih baik, ditandai dengan nilai gaya dalam berupa momen, geser, dan torsi yang relatif lebih kecil pada balok induk, balok anak, maupun kolom. Dengan demikian, variasi *void* yang tepat dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja struktur tanpa mengurangi tingkat keamanannya.

### ABSTRACT

The rapid development of multi-story buildings in Sidoarjo Regency is driven by limited land availability and increasing space demands. This condition requires structural designs that are capable of resisting seismic loads, considering that Sidoarjo is located between the Surabaya Fault and the Waru Fault, which have a potential earthquake magnitude of approximately 6.5–7.0. One factor influencing structural response is the presence of voids or openings in floor slabs, which can alter the distribution of mass and stiffness within the building. This study aims to evaluate the effect of variations in the size and location of voids on the behavior and structural strength of a Special Moment Resisting Frame (SMRF) system in a 10-story building in Sidoarjo. The analysis was conducted using ETABS v.22 with five structural models: Building A without voids, and Buildings B, C, D, and E with different void configurations. The results indicate that Buildings D and E exhibit the most optimal structural performance compared to other models. This is reflected in more controlled base shear forces and structural periods, resulting in smaller inter-story drift and reduced P-Delta effects. These outcomes are attributed to a more uniform stiffness distribution, minimizing structural irregularities. In contrast, Buildings B and C tend to experience reduced stiffness, leading to increased base shear, structural period, inter-story drift, and P-Delta effects, as well as a higher potential for structural irregularities. In terms of structural strength, Buildings D and E also demonstrate better performance, indicated by lower internal forces, including moments, shear, and torsion in beams and columns. Therefore, an appropriate void configuration can improve structural efficiency and performance without compromising safety.



## 1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat mendorong percepatan pembangunan di Kabupaten Sidoarjo. Tingginya Indeks Pelaksanaan Pembangunan sebesar 93,92% menjadikan wilayah ini sebagai salah satu daerah dengan tingkat pembangunan tertinggi di Jawa Timur [1]. Dampaknya, kebutuhan lahan meningkat dan memicu alih fungsi lahan pertanian menjadi kawasan terbangun. Keterbatasan lahan horizontal mendorong pembangunan ke arah vertikal, seperti apartemen, rumah susun, rumah sakit, dan fasilitas umum lainnya [2]. Namun, perkembangan bangunan bertingkat sering menghasilkan konfigurasi struktur yang tidak beraturan [3]. Salah satu penyebabnya adalah keberadaan void atau bukaan pada pelat lantai yang dapat memengaruhi distribusi massa dan kekakuan struktur [2]. Jika tidak direncanakan dengan baik, void berpotensi menurunkan kinerja struktur terhadap beban gempa [4]. Hal ini menjadi penting mengingat Sidoarjo berada di antara Sesar Surabaya dan Sesar Waru dengan potensi gempa sekitar 6,5–7,0 magnitudo [5], [6]. Oleh karena itu, perencanaan struktur harus memperhatikan karakteristik dinamik bangunan serta faktor keutamaan gempa [3]. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) banyak digunakan karena memiliki daktilitas tinggi dan mampu menahan beban lateral secara efektif [7], [8]. Namun, keberadaan void dapat menimbulkan eksentrisitas yang memicu efek torsi dan distribusi gaya yang tidak merata [4], [9]. Selain itu, bukaan pada pelat dapat mengurangi kontinuitas elemen struktur dan memengaruhi kekuatan global bangunan [10], [11].

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh variasi luas dan letak *void* terhadap perilaku dan kekuatan struktur gedung 10 lantai dengan sistem SRPMK menggunakan ETABS v.22. Model yang dianalisis terdiri dari Gedung A tanpa void serta Gedung B, C, D, dan E dengan variasi *void* yang memengaruhi distribusi massa dan kekakuan struktur, di mana bukaan pelat perlu dibatasi sesuai SNI 1726:2019 Tabel 13 No 3, sehingga variasi yang digunakan berada dalam rentang 15,24% hingga 19,05%. Hasil penelitian diharapkan memberikan rekomendasi konfigurasi *void* yang optimal dan aman.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Pengaruh *Void* Terhadap Struktur Bangunan Gedung

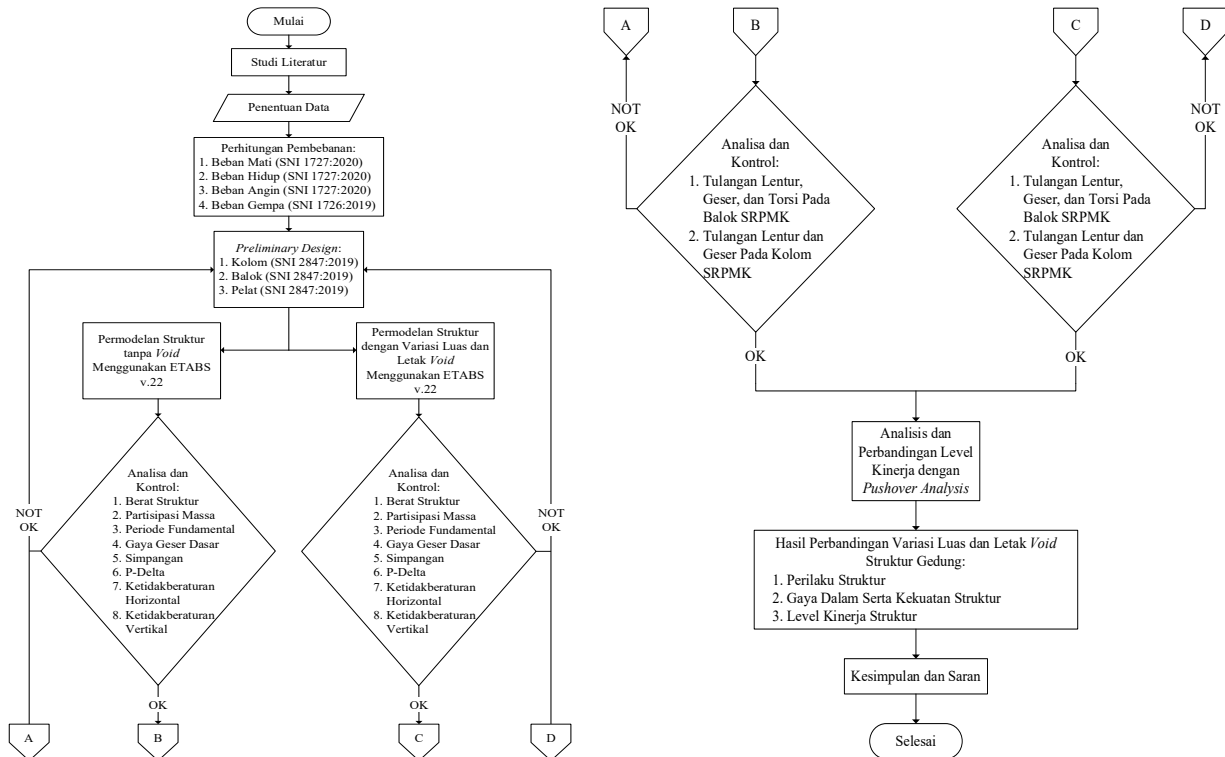
*Void* merupakan bukaan atau ruang kosong yang dirancang pada struktur bangunan, baik secara vertikal maupun horizontal, untuk mendukung sirkulasi udara, pencahayaan alami, serta aspek estetika [4]. Dalam praktiknya, *void* umumnya dimanfaatkan pada area tangga, lift, maupun elemen arsitektural lainnya. Dari sudut pandang rekayasa struktur, keberadaan *void* dapat memengaruhi distribusi massa dan kekakuan bangunan. Penempatan dan ukuran *void* yang tidak tepat berpotensi menimbulkan ketidaksimetrian serta ketidakberaturan struktur, yang berdampak pada respons bangunan terhadap beban gempa seperti diskontinuitas diafragma dapat terjadi apabila luas bukaan melebihi 50% dari luas diafragma [2].

### 2.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) merupakan sistem struktur yang dirancang untuk menahan beban gravitasi dan beban lateral melalui interaksi kaku antara balok dan kolom, sehingga gaya dalam seperti momen, geser, dan aksial dapat didistribusikan secara efektif [12]. Dalam penelitian ini digunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), yaitu sistem beton bertulang yang dirancang memiliki daktilitas tinggi sehingga mampu mengalami deformasi plastis secara optimal saat menerima beban gempa [13], [14]. Prinsip utama SRPMK meliputi penerapan konsep *strong column-weak beam* agar kerusakan terkonsentrasi pada balok, pencegahan kegagalan geser pada elemen struktur dan sambungan, serta pendetailan tulangan yang memadai untuk menjamin perilaku daktail struktur [15], [16]. Keberadaan *void* pada pelat lantai dalam sistem SRPMK memengaruhi distribusi gaya dalam karena terputusnya kontinuitas pelat, sehingga terjadi perubahan aliran gaya dan redistribusi momen. Balok di sekitar bukaan menerima tambahan beban lentur dan torsi akibat ketidakseimbangan massa dan kekakuan, serta dapat menimbulkan eksentrisitas yang meningkatkan respons torsi struktur saat gempa [2], [4].

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini membandingkan pengaruh variasi luas dan letak *void* terhadap respons struktur bangunan. Penentuan beban mengacu pada SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019 [17], [18], sedangkan pemodelan struktur dan pembebanan dilakukan menggunakan *software* ETABS v.22 [19]. Hasil analisis dari setiap model kemudian dievaluasi dan dibandingkan untuk mengetahui pengaruh variasi *void* terhadap perilaku dan kekuatan struktur. Berikut merupakan tahapan penelitian yang disajikan dalam bentuk diagram alir.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

#### 3.1 Data Umum Bangunan

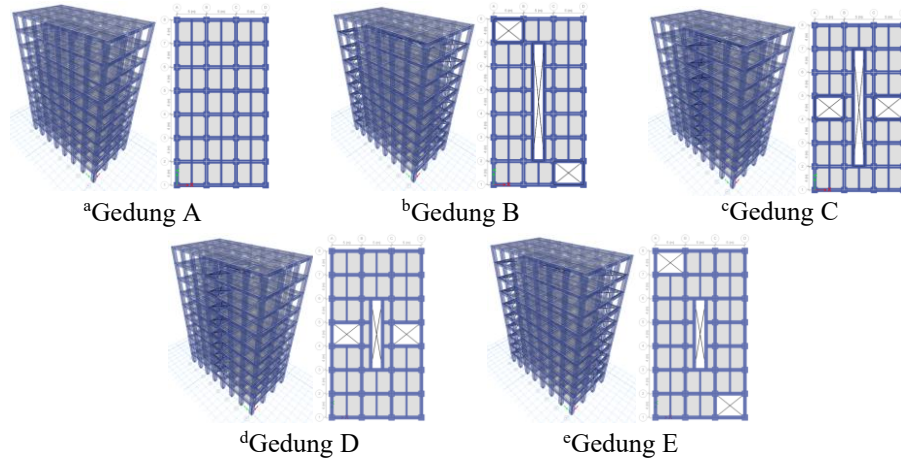
Data bangunan pada penelitian kali ini tercantum pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Data Bangunan

Kriteria	Deskripsi
Fungsi Bangunan	Rumah Sakit
Lokasi Bangunan	Sidoarjo
Jenis Tanah	Tanah Lunak
Jumlah Lantai	10 Lantai
Tinggi Antar Lantai	4 m
Panjang Bangunan	28 m
Lebar Bangunan	15 m
Tinggi Bangunan	40 m
Struktur Bangunan	Beton Bertulang (SRPMK)
Mutu Baja	BjTS 420A ( $f_y$ 420 MPa) dan BjTP 280 ( $f_y$ 280 MPa)
Mutu Beton	K400 ( $f'_c$ 33,2 MPa)
Dimensi Bukaan (Void)	Tanpa Void (Gedung A) dengan Kondisi <i>Rigid Diaphragms</i> 4 m x 5 m dan 20 m x 2 m dengan Luas Total Void Sebesar 80 m <sup>2</sup> (Gedung B dan C) dengan Kondisi <i>Rigid Diaphragms</i> 4 m x 5 m dan 12 m x 2 m dengan Luas Total Void Sebesar 64 m <sup>2</sup> (Gedung D dan E) dengan Kondisi <i>Rigid Diaphragms</i>

### 3.2 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur bangunan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2, dengan orientasi sumbu *X* sebagai arah lebar bangunan sebesar 15 m, sumbu *Y* sebagai arah panjang bangunan sebesar 28 m, dan sumbu *Z* sebagai arah vertikal dengan tinggi bangunan mencapai 40 m.



Gambar 2. Pemodelan Struktur Gedung SRPMK dengan Variasi Luas dan Letak Void

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pembebanan

Pembebanan struktur bangunan pada penelitian kali ini mengacu pada SNI 1726:2019 dan SNI 1727:2020 yang tercantum pada Tabel 2 dan Tabel 3 dibawah ini [17], [18].

Tabel 2. Beban Mati dan Beban Hidup Struktur Bangunan

Deskripsi	Komponen Bangunan	Nilai
Beban Mati Pelat Lantai	Keramik	0,24 kN/m <sup>2</sup>
	Spesi	0,41 kN/m <sup>2</sup>
	Plafond	0,11 kN/m <sup>2</sup>
	Penggantung	0,07 kN/m <sup>2</sup>
	Sanitasi	0,20 kN/m <sup>2</sup>
	MEP	0,39 kN/m <sup>2</sup>
	<b>TOTAL</b>	<b>1,41 kN/m<sup>2</sup></b>
Beban Mati Pelat Atap	Plafond	0,11 kN/m <sup>2</sup>
	Penggantung	0,07 kN/m <sup>2</sup>
	MEP	0,39 kN/m <sup>2</sup>
	Aspal	0,14 kN/m <sup>2</sup>
	<b>TOTAL</b>	<b>0,71 kN/m<sup>2</sup></b>
Beban Balok	Dinding Eksterior	2,45 kN/m <sup>2</sup>
	Dinding Interior	1,18 kN/m <sup>2</sup>
Beban Hidup	Lantai 1 – 2	2,87 kN/m <sup>2</sup>
	Lantai 3 – 8	1,92 kN/m <sup>2</sup>
	Lantai 9	4,79 kN/m <sup>2</sup>
	Lantai 10 (Atap)	0,94 kN/m <sup>2</sup>

Tabel 3. Beban Gempa Struktur Bangunan

Deskripsi	Parameter	Nilai	Sumber
Beban Gempa	Kategori Risiko Bangunan	IV	SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2
	Faktor Keutamaan Gempa	1,50	SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2
	Klasifikasi Situs	SE	SNI 1726:2019 Pasal 5.3
	Nilai Spektral Desain ( $S_s$ )	0,7555 g	RSA Cipta Karya
	( $S_l$ )	0,3394 g	
	Parameter Percepatan Spektral Desain ( $F_a$ )	1,2956 g	SNI 1726:2019 Pasal 6.2,

$(F_v)$	2,6424 g	dan Pasal 6.3
$(S_{MS})$	0,9788 g	
$(S_{MI})$	0,8968 g	
$(S_{DS})$	0,6526 g	
$(S_{DI})$	0,5979 g	
Kategori Desain Seismik	D	SNI 1726:2019 Pasal 6.5
Koefisien Respon Seismik	SRPMK	SNI 1726:2019 Pasal 7.2.2
$(R)$	8	
$(\Omega_0)$	3	
$(C_d)$	5 ½	

#### 4.2 Preliminary Design

*Preliminary design* elemen struktur mengacu pada SNI 2847:2019 [20]. Adapun elemen struktur pada penelitian kali ini dirancang dengan dimensi yang seragam untuk menghasilkan perbandingan yang konsisten tercantum pada Tabel 4 dibawah ini.

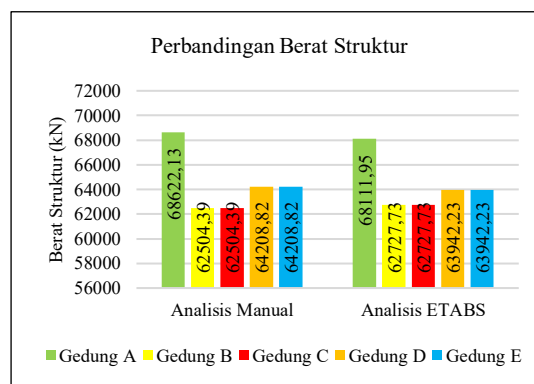
**Tabel 4.** Profil Elemen Struktur Hasil *Preliminary Design*

Tipe Elemen Struktur	Profil Elemen Struktur	Penempatan	Tipe Elemen Struktur	Profil Elemen Struktur	Penempatan
Balok Induk BI X1	60/80 cm	Lantai 1 – 3	Balok Anak BA 1	30/50 cm	Lantai 1 – 3
Balok Induk BI X2	55/80 cm	Lantai 4 – 7	Balok Anak BA 2	25/45 cm	Lantai 4 – 7
Balok Induk BI X3	40/60 cm	Lantai 8 – 10	Balok Anak BA 3	20/40 cm	Lantai 8 – 10
Balok Induk BI Y1	55/70 cm	Lantai 1 – 3			
Balok Induk BI Y2	50/70 cm	Lantai 4 – 7			
Balok Induk BI Y3	35/50 cm	Lantai 8 – 10			
Kolom K1	100/100 cm	Lantai 1 – 3	Pelat Lantai	11 cm	Lantai 1 – 9
Kolom K2	80/80 cm	Lantai 4 – 7	Pelat Atap	11 cm	Lantai 10
Kolom K3	70/70 cm	Lantai 8 – 10			

#### 4.3 Perbandingan Perilaku dan Kekuatan Struktur

##### 1. Perbandingan Berat Struktur

Gambar 3 menjelaskan kontrol berat struktur untuk memastikan kesesuaian antara hasil perhitungan manual dengan hasil analisis menggunakan *software* ETABS.



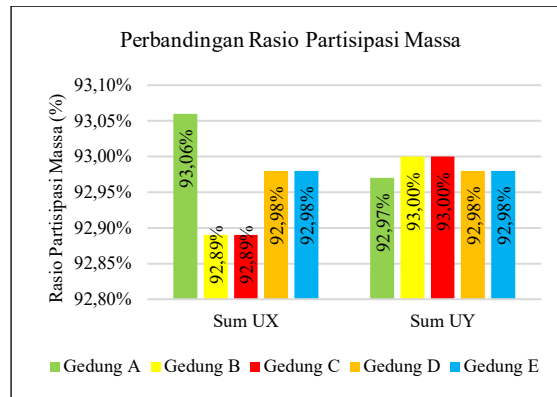
**Gambar 3.** Grafik Perbandingan Berat Struktur Bangunan

Berdasarkan Gambar 3, perbandingan berat struktur antara perhitungan manual dan hasil analisis ETABS pada Gedung A, B, C, D, dan E menunjukkan nilai yang sangat berdekatan, dengan selisih masing-masing sebesar 0,74% pada Gedung A, 0,36% pada Gedung B dan C, serta 0,42% pada Gedung D dan E, yang masih berada di bawah batas toleransi maksimum 5%. Secara keseluruhan, perbedaan yang terjadi relatif kecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pemodelan ETABS memiliki tingkat akurasi yang baik dan konsisten terhadap perhitungan

manual [18].

## 2. Perbandingan Partisipasi Massa

Gambar 4 menjelaskan kontrol partisipasi massa yang digunakan untuk mengevaluasi besarnya kontribusi massa struktur terhadap respons dinamik bangunan saat menerima beban gempa.



**Gambar 4.** Grafik Perbandingan Rasio Partisipasi Massa Struktur Bangunan

Berdasarkan Gambar 4, rasio partisipasi massa pada seluruh model Gedung A, B, C, D, dan E telah memenuhi ketentuan minimum sebesar 90% pada arah *X* maupun *Y*. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi luas dan letak *void* tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap rasio partisipasi massa struktur. Selain itu, jumlah mode yang diperlukan untuk mencapai batas 90% juga relatif sama, yaitu sekitar mode ke-10 hingga ke-11. Dengan demikian, seluruh model telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1 dan memiliki distribusi massa yang baik dalam merespons beban gempa [18].

## 3. Perbandingan Periode Struktur

Tabel 5 menjelaskan kontrol periode efektif yang bertujuan memastikan nilai periode fundamental struktur tidak melampaui batas yang ditetapkan.

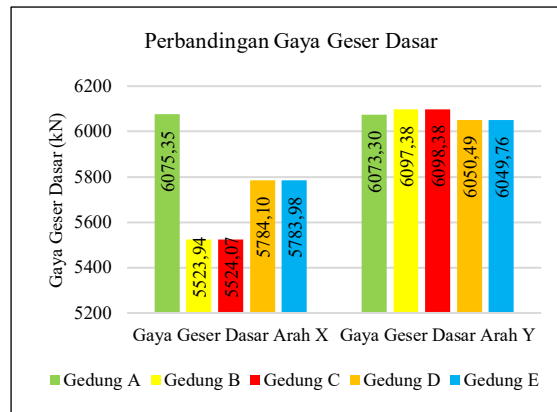
**Tabel 5.** Perbandingan Periode Struktur Bangunan

Variasi Pemodelan	Analisis Manual		Analisis Software ETABS		Digunakan
	$T_a$ (detik)	$T_{max}$ (detik)	Periode <i>X</i> (detik)	Periode <i>Y</i> (detik)	
Gedung A	1,576	2,206	1,101	1,102	ETABS
Gedung B	1,576	1,576	1,142	1,035	ETABS
Gedung C	1,576	1,576	1,142	1,035	ETABS
Gedung D	1,576	1,576	1,102	1,053	ETABS
Gedung E	1,576	1,576	1,102	1,053	ETABS

Berdasarkan Tabel 5, periode fundamental struktur pada seluruh model Gedung A, B, C, D, dan E menunjukkan perbedaan yang relatif kecil. Nilai periode pendekatan,  $T_a$  sebesar 1,576 s dan batas maksimum,  $T_{max}$  sebesar 2,206 s berlaku sama untuk seluruh model. Perbedaan nilai periode antar model tergolong kecil. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi luas dan letak *void* hanya memberikan pengaruh terbatas terhadap karakteristik dinamik struktur. Selain itu, seluruh nilai periode masih berada di bawah batas maksimum yang diizinkan, sehingga memenuhi ketentuan yang berlaku. Dengan demikian, seluruh model telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2 dan dapat dinyatakan aman dan memiliki respons dinamik yang sesuai [18].

#### 4. Perbandingan Gaya Geser Dasar

Gambar 5 menunjukkan kontrol gaya geser dasar yang bertujuan memastikan besarnya gaya geser total akibat beban lateral, seperti gempa dan angin, tetap berada dalam batas yang diizinkan sesuai peraturan perencanaan.



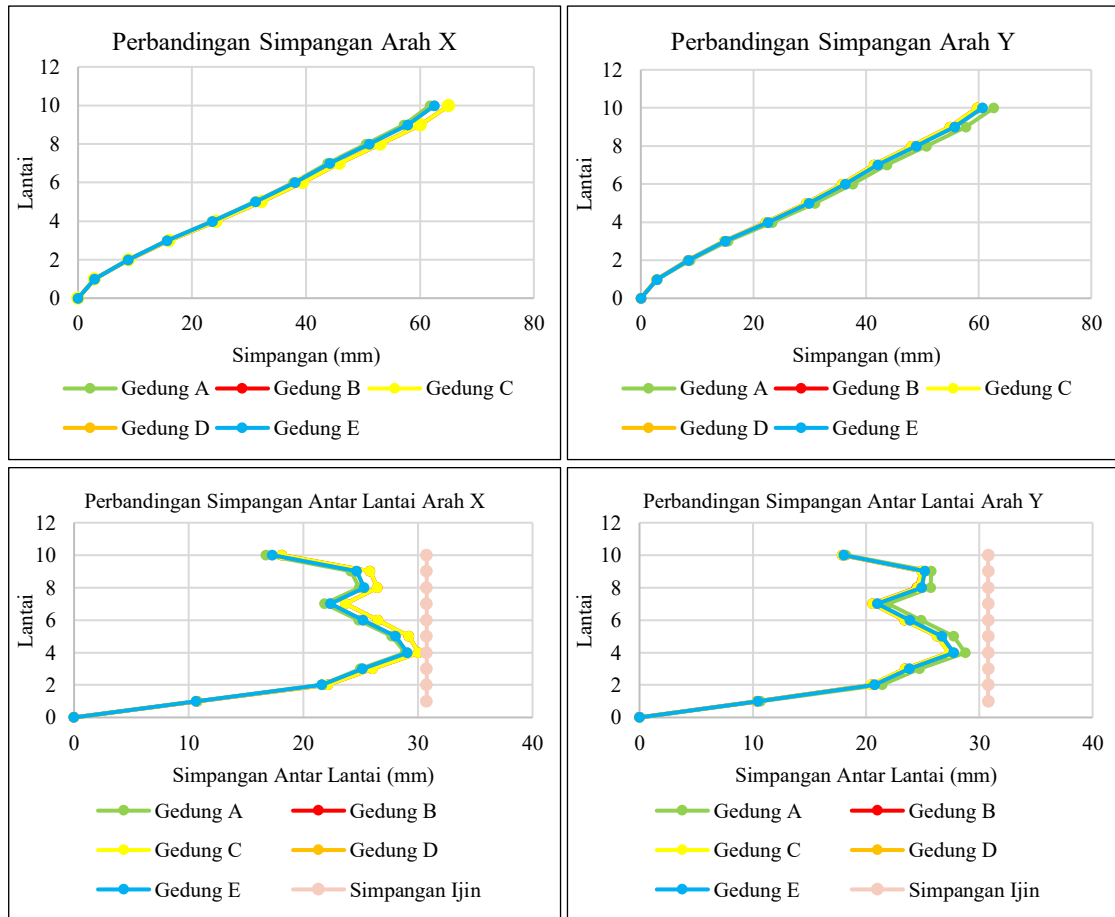
**Gambar 5.** Grafik Perbandingan Gaya Geser Dasar Struktur Bangunan

Berdasarkan Gambar 5, nilai gaya geser dasar pada Gedung A, B, C, D, dan E menunjukkan perbedaan pada arah *X* dan *Y*. Secara umum, gaya geser dasar pada arah *Y* cenderung lebih besar dibandingkan arah *X*. Hal ini disebabkan distribusi kekakuan arah *Y* yang lebih merata dan lebih besar, sehingga menghasilkan respons yang relatif seragam. Sebaliknya, pada arah *X*, variasi luas dan letak *void* memengaruhi jalur distribusi gaya dan menurunkan distribusi kekakuan, sehingga nilai gaya geser lebih bervariasi. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi luas dan letak *void* memengaruhi besarnya gaya geser dasar melalui perubahan distribusi massa dan kekakuan struktur. Dengan demikian, seluruh model telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4 dan nilai yang dihasilkan masih berada dalam kisaran yang relatif berdekatan, sehingga respons struktur antar model tidak berbeda secara signifikan [18].

#### 5. Perbandingan Simpangan dan Simpangan Antar Lantai

Gambar 6 menjelaskan kontrol simpangan untuk memastikan deformasi struktur tetap dalam batas aman. Pengendalian simpangan diperlukan guna mencegah kerusakan yang dapat berpotensi menyebabkan kegagalan struktur. Sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1, struktur dengan kategori risiko IV, simpangan antar lantai dibatasi sebesar  $0,010h_{sx}$ . Selain itu, berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1.1, untuk sistem struktur KDS D sampai F, simpangan antar lantai harus lebih kecil dari nilai  $\Delta_a / \rho$  dengan nilai  $\rho$  diatur dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.3.4.2 yaitu 1,3 [18].

$$\Delta_a = \frac{0,010h_{sx}}{\rho} \quad (1)$$



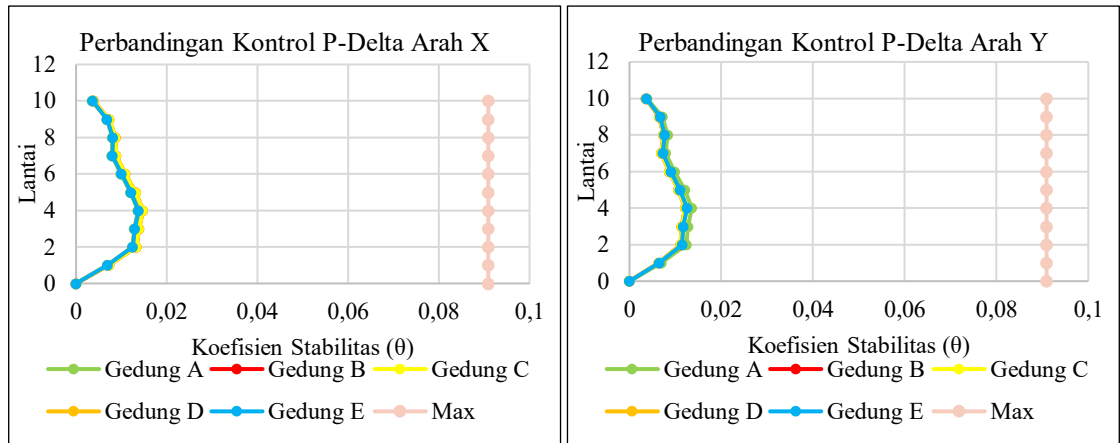
**Gambar 6.** Grafik Perbandingan Simpangan dan Simpangan Antar Lantai Struktur Bangunan (Lanjutan)

Berdasarkan Gambar 6, nilai simpangan dan simpangan antar lantai pada Gedung A, B, C, D, dan E menunjukkan pola yang relatif seragam dan berhimpit pada arah *X* dan *Y*. Secara umum, simpangan meningkat seiring ketinggian bangunan dan mencapai nilai maksimum pada lantai teratas. Distribusi simpangan antar model tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, meskipun terdapat variasi kecil akibat perbedaan luas dan letak *void* yang memengaruhi kekakuan struktur. Sementara itu, simpangan antar lantai cenderung maksimum pada lantai menengah hingga atas, yang mengindikasikan konsentrasi deformasi pada bagian tersebut. Selain itu, Gedung D dan Gedung E menunjukkan kinerja paling optimal dengan nilai simpangan dan simpangan antar lantai yang paling kecil pada arah *X* maupun *Y*. Hal ini menandakan kekakuan struktur yang lebih baik sehingga deformasi akibat beban lateral dapat dikendalikan dengan lebih efektif. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi *void* berpengaruh terhadap respons deformasi struktur, namun tidak menimbulkan perbedaan yang berarti antar model. Dengan demikian, seluruh model telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1 dan seluruh pemodelan masih berada dalam batas kinerja yang diizinkan dan menunjukkan perilaku struktur yang konsisten [18].

#### 6. Perbandingan Efek P-Delta

Gambar 7 menjelaskan kontrol P-Delta untuk membatasi deformasi lateral akibat interaksi beban aksial dan lateral, sehingga dapat mencegah potensi ketidakstabilan dan keruntuhan struktur. Sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.8.7, efek P-Delta tidak perlu dihitung apabila koefisien stabilitasnya ( $\theta \leq 0,1$ ) [18].

$$\theta = \frac{P_x \times \Delta_i \times I_e}{V \times h_{sx} \times C_d} \quad (2)$$

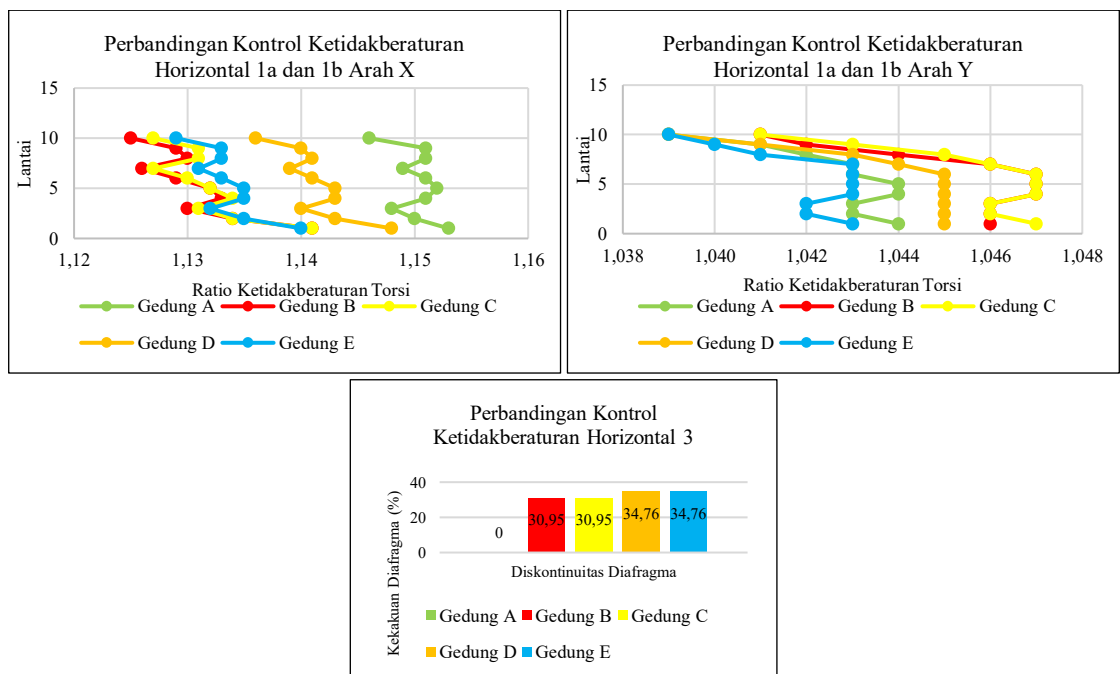


**Gambar 7.** Grafik Perbandingan Kontrol P-Delta Struktur Bangunan

Berdasarkan Gambar 7, nilai koefisien stabilitas pada Gedung A, B, C, D, dan E menunjukkan variasi pada arah *X* dan *Y*. Secara umum, nilai koefisien stabilitas cenderung menurun seiring bertambahnya ketinggian lantai, meskipun laju penurunannya berbeda pada tiap model. Pada arah *X*, Gedung A dan D memiliki nilai koefisien stabilitas relatif lebih rendah dibandingkan Gedung B, C, dan E. Sementara itu, pada arah *Y*, perbedaan antar model lebih kecil, dengan Gedung B dan C cenderung memiliki nilai yang lebih tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi luas dan letak *void* memengaruhi besarnya efek P-Delta melalui perubahan distribusi massa dan kekakuan struktur. Dengan demikian, seluruh model telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.7 dan seluruh model masih berada dalam batas stabilitas yang diizinkan, sehingga respons struktur terhadap beban lateral tetap dapat dikategorikan aman [18].

#### 7. Perbandingan Ketidakberaturan Horizontal

Gambar 8 menjelaskan kontrol ketidakberaturan horizontal untuk menilai pemerataan distribusi kekakuan dan respons struktur terhadap beban lateral guna mencegah efek torsi berlebih. Selain itu, dilakukan pula pengecekan parameter ketidakberaturan horizontal lainnya sesuai dengan kondisi masing-masing model.

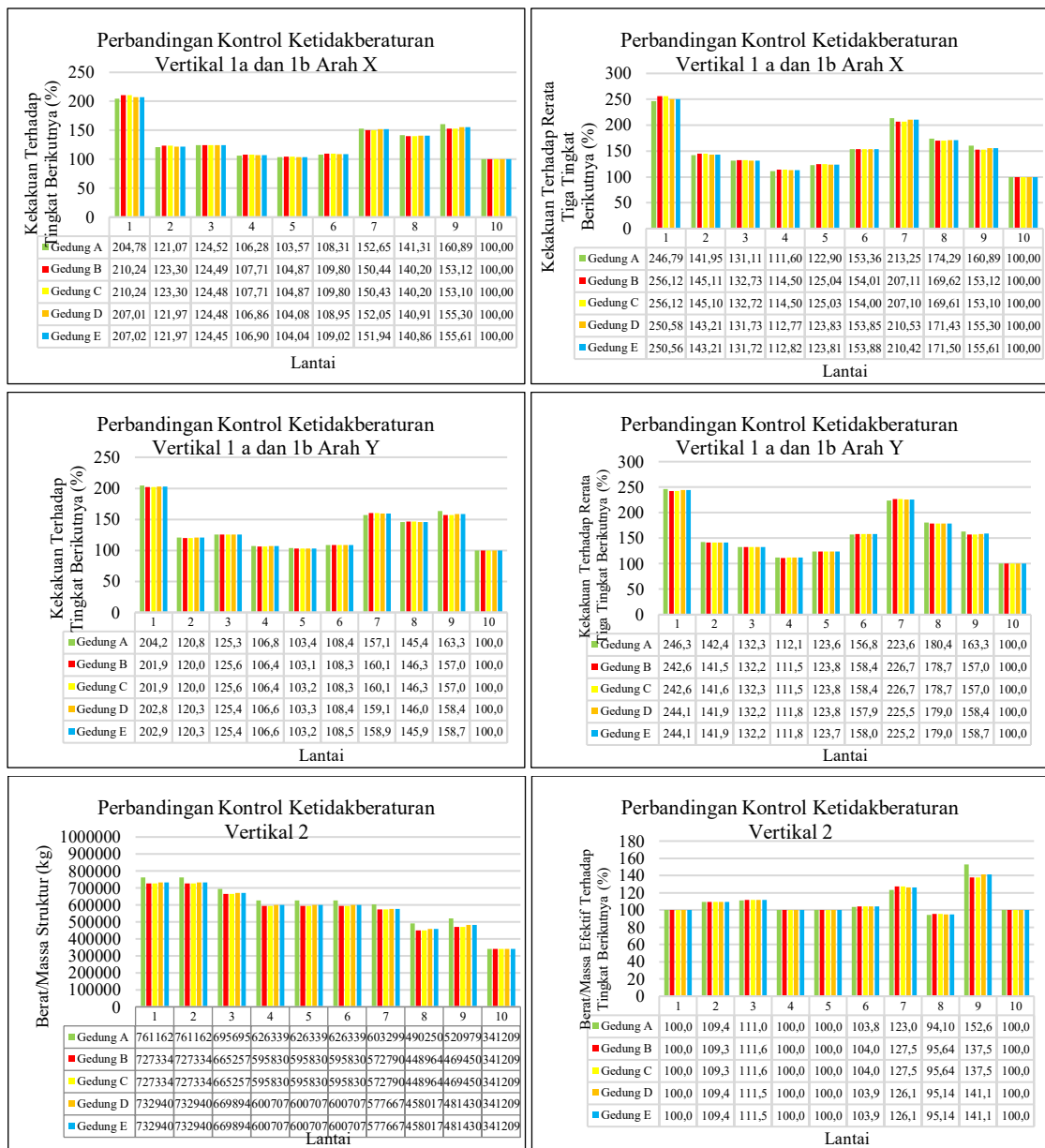


**Gambar 8.** Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Horizontal Struktur Bangunan

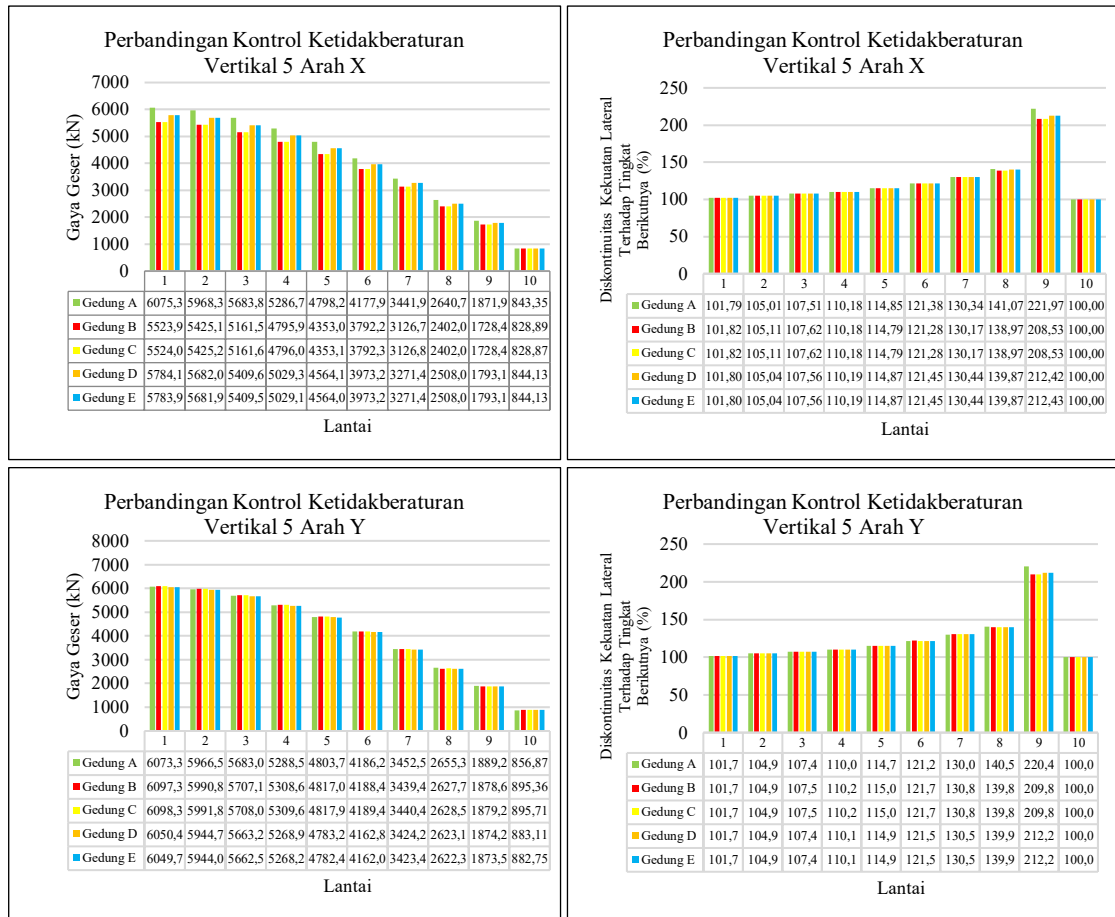
Berdasarkan Gambar 8, ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b pada Gedung A, B, C, D, dan E menunjukkan variasi pada arah *X* dan *Y*. Adapun ketidakberaturan torsi lebih dominan pada arah *X*, sedangkan pada arah *Y* perbedaannya relatif kecil dan stabil. Selain itu, kontrol ketidakberaturan tipe 3 menunjukkan variasi kekakuan diafragma antar model. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi luas dan letak *void* berpengaruh terhadap tingkat ketidakberaturan horizontal, distribusi kekakuan lantai, dan karakteristik kekakuan struktur. Dengan demikian, seluruh model telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 Pasal 7.3 dan seluruh model masih berada dalam batas yang diizinkan [18].

### 8. Perbandingan Ketidakberaturan Vertikal

Gambar 9 menjelaskan kontrol ketidakberaturan vertikal untuk mengevaluasi perubahan kekakuan, massa, dan kekuatan antar tingkat agar tetap memenuhi kriteria perencanaan dan tidak menimbulkan kelemahan struktur. Selain itu, dilakukan pula pengecekan parameter ketidakberaturan vertikal lainnya sesuai dengan kondisi masing-masing model.



**Gambar 9.** Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal Struktur Bangunan

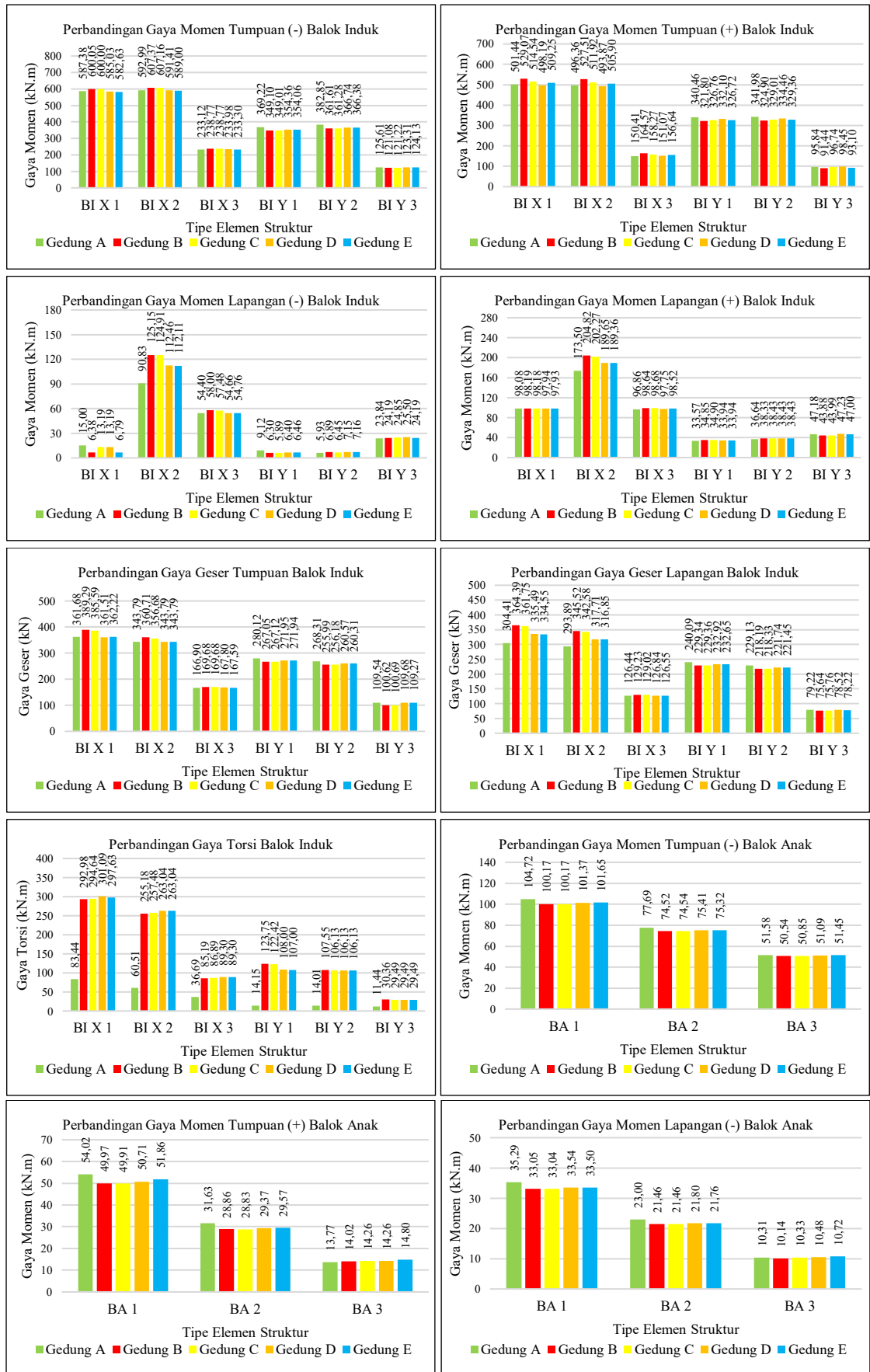


**Gambar 9.** Grafik Perbandingan Kontrol Ketidakberaturan Vertikal Struktur Bangunan (Lanjutan)

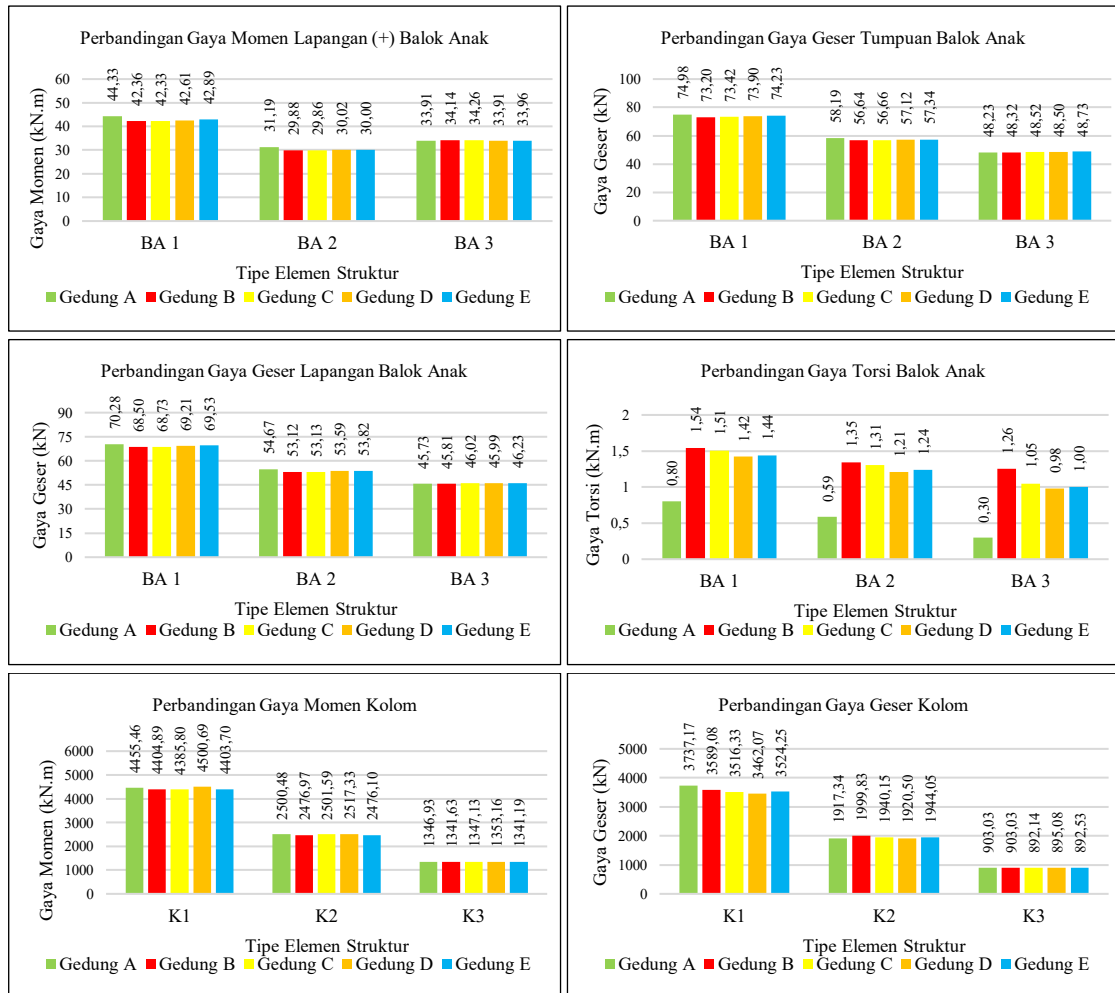
Berdasarkan Gambar 9, setiap variasi pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E menunjukkan respons yang berbeda terhadap ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 1b pada arah X dan Y. Pada arah X, Gedung C dan D cenderung memiliki nilai kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan Gedung A, B, dan E, yang menunjukkan perbedaan distribusi kekakuan antar lantai. Sementara itu, pada arah Y, pola respons antar gedung relatif lebih seragam, meskipun Gedung B dan C memiliki nilai kekakuan yang sedikit lebih besar. Ketidakberaturan vertikal tipe 2 menunjukkan bahwa Gedung A dan B memiliki nilai massa lebih kecil dibandingkan Gedung C dan D, yang mengindikasikan pengaruh variasi void terhadap distribusi massa vertikal. Pada ketidakberaturan vertikal tipe 5a dan 5b arah X, Gedung A dan C memiliki gaya geser lebih besar, sedangkan Gedung B dan D menunjukkan diskontinuitas yang lebih tinggi, terutama pada lantai atas. Pada arah Y, gaya geser cenderung menurun ke arah atas, namun peningkatan diskontinuitas terlihat pada lantai 8 – 10, khususnya pada Gedung B dan D. Dengan demikian, seluruh model telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 Pasal 7.3 dan secara keseluruhan, variasi luas dan letak void memengaruhi distribusi massa, kekakuan, dan gaya geser struktur. Meskipun terdapat perbedaan respons antar model, seluruh pemodelan masih berada dalam batas ketidakberaturan vertikal yang diizinkan [18].

#### 9. Perbandingan Gaya Dalam

Gambar 10 menjelaskan perbandingan gaya dalam untuk mengevaluasi perbedaan momen, gaya geser, dan gaya aksial pada elemen struktur antar variasi pemodelan.



Gambar 10. Grafik Perbandingan Gaya Dalam



**Gambar 10.** Grafik Perbandingan Gaya Dalam (Lanjutan)

Berdasarkan Gambar 10, variasi luas dan letak *void* berpengaruh terhadap gaya dalam pada elemen balok dan kolom di setiap model Gedung A, B, C, D, dan E. Pada balok induk, momen tumpuan terbesar umumnya terjadi pada Gedung A dan C, sedangkan Gedung B dan D menunjukkan momen lapangan yang lebih rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa *void* yang lebih terpusat cenderung mengurangi distribusi momen pada bentang balok, sementara *void* yang lebih luas atau berada pada posisi tertentu meningkatkan konsentrasi momen. Untuk gaya geser, Gedung A dan E memiliki nilai lebih besar dibandingkan Gedung B dan D, yang menunjukkan bahwa konfigurasi *void* memengaruhi jalur distribusi gaya geser. Pada balok anak, variasi momen dan torsi terlihat cukup signifikan, di mana Gedung C dan D cenderung lebih tinggi, sedangkan Gedung B dan E lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa ketidaksimetrisan *void* dapat meningkatkan ketidakberaturan gaya dalam. Pada kolom, gaya momen dan geser terbesar terjadi pada elemen K1, dengan Gedung A dan C menunjukkan nilai lebih tinggi dibandingkan model lainnya. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi luas dan letak *void* yang lebih besar atau berada pada posisi kritis dapat meningkatkan konsentrasi gaya dalam kolom. Dengan demikian, seluruh model telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 Pasal 7, Pasal 9, Pasal 10, Pasal 18.6, dan Pasal 18.7. Secara keseluruhan, variasi luas dan letak *void* memengaruhi distribusi momen, geser, dan torsi pada struktur [18].

#### 4.4 Penulangan Elemen Struktur

Tabel 6 menjelaskan hasil perencanaan penulangan elemen struktur yang digunakan sebagai dasar evaluasi kapasitas dan keamanan struktur.

**Tabel 6** Penulangan Elemen Struktur

Elemen Struktur	Perletakan	Tul. Atas	Tul. Tengah	Tul. Bawah	Tul. Senggang	Elemen Struktur	Perletakan	Tul. Atas	Tul. Tengah	Tul. Bawah	Tul. Senggang
<i>Gedung A</i>						<i>Gedung B - E</i>					
BI X 1	Tumpuan	4D29	4D16	3D29	3D16-100	BI X 1	Tumpuan	4D29	4D19	3D29	3D16-100
	Lapangan	3D29	4D16	3D29	2D16-150		Lapangan	3D29	4D19	3D29	2D16-150
BI X 2	Tumpuan	4D29	4D16	3D29	3D16-100	BI X 2	Tumpuan	4D29	4D19	4D29	3D16-100
	Lapangan	3D29	4D16	3D29	2D16-150		Lapangan	3D29	4D19	3D29	2D16-150
BI X 3	Tumpuan	3D25	2D16	2D25	3D13-100	BI X 3	Tumpuan	3D25	4D16	2D25	3D13-100
	Lapangan	2D25	2D16	2D25	2D13-150		Lapangan	2D25	2D16	2D25	2D13-150
BI Y 1	Tumpuan	4D25	-	4D25	2D16-100	BI Y 1	Tumpuan	4D25	4D19	3D25	3D16-100
	Lapangan	3D25	-	3D25	2D16-150		Lapangan	3D25	2D19	3D25	2D16-150
BI Y 2	Tumpuan	4D25	-	4D25	2D16-100	BI Y 2	Tumpuan	4D25	4D19	3D25	3D16-100
	Lapangan	3D25	-	3D25	2D16-150		Lapangan	3D25	2D19	3D25	2D16-150
BI Y 3	Tumpuan	2D25	2D13	2D25	2D13-100	BI Y 3	Tumpuan	2D25	2D13	2D25	3D13-100
	Lapangan	2D25	2D13	2D25	2D13-150		Lapangan	2D25	2D13	2D25	2D13-150
BA 1	Tumpuan	3D19	-	2D19	2D10-150	BA 1	Tumpuan	3D19	-	2D19	2D10-150
	Lapangan	2D19	-	2D19	2D10-150		Lapangan	2D19	-	2D19	2D10-150
BA 2	Tumpuan	2D19	-	2D19	2D10-150	BA 2	Tumpuan	2D19	-	2D19	2D10-150
	Lapangan	2D19	-	2D19	2D10-150		Lapangan	2D19	-	2D19	2D10-150
BA 3	Tumpuan	3D16	-	2D16	2D10-150	BA 3	Tumpuan	3D16	-	2D16	2D10-150
	Lapangan	2D16	-	2D16	2D10-150		Lapangan	2D16	-	2D16	2D10-150
K1	Tumpuan		3D29		4D19-100	K1	Tumpuan		3D29		4D19-100
	Lapangan				2D19-150		Lapangan				2D19-150
K2	Tumpuan		2D29		3D19-100	K2	Tumpuan		2D29		3D19-100
	Lapangan				2D19-150		Lapangan				2D19-150
K3	Tumpuan		2D25		3D16-100	K3	Tumpuan		2D25		3D16-100
	Lapangan				2D16-150		Lapangan				2D16-150

Perbedaan penulangan pada balok induk menunjukkan adanya pengaruh variasi letak dan luas void terhadap kebutuhan kapasitas elemen struktur. Keberadaan void menyebabkan terputusnya kontinuitas pelat sehingga aliran gaya dalam mengalami redistribusi, yang berdampak pada meningkatnya momen lentur dan torsi pada balok di sekitar bukaan. Kondisi ini juga menimbulkan eksentrisitas akibat ketidakseimbangan distribusi massa dan kekakuan, sehingga balok harus menahan kombinasi gaya yang lebih kompleks.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis lima variasi pemodelan Gedung A, B, C, D, dan E, dapat disimpulkan bahwa variasi luas dan letak *void* berpengaruh terhadap perilaku, kekuatan, dan kinerja struktur SRPMK, terutama dalam distribusi massa, kekakuan, serta respons terhadap beban gempa. Model Gedung D dan E menunjukkan kinerja paling optimal dengan nilai periode, gaya geser dasar, simpangan, dan efek P-Delta yang lebih terkendali serta distribusi kekakuan yang lebih merata, sehingga ketidakberaturan struktur dapat diminimalkan dan gaya dalam pada elemen balok serta kolom relatif lebih kecil. Sebaliknya, Gedung B dan C cenderung mengalami penurunan kekakuan yang berdampak pada peningkatan respons struktur, sedangkan Gedung A menunjukkan nilai gaya dalam yang relatif lebih besar pada beberapa elemen. Meskipun demikian, seluruh model masih memenuhi ketentuan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019, sehingga dinyatakan aman, dengan konfigurasi *void* seperti pada Gedung D dan E sebagai alternatif yang lebih efisien dan optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. F. Wulandari, A. Puspaningtyas, and A. Soesiantoro, "Perencanaan Interaktif sebagai Perwujudan Pembangunan Berkelanjutan dalam Pengembangan Wilayah Permukiman di Kabupaten Sidoarjo," *Birokrasi J. Ilmu Huk. dan Tata Negara*, vol. 2, no. 3, pp. 117–133, 2024, doi: 10.55606/birokrasi.v2i3.1314.
- [2] P. A. Pangestuti, A. S. N. Patria, and I. P. Sholikin, "Pengaruh Variasi Ukuran dan Penempatan Void Plat Lantai Terhadap Perilaku dan Kekuatan Gedung Bertingkat," *J. Talent. Sipil*, vol. 8, no.

- 1, pp. 430–439, 2025, doi: 10.33087/talentsipil.v8i2.970.
- [3] M. A. Prasetya, I. Wirakusuma, and G. Sarya, “Kinerja Struktur Gedung Perkuliahan 10 Lantai Berdasarkan Analisis Nonlinier Pushover dan ATC-40 (Studi Kasus: Graha Wiyata UNTAG Surabaya),” *Extrapolasi*, vol. 19, no. 01, pp. 35–45, 2022, doi: 10.30996/ep.v19i01.6705.
- [4] G. R. Alow, S. E. Wallah, S. O. Dapas, F. Teknik, J. T. Sipil, and U. S. Ratulangi, “Studi Mengenai Pengaruh Penempatan dan Luasan Void Terhadap Struktur Bangunan Tahan Gempa Yang Memiliki Dinding Geser Simetris,” *J. Sipil Statik*, vol. 7, no. 4, pp. 409–418, 2019.
- [5] Pusat Gempabumi Dan Tsunami BMKG, *Relokasi Hiposenter Dan Implikasi Tektonik*, vol. 1. Jakarta: Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2021.
- [6] M. Hafiz and R. Angraini, “Analisis Respon Struktur Akibat Beban Gempa Statik dan Dinamik Pada Gedung Perpustakaan Berdasarkan SNI 1726-2019,” *J. Tek. Sipil ITP*, vol. 12, no. 1, pp. 127–132, 2025, doi: 10.21063/JTS.2025.V1201.0127-132.
- [7] A. Triayaska and R. Trimurtiningrum, “Analisa Perbandingan Pengaruh Gempa terhadap Gedung Bertingkat Berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019,” *Portal J. Tek. Sipil*, vol. 16, no. 1, pp. 67–74, 2023, doi: 10.30811/portal.v16i1.4720.
- [8] R. P. Dewanti and A. C. Windari, “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,” *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 5, no. 2, pp. 4046–4058, 2024, [Online]. Available: <http://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/18613>
- [9] B. P. Utama, “Evaluasi Kinerja Bangunan Rumah Sakit Santa Maria Pemalang Dengan Nonlinier Static Pushover Analysis Metode ATC-40 Dan FEMA 440,” *J. Inersia*, vol. 17, no. 2, pp. 118–129, 2021, [Online]. Available: <http://eprints.uty.ac.id/3146/>
- [10] Sanuaji and R. Freddy, “Pengaruh Rasio Panjang-Lebar (L/B) pada Bangunan dengan First Soft Story terhadap Periode Getaran, Rasio Partisipasi Massa, Gaya Geser Dasar, dan Simpangan Antar Lantai dengan Analisis Gempa Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726-2019,” Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang, 2022.
- [11] M. Usman, Sudarso, and Ikhwanuddin, “Struktur Tahan Gempa terhadap Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal Gedung Pendidikan Terpadu Agribisnis Politeknik Negeri Jember,” *J. Talent. Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 430–439, 2025, doi: 10.33087/talentsipil.v8i2.1009.
- [12] M. F. Ramadhan, N. Rochmah, and B. Sutriyono, “Perbandingan Kinerja dan Harga Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Ganda Gedung 12 Lantai,” *Pros. Senandika*, vol. 1, no. 1, pp. 876–886, 2024.
- [13] S. Anam, B. Sutriyono, and R. Trimurtiningrum, “Studi Perbandingan Kinerja Gedung Beton Bertulang SRPMK 6 Lantai Dengan Menggunakan Metode Pushover dan Nonlinear Time History Analysis,” *J. Ilm. MITSU*, vol. 8, no. 1, pp. 33–41, 2020, doi: 10.24929/ft.v8i1.922.
- [14] J. Propika, Y. Septiarsilia, E. Susanti, and A. E. Prasetyo, “Analisis Pushover Terhadap Struktur Gedung Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Menggunakan Metode Precast,” *Agregat*, vol. 9, no. 1, pp. 1006–1013, 2024, doi: 10.30651/ag.v9i1.22101.
- [15] S. B. Wulandari and B. Sutriyono, “Evaluasi Struktur SRPM Gedung 10 Lantai Sesuai Peraturan Gempa SNI 1726:2019,” *Portal J. Tek. Sipil*, vol. 16, no. 1, pp. 75–80, 2023, doi: 10.30811/portal.v16i1.4724.
- [16] M. Ghozi and A. Ifani Rizaldhy, “Perbandingan Struktur Gedung Perkantoran BPR Delta Artha Dengan Desain Beban Gempa Statis dan Dinamis Berdasarkan SNI 1729-2020,” *Inter Tech*, vol. 1, no. 2, pp. 1–9, 2023, doi: 10.54732/i.v1i2.1060.
- [17] Badan Standardisasi Nasional, *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020)*. Jakarta: Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2020.
- [18] Badan Standardisasi Nasional, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung (SNI 1726:2019)*. Jakarta: Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2019.
- [19] A. R. Zulfikar, I. P. Loekito, N. A. Munawaroh, N. I. Muzhaffar, and L. M. Salma, *Software Etabs v21 untuk Analisa Struktur Bangunan Gedung*. Sidoarjo: Sidoarjo: PT Mitra Edukasi dan Publikasi, 2024.
- [20] Badan Standardisasi Nasional, *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019)*. Jakarta: Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2019.