



Analisis Perilaku Struktur Gedung Perkantoran Beton Bertulang Berbentuk Irregular Dengan Variasi Ketidakberaturan Sudut Dalam

Dhea F. Suparman^{#a}, Ronny E. Pandaleke^{#b}, Banu D. Handono^{#c}, Marthin D. J. Sumajouw^{#d}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^adheafuansprman@gmail.com, ^bronny_pandaleke@yahoo.com, ^cbanu2h@unsrat.ac.id, ^ddody_sumajouw@yahoo.com

Abstrak

Pesatnya pembangunan di kota besar meningkatkan kebutuhan akan gedung perkantoran bertingkat, di mana bentuk arsitektural *irregular* dengan ketidakberaturan sudut dalam kini semakin umum digunakan. Meskipun menarik secara estetika, bentuk ini berpotensi menimbulkan konsentrasi tegangan dan respons dinamis yang kompleks terhadap beban gempa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku struktur gedung perkantoran beton bertulang dengan variasi ketidakberaturan sudut dalam. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan luas sudut dalam meningkatkan kekakuan dan menurunkan periode getar, namun juga menurunkan gaya geser dasar karena massa total berkurang. Simpangan antar lantai dan perpindahan maksimum tetap berada dalam batas aman, serta efek P-Delta tidak signifikan. Evaluasi elemen kolom menunjukkan bahwa dimensi 55×55 cm hanya memadai untuk kolom sudut, sementara kolom tepi dan tengah memerlukan penyesuaian. Secara keseluruhan, struktur dengan bentuk irregular tetap memenuhi kriteria stabilitas dan keamanan jika dirancang dengan memperhatikan standar yang berlaku.

Kata kunci: bangunan irregular, sudut dalam, respons seismik, desain kolom

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Pesatnya pembangunan di kota-kota besar mendorong meningkatnya konstruksi gedung bertingkat, khususnya gedung perkantoran. Dalam perancangannya, desain struktural memegang peranan penting untuk menjamin stabilitas dan keselamatan bangunan terhadap beban mati, hidup, dan gempa. Tren arsitektur modern mendorong penggunaan bentuk bangunan *irregular* yang tidak simetris, termasuk ketidakberaturan sudut dalam, demi memenuhi tuntutan estetika dan fungsional. Ketidakteraturan ini dapat menimbulkan konsentrasi tegangan, deformasi tidak merata, serta respons geser dan torsi yang memperburuk kinerja struktur terhadap beban dinamis. Struktur beton bertulang yang umum digunakan tetap memerlukan analisis mendalam untuk memastikan kinerjanya dalam menghadapi ketidakberaturan geometri, terutama saat terjadi gempa. Pesatnya pembangunan di kota-kota besar telah mendorong bertambahnya gedung perkantoran bertingkat. Dalam perancangannya, desain struktural menjadi aspek penting yang harus diperhatikan, tidak hanya dari segi estetika dan fungsi, tetapi juga dalam hal stabilitas dan keselamatan terhadap berbagai jenis beban, termasuk beban gempa. Seiring kemajuan arsitektur modern, bangunan dengan bentuk tidak simetris atau irregular semakin banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan desain yang fleksibel. Namun, bentuk *irregular* khususnya pada sudut dalam yang tajam atau konfigurasi geometris tak beraturan dapat meningkatkan konsentrasi tegangan, menyebabkan deformasi tidak merata, serta memperburuk distribusi gaya dalam struktur beton bertulang. Hal ini menimbulkan potensi respons geser dan torsi yang signifikan terhadap beban dinamis seperti gempa. Meski beton bertulang memiliki kekuatan dan kekakuan tinggi, geometri *irregular* tetap memerlukan analisis struktural yang cermat untuk memahami respons struktur terhadap beban gempa dan meminimalkan risiko kerusakan.

1.2 Rumusan Masalah

“Bagaimana pengaruh variasi ketidakberaturan sudut dalam terhadap perilaku struktural, termasuk distribusi gaya, kekuatan, kestabilan, deformasi, respons terhadap beban dinamis, serta potensi risiko kerusakan pada gedung perkantoran beton bertulang berbentuk *irregular*.”

1.3 Batasan Perencanaan

1. Struktur gedung bertingkat yang ditinjau adalah gedung perkantoran 4 lantai dengan konstruksi beton bertulang.
2. Analisis yang ditinjau yaitu elemen-elemen struktur atas dengan beban yang ditinjau adalah beban hidup, beban mati dan beban gempa.
3. Daya dukung tanah dan pondasi diasumsikan mampu memikul bangunan di atasnya.
4. Perencanaan elemen struktur menggunakan analisis yang mengacu pada *SNI 2847:2019* tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
5. Analisa perhitungan gaya gempa akan menggunakan metode analisis Respon Spektrum berdasarkan *SNI 1726:2019* tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung.
6. Peraturan Pembebanan yang bekerja pada struktur berdasarkan *SNI 1727:2020* tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain.
7. Analisa Struktur dihitung dengan bantuan *Software ETABS V.19.1*.
8. Tidak dilakukan analisis terhadap efisiensi waktu dan biaya dalam proses perencanaan.

1.4 Tujuan Perencanaan

1. Menganalisis pengaruh variasi ketidakberaturan sudut dalam terhadap respons dinamis struktur gedung perkantoran beton bertulang berbentuk *irregular*.
2. Melakukan pengecekan kontrol keamanan struktur terhadap pengaruh variasi ketidakberaturan sudut dalam, yang mencakup simpangan antar lantai, *displacement* maksimum dan stabilitas struktur terhadap efek P-Delta.
3. Mengevaluasi kapasitas elemen kolom terhadap kombinasi beban aksial dan momen lentur melalui pengecekan rasio interaksi PMM, sebagai dasar penentuan dimensi kolom yang aman dan memenuhi syarat kekuatan struktur.

1.5 Manfaat Perencanaan

1. Untuk umum, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan tentang dampak ketidakberaturan geometris terhadap stabilitas dan kekuatan struktur beton bertulang, serta bagaimana struktur tersebut merespons beban lateral yang bersifat dinamis, seperti yang terjadi pada kondisi gempa atau angin.
2. Untuk penulis, penelitian ini memberikan tambahan pemahaman dalam penggunaan perangkat lunak permodelan struktur, khususnya dalam perencanaan struktur portal tiga dimensi. Selain itu, penelitian ini juga memperluas wawasan mengenai perilaku struktur gedung beton bertulang dengan bentuk *irregular*, terutama akibat variasi ketidakberaturan sudut dalam. Penelitian ini turut memperkuat dasar pengetahuan penulis dalam merancang struktur yang aman dan efisien sesuai prinsip rekayasa teknik dan standar perencanaan yang berlaku.

2. Metode Perencanaan

Sebelum perencanaan dimulai, dilakukan pengumpulan data. Data awal yang didapatkan adalah sebagai berikut:

2.1. Lokasi Perencanaan

Lokasi perencanaan Bangunan berada di Kelurahan Rangas, Kecamatan Simboro dan Kepulauan, Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat, Indonesia.

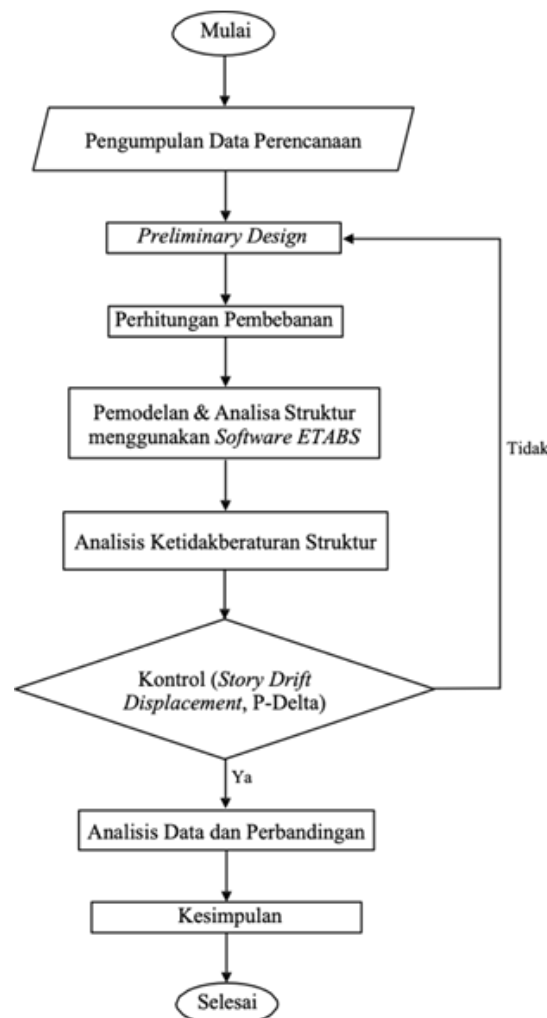
2.2. Data Bangunan

Nama Bangunan	: Gedung Perkantoran
Fungsi Bangunan	: Perkantoran
Jumlah Lantai	: 5 Lantai Kerja
Tinggi Lantai 1-5	: 4 m
Tinggi Lantai Dak	: 2 m
Tinggi Bangunan	: 18 m
Panjang Bentang	: Arah X : 49,00 m
	: Arah Y : 39,00 m

2.3. Data Material

Mutu Beton (f'_c)	: 35 MPa
Berat Jenis Beton	: 24 kN/m ³ : 2400 kg/m ³
Modulus Elastisitas Beton	: $4700\sqrt{f'_c}$
Mutu Baja Tulangan Utama (f_y)	: 420 MPa
Mutu Baja Tulangan Transversal (f_y)	: 280 MPa
Modulus Elastisitas Baja	: 200000 MPa

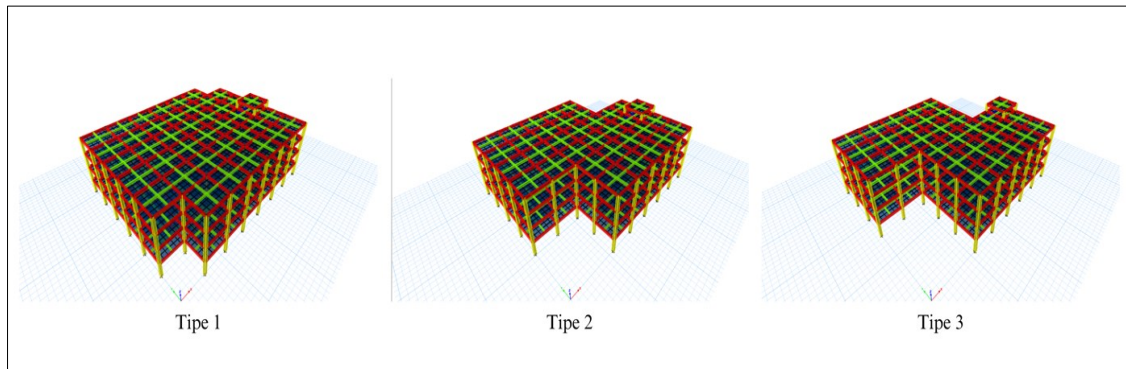
2.4. Bagan Alir Perencanaan



Gambar 1. Bagan Alir Perencanaan

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pemodelan Struktur 3D



Gambar 2. Geometri Struktur 3D

3.2 Pradesain Elemen Struktur

Dimensi awal yang akan digunakan dalam pemodelan struktur sebagai berikut.

- Balok Induk = 30×60 cm
- Balok Anak = 25×45 cm
- Kolom = 60×60 cm
- Tebal Pelat Lantai = 12 cm
- Tebal Pelat Tangga = 15 cm

3.2 Pembebanan

A. Beban Mati

- Berat sendiri elemen struktur (*Dead Load*) yang ditentukan oleh program (*program determine*) sesuai dengan perencanaan elemen yang digunakan.
- Berat beton bertulang = $24,00 \text{ kN/m}^3$
- Beban tambahan (*Superimposed Dead Load*) = 1.20 kN/m^2
- Berat dinding (Beban $\frac{1}{2}$ Bata) = 2.50 kN/m^2

B. Beban Hidup

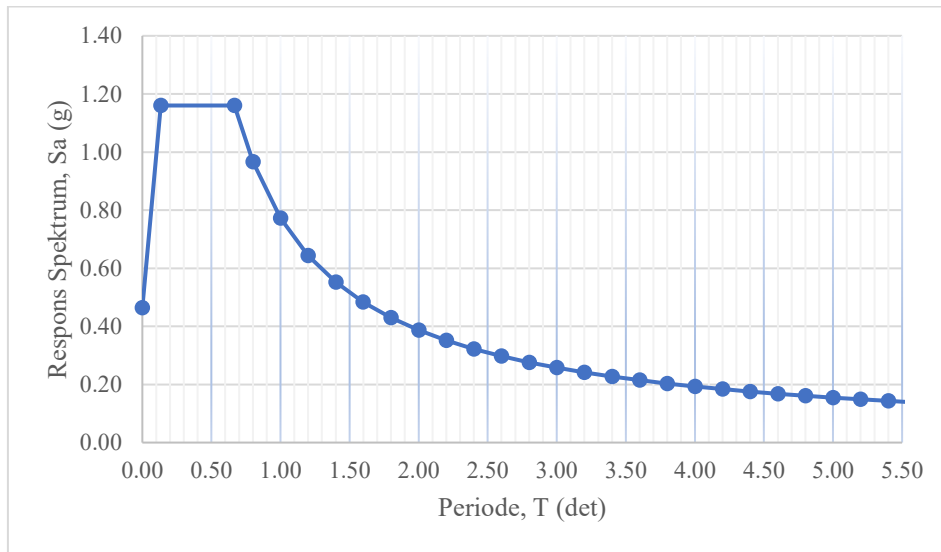
- a. Fungsi lantai Gedung
 - 1) Ruang rapat = $4,79 \text{ kN/m}^2$
 - 2) Koridor = $4,79 \text{ kN/m}^2$
 - 3) Ruang kerja = $2,40 \text{ kN/m}^2$
- b. Beban hidup atap
 - Atap = $4,79 \text{ kN/m}^2$
 - Atap bukan untuk hunian = $0,96 \text{ kN/m}^2$
- c. Beban tangga
 - Tangga = $4,79 \text{ kN/m}^2$

C. Beban Gempa

Data beban gempa diambil berdasarkan lokasi rencana yakni Kelurahan Rangas, Kecamatan Simboro dan Kepulauan, Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat, dengan metode analisis gempa dinamik respon spektrum, yang mengacu pada SNI 1726:2019. Parameter-parameter yang akan digunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut:

- S_s = 1.7403 g
- S_1 = 0.6821 g
- Kategori risiko = II
- Faktor keutamaan gempa (I_e) = 1.0
- Kelas situs = tanah sedang (SD)
- Parameter respon spektrum:
- S_{DS} = 1.160 g

- S_{D1} = 0.773 g
- Kategori desain seismik = D
- Sistem struktur = Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus



Gambar 3. Grafik Respon Spektrum Desain

D. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan untuk struktur atas yang digunakan adalah kombinasi beban terfaktor dan beban layan (*Load And Resistance Faktor Design, LRFD*). Beban-beban yang ada, dikombinasikan agar suatu struktur yang dirancang mampu memikul kombinasi beban yang ada, berdasarkan persyaratan dalam SNI 2847:2019 Pasal 5.3 yang divariasikan dengan tandanya

3.3 Pradesain Elemen Struktur

Dimensi awal yang akan digunakan dalam pemodelan struktur sebagai berikut.

- Balok Bordes = 25 × 30 cm
- Balok Tangga Tipe 1 = 25 × 40 cm
- Balok Tangga Tipe 2 = 25 × 25 cm
- Ring Balok = 35 × 50 cm
- Kolom = 50 × 50 cm
- Tebal Pelat = 23 cm

3.4 Kontrol Ketidakberaturan Struktur

Struktur bangunan harus diklasifikasikan sebagai suatu struktur bangunan beraturan atau tidak beraturan berdasarkan kriteria dan perbaikan tambahan jika bangunan mengalami tipe-tipe ketidakberaturan horizontal maupun vertikal, seperti yang dijelaskan dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.3.2 tentang klasifikasi struktur beraturan dan tidak beraturan.

Dengan persyaratan dalam SNI 1726:2019 Tabel 13 no 2 ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan, dengan parameter tersebut dapat dilihat pada denah bangunan. Seperti yang tertera pada SNI 1726:2019 gambar 5 bagian b Pasal 7.3.2 ketidakberaturan ada apabila:

$$P_y > 0,15 L_y \text{ dan } P_x > 0,15 L_x$$

Tabel 1. Kontrol Ketidakberaturan Horizontal (Sudut Dalam) Tipe 1

Arah	Panjang (m)			Kontrol
	P	L	0,15 L	
X	7,00	49,00	7,35	Struktur Tidak Mengalami Ketidakberaturan Sudut Dalam
Y	6,50	39,00	5,85	Struktur Mengalami Ketidakberaturan Sudut Dalam

Tabel 2. Kontrol Ketidakberaturan Horizontal (Sudut Dalam) Tipe 2

Arah	Panjang (m)			Kontrol
	P	L	0,15 L	
X	14,00	49,00	7,35	Struktur Mengalami Ketidakberaturan Sudut Dalam
Y	13,00	39,00	5,85	Struktur Mengalami Ketidakberaturan Sudut Dalam

Tabel 3. Kontrol Ketidakberaturan Horizontal (Sudut Dalam) Tipe 3

Arah	Panjang (m)			Kontrol
	P	L	0,15 L	
X	14,00	49,00	7,35	Struktur Mengalami Ketidakberaturan Sudut Dalam
Y	19,50	39,00	5,85	Struktur Mengalami Ketidakberaturan Sudut Dalam

Sesuai dengan SNI 1726:2019, struktur dengan ketidakberaturan sudut dalam dan kategori desain seismik D wajib memenuhi ketentuan Pasal 7.3.3.4 dan Tabel 16. Konsekuensi tersebut meliputi mengharuskan peningkatan gaya desain sebesar 25% pada sambungan diafragma, elemen kolektor, dan sambungannya dengan elemen vertikal sesuai Pasal 7.3.3.4. Selain itu, diperlukan penggunaan model atau prosedur analisis yang lebih ketat sebagaimana diatur dalam SNI 1726:2019 Tabel 16. Dalam hal ini, analisis dilakukan menggunakan metode Spektrum Respon Ragam sesuai dengan kategori desain seismik D yang diizinkan.

3.5 Kontrol Keamanan Struktur

A. Kontrol Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Seperti yang disyaratkan bahwa Nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 90% nilai respons ragam yang pertama, hasil analisis diperoleh:

Tabel 4. Kontrol *Base Shear* Gempa Statik dan Dinamik Arah X

Tipe Beban	Fx (kN)			Kontrol (VT/V) × 100% ≥ 100%					
	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3	Tipe 1		Tipe 2		Tipe 3	
Statik	6294,39	5421,22	4839,12	100	Ok	100	Ok	100	Ok
Dinamik	6294,40	5421,23	4839,12						

Tabel 5. Kontrol *Base Shear* Gempa Statik dan Dinamik Arah Y

Tipe Beban	Fy (kN)			Kontrol (VT/V) × 100% ≥ 100%					
	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3	Tipe 1		Tipe 2		Tipe 3	
Statik	6294,39	5421,22	4839,12	100	Ok	100	Ok	100	Ok
Dinamik	6294,40	5421,23	4839,12						

Hasil kontrol menunjukkan bahwa nilai V/V_t pada arah X dan Y sama-sama mencapai 100%, sehingga respons dinamik memenuhi syarat minimal 100% terhadap hasil respons ragam pertama.

B. Kontrol Simpangan Antar Lantai (Story Drift)

Tabel 6. Kontrol Simpangan Arah X (Tipe 1)

Story	h_{sx} (mm)	δ_{ex} (mm)	$\Delta\delta_e$ (Antar Tingkat) (mm)	C_d	I_e	Δx (mm)	Kontrol	
							$\Delta\alpha$ (mm)	$\Delta x < \Delta\alpha$
Story 5	2000	32,97	2,02	5,50	1,00	11,10	40,00	Ok
Story 4	4000	30,95	6,16	5,50	1,00	33,87	80,00	Ok
Story 3	4000	24,79	8,97	5,50	1,00	49,36	80,00	Ok
Story 2	4000	15,82	10,00	5,50	1,00	55,01	80,00	Ok
Story 1	4000	5,82	5,82	5,50	1,00	31,99	80,00	Ok

Tabel 7. Kontrol Simpangan Arah Y (Tipe 1)

Story	h_{sy} (mm)	δ_{ey} (mm)	$\Delta\delta_e$ (Antar Tingkat) (mm)	C_d	I_e	Δy (mm)	Kontrol	
							$\Delta\alpha$ (mm)	$\Delta y < \Delta\alpha$
Story 5	2000	32,20	1,42	5,50	1,00	7,80	40,00	Ok
Story 4	4000	30,78	6,07	5,50	1,00	33,36	80,00	Ok
Story 3	4000	24,71	8,90	5,50	1,00	48,97	80,00	Ok
Story 2	4000	15,81	9,97	5,50	1,00	54,81	80,00	Ok
Story 1	4000	5,85	5,85	5,50	1,00	32,15	80,00	Ok

Tabel 8. Kontrol Simpangan Arah X (Tipe 2)

Story	h_{sx} (mm)	δ_{ex} (mm)	$\Delta\delta_e$ (Antar Tingkat) (mm)	C_d	I_e	Δx (mm)	Kontrol	
							$\Delta\alpha$ (mm)	$\Delta x < \Delta\alpha$
Story 5	2000	32,73	2,03	5,50	1,00	11,18	40,00	Ok
Story 4	4000	30,70	6,14	5,50	1,00	33,75	80,00	Ok
Story 3	4000	24,56	8,91	5,50	1,00	49,01	80,00	Ok
Story 2	4000	15,65	9,91	5,50	1,00	54,48	80,00	Ok
Story 1	4000	5,74	5,74	5,50	1,00	31,58	80,00	Ok

Tabel 9. Kontrol Simpangan Arah Y (Tipe 2)

Story	h_{sy} (mm)	δ_{ey} (mm)	$\Delta\delta_e$ (Antar Tingkat) (mm)	C_d	I_e	Δy (mm)	Kontrol	
							$\Delta\alpha$ (mm)	$\Delta y < \Delta\alpha$
Story 5	2000	31,96	1,38	5,50	1,00	7,61	40,00	Ok
Story 4	4000	30,58	6,06	5,50	1,00	33,35	80,00	Ok
Story 3	4000	24,52	8,86	5,50	1,00	48,72	80,00	Ok
Story 2	4000	15,66	9,88	5,50	1,00	54,36	80,00	Ok
Story 1	4000	5,78	5,78	5,50	1,00	31,76	80,00	Ok

Tabel 10. Kontrol Simpangan Arah X (Tipe 3)

Story	h_{sx} (mm)	δ_{ex} (mm)	$\Delta\delta_e$ (Antar Tingkat) (mm)	C_d	I_e	Δx (mm)	Kontrol	
							$\Delta\alpha$ (mm)	$\Delta x < \Delta\alpha$
Story 5	2000	32,52	2,04	5,50	1,00	11,23	40,00	Ok
Story 4	4000	30,48	6,12	5,50	1,00	33,65	80,00	Ok
Story 3	4000	24,36	8,86	5,50	1,00	48,71	80,00	Ok
Story 2	4000	15,50	9,82	5,50	1,00	54,03	80,00	Ok
Story 1	4000	5,68	5,68	5,50	1,00	31,22	80,00	Ok

Tabel 11. Kontrol Simpangan Arah Y (Tipe 3)

Story	h_{sy} (mm)	δ_{ey} (mm)	$\Delta\delta_e$ (Antar Tingkat) (mm)	C_d	I_e	Δy (mm)	Kontrol	
							$\Delta\alpha$ (mm)	$\Delta y < \Delta\alpha$
Story 5	2000	31,92	1,51	5,50	1,00	8,30	40,00	Ok
Story 4	4000	30,41	6,06	5,50	1,00	33,30	80,00	Ok
Story 3	4000	24,35	8,82	5,50	1,00	48,53	80,00	Ok
Story 2	4000	15,53	9,82	5,50	1,00	53,99	80,00	Ok
Story 1	4000	5,71	5,71	5,50	1,00	31,42	80,00	Ok

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 hubungan simpangan antar tingkat, nilai inelastic drift pada setiap lantai disetiap tipe, baik arah X maupun Y, berada di bawah batas drift limit yang diizinkan sesuai SNI 1726:2019.

C. Kontrol Displacement

Berdasarkan tabel control displacement, seluruh nilai *Displacement* maksimum tersebut tidak melebihi batas maksimum yang diizinkan, yaitu $L/240$, sehingga struktur bangunan dinyatakan memenuhi persyaratan *Displacement* baik dalam arah X maupun arah Y.

Tabel 12. Kontrol Displacement Arah X

Story	h _{sx} (mm)	L (mm)	δ _x (mm)			Kontrol Displacement			
			T.1	T.2	T.3	L/240	δ _x < L/240		
							T.1	T.2	T.3
Story 5	2000	18000	32,97	32,73	32,52	75,00	Ok	Ok	Ok
Story 4	4000	16000	30,95	30,70	30,48	66,67	Ok	Ok	Ok
Story 3	4000	12000	24,79	24,56	24,36	50,00	Ok	Ok	Ok
Story 2	4000	8000	15,82	15,65	15,50	33,33	Ok	Ok	Ok
Story 1	4000	4000	5,82	5,74	5,68	16,67	Ok	Ok	Ok

Tabel 13. Kontrol Displacement Arah Y

Story	h _{sy} (mm)	L (mm)	δ _y (mm)			Kontrol Displacement			
			T.1	T.2	T.3	L/240	δ _y < L/240		
							T.1	T.2	T.3
Story 5	2000	18000	32,20	31,96	31,92	75,00	Ok	Ok	Ok
Story 4	4000	16000	30,78	30,58	30,41	66,67	Ok	Ok	Ok
Story 3	4000	12000	24,71	24,52	24,35	50,00	Ok	Ok	Ok
Story 2	4000	8000	15,81	15,66	15,53	33,33	Ok	Ok	Ok
Story 1	4000	4000	5,85	5,78	5,71	16,67	Ok	Ok	Ok

D. Kontrol P-Delta

Tabel 14. Kontrol Pengaruh P-Δ Arah X (Tipe 1)

Story	h (mm)	P _x (kN)	V _x (kN)	Δ (mm)	I _e	C _d	θ	θ _{maks}	Kontrol
Story 5	2000,00	273,76	105,13	11,10	1,00	5,50	0,00263	0,091	Aman
Story 4	4000,00	13883,52	2646,30	33,87	1,00	5,50	0,00808	0,091	Aman
Story 3	4000,00	34609,33	4434,56	49,36	1,00	5,50	0,01751	0,091	Aman
Story 2	4000,00	56237,60	5666,02	55,01	1,00	5,50	0,02482	0,091	Aman
Story 1	4000,00	76578,43	6293,29	31,99	1,00	5,50	0,01770	0,091	Aman

Tabel 15. Kontrol Pengaruh P-Δ Arah Y (Tipe 1)

Story	h (mm)	P _y (kN)	V _y (kN)	Δ (mm)	I _e	C _d	θ	θ _{maks}	Kontrol
Story 5	2000,00	273,76	95,67	7,80	1,00	5,50	0,00203	0,091	Aman
Story 4	4000,00	13883,52	2636,23	33,36	1,00	5,50	0,00799	0,091	Aman
Story 3	4000,00	34609,33	4430,93	48,97	1,00	5,50	0,01739	0,091	Aman
Story 2	4000,00	56237,60	5665,97	54,81	1,00	5,50	0,02473	0,091	Aman
Story 1	4000,00	76578,43	6292,99	32,15	1,00	5,50	0,01778	0,091	Aman

Tabel 16. Kontrol Pengaruh P-Δ Arah X (Tipe 2)

Story	h (mm)	P _x (kN)	V _x (kN)	Δ (mm)	I _e	C _d	θ	θ _{maks}	Kontrol
Story 5	2000,00	273,76	104,85	11,18	1,00	5,50	0,00265	0,091	Aman
Story 4	4000,00	11970,08	2279,04	33,75	1,00	5,50	0,00806	0,091	Aman
Story 3	4000,00	29913,24	3822,74	49,01	1,00	5,50	0,01743	0,091	Aman
Story 2	4000,00	48666,36	4883,64	54,48	1,00	5,50	0,02468	0,091	Aman
Story 1	4000,00	66132,03	5420,14	31,58	1,00	5,50	0,01751	0,091	Aman

Tabel 17. Kontrol Pengaruh P- Δ Arah Y (Tipe 2)

Story	h (mm)	P _y (kN)	V _y (kN)	Δ (mm)	I _e	C _d	θ	θ_{maks}	Kontrol
Story 5	2000,00	273,76	94,92	7,61	1,00	5,50	0,00199	0,091	Aman
Story 4	4000,00	11970,08	2271,65	33,35	1,00	5,50	0,00799	0,091	Aman
Story 3	4000,00	29913,24	3819,62	48,72	1,00	5,50	0,01734	0,091	Aman
Story 2	4000,00	48666,36	4883,04	54,36	1,00	5,50	0,02463	0,091	Aman
Story 1	4000,00	66132,03	5419,83	31,76	1,00	5,50	0,01762	0,091	Aman

Tabel 18. Kontrol Pengaruh P- Δ Arah X (Tipe 3)

Story	h (mm)	P _x (kN)	V _x (kN)	Δ (mm)	I _e	C _d	θ	θ_{maks}	Kontrol
Story 5	2000,00	273,76	105,24	11,23	1,00	5,50	0,00266	0,091	Aman
Story 4	4000,00	10676,96	2034,41	33,65	1,00	5,50	0,00803	0,091	Aman
Story 3	4000,00	26565,43	3414,74	48,71	1,00	5,50	0,01723	0,091	Aman
Story 2	4000,00	43172,63	4361,84	54,03	1,00	5,50	0,02431	0,091	Aman
Story 1	4000,00	58801,12	4838,05	31,22	1,00	5,50	0,01725	0,091	Aman

Tabel 19. Kontrol Pengaruh P- Δ Arah Y (Tipe 3)

Story	h (mm)	P _y (kN)	V _y (kN)	Δ (mm)	I _e	C _d	θ	θ_{maks}	Kontrol
Story 5	2000,00	273,76	96,40	8,30	1,00	5,50	0,00214	0,091	Aman
Story 4	4000,00	10676,96	2028,36	33,30	1,00	5,50	0,00797	0,091	Aman
Story 3	4000,00	26565,43	3412,14	48,53	1,00	5,50	0,01717	0,091	Aman
Story 2	4000,00	43172,63	4361,17	53,99	1,00	5,50	0,02430	0,091	Aman
Story 1	4000,00	58801,12	4837,75	31,42	1,00	5,50	0,01736	0,091	Aman

Berdasarkan hasil kontrol pengaruh P-Delta pada ketiga tipe pemodelan (Tipe 1, Tipe 2, dan Tipe 3), nilai koefisien stabilitas (θ) terbesar untuk arah X secara berturut-turut adalah 0,02482; 0,02468; dan 0,02431, sedangkan untuk arah Y adalah 0,02473; 0,02463; dan 0,02430, yang semuanya terjadi pada lantai ke-2. Seluruh nilai tersebut tidak melebihi koefisien stabilitas maksimum dan juga kurang dari 0,10, sehingga berdasarkan persyaratan, pengaruh P-Delta tidak perlu diperhitungkan.

3.6 Pengecakan PMM Kolom

Data Umum Perhitungan

Dimensi Kolom (K1) : 600 mm x 600 mm

Dimensi Kolom (K2) : 550 mm x 550 mm

Tebal Selimut Beton (d_s) : 40 mm

Mutu Beton (f_c') : 35 MPa

Mutu Baja Tulangan (f_y) : 420 MPa

Modulus Elastisitas : 200000 MPa

Jumlah Tulangan : 24D22

Faktor Reduksi (ϕ) : 0,65

Perhitungan Rasio (ρ) PMM Kolom $\phi \times \left(\frac{P_u}{P_b} + \frac{M_u}{M_b} \right)$

Jika rasio $\leq 1.0 \rightarrow$ AMAN

Jika rasio $> 1.0 \rightarrow$ GAGAL

Tabel 20. Rekapitulasi Perhitungan Kontrol PMM Kolom Sudut

Nama Tipe	NAMA KOLOM	Dimensi		P _u (kN)	M _u (kN)	P _b (kN-m)	M _b (kN-m)	Rasio (ρ)	Kontrol
		b	h						
		(mm)	(mm)						
Tipe 1	K1	600	600	2091,24	633,67	3228,19	961,08	0,850	AMAN
Tipe 2	K1	600	600	2079,82	609,30	3228,19	961,08	0,831	AMAN
Tipe 3	K1	600	600	2076,12	600,81	3228,19	961,08	0,824	AMAN
Tipe 1	K2	550	550	2069,02	542,94	2708,00	798,78	0,938	AMAN
Tipe 2	K2	550	550	2050,37	516,55	2708,00	798,78	0,912	AMAN
Tipe 3	K2	550	550	2029,80	508,07	2708,00	798,78	0,901	AMAN

Tabel 21. Rekapitulasi Perhitungan Kontrol PMM Kolom Tepi

Nama Tipe	NAMA KOLOM	Dimensi		P _u (kN)	M _u (kN)	P _b (kN-m)	M _b (kN-m)	Rasio (ρ)	Kontrol
		b	h						
		(mm)	(mm)						
Tipe 1	K1	600	600	2421,47	651,30	3228,19	961,08	0,928	AMAN
Tipe 2	K1	600	600	2412,33	642,62	3228,19	961,08	0,920	AMAN
Tipe 3	K1	600	600	2426,38	635,05	3228,19	961,08	0,918	AMAN
Tipe 1	K2	550	550	2441,11	846,33	2708,00	798,78	1,275	GAGAL
Tipe 2	K2	550	550	2426,54	837,65	2708,00	798,78	1,264	GAGAL
Tipe 3	K2	550	550	2429,15	541,35	2708,00	798,78	1,024	GAGAL

Tabel 22. Rekapitulasi Perhitungan Kontrol PMM Kolom Tengah

Nama Tipe	NAMA KOLOM	Dimensi		P _u (kN)	M _u (kN)	P _b (kN-m)	M _b (kN-m)	Rasio (ρ)	Kontrol
		b	h						
		(mm)	(mm)						
Tipe 1	K1	600	600	2956,77	605,77	3228,19	961,08	1,000	AMAN
Tipe 2	K1	600	600	2988,24	603,76	3228,19	961,08	1,000	AMAN
Tipe 3	K1	600	600	2749,15	604,22	3228,19	961,08	0,824	AMAN
Tipe 1	K2	550	550	2947,44	542,94	2708,00	798,78	1,149	GAGAL
Tipe 2	K2	550	550	3033,87	529,49	2708,00	798,78	1,159	GAGAL
Tipe 3	K2	550	550	2693,33	513,25	2708,00	798,78	1,064	GAGAL

4. Kesimpulan

Hasil analisis struktur terhadap perilaku struktur gedung perkantoran beton bertulang dengan ukuran bentang arah X = 7 x 7 meter dan arah Y = 6 x 6,5 meter dengan variasi pengurangan pelat pada bentang sudut masing-masing 1 bentang (Tipe 1), 2 bentang (Tipe 2) dan 3 bentang (Tipe 3) diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin besar pengurangan elemen pada sudut dalam (dari Tipe 1 ke Tipe 3), maka semakin besar pula luas area sudut dalam yang terbentuk. Peningkatan luas sudut dalam ini berdampak langsung terhadap penurunan kekakuan global struktur, yang secara teknis ditunjukkan oleh penurunan nilai periode getar fundamental. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi geometri denah dengan sudut dalam yang lebih besar cenderung meningkatkan kekakuan struktural dan menurunkan respons dinamis terhadap beban gempa.
2. Simpangan antar lantai maximum terjadi pada lantai 2 untuk seluruh variasi, dengan simpangan terbesar pada Tipe 1 dan terkecil pada Tipe 3, baik pada arah X maupun Y. Secara persentase, terjadi penurunan rata-rata sebesar 0,89% dari Tipe 1 ke Tipe 2 dan 0,76% dari Tipe 2 ke Tipe 3, dengan total penurunan rata-rata sebesar 1,64% dari Tipe 1 ke Tipe 3. Meskipun perbedaannya relatif kecil, tren penurunan ini menunjukkan peningkatan kekakuan

- struktur seiring bertambahnya ketidakberaturan sudut dalam. Seluruh simpangan antar lantai masih berada dalam batas aman sesuai kriteria perencanaan, dengan distribusi kekakuan lateral yang merata dan tanpa indikasi torsi lokal yang signifikan.
3. Nilai *displacement* total pada masing-masing variasi denah menunjukkan perbedaan yang relatif kecil namun signifikan. Pada variasi tipe 1, *displacement* arah X sebesar 32,971 mm dan arah Y sebesar 32,201 mm. Pada variasi tipe 2, *displacement* arah X sebesar 32,728 mm dan arah Y sebesar 31,967 mm. Sedangkan pada variasi tipe 3, *displacement* arah X sebesar 32,520 mm dan arah Y sebesar 31,911 mm. Penurunan *displacement* antar variasi ini berkorelasi dengan penurunan nilai gaya geser yang terjadi pada struktur.
 4. Pengaruh P-Delta terhadap koefisien stabilitas (θ) tergolong tidak signifikan karena seluruh nilai berada di bawah batas maksimum 0,10, dengan nilai tertinggi tercatat pada lantai 2 dengan nilai θ tertinggi sebesar 0,02482 pada Tipe 1 untuk arah X dan Nilai terendah sebesar 0,02430 terjadi pada Tipe 3 untuk arah Y. Penurunan nilai θ dari Tipe 1 ke Tipe 3 mencapai 2,05% pada arah X dan 1,74% pada arah Y. Nilai tersebut menunjukkan bahwa penambahan ketidakberaturan sudut dalam justru berkontribusi terhadap peningkatan kestabilan geometrik struktur. Dengan demikian, pengaruh momen sekunder akibat efek P-Delta tidak perlu diperhitungkan lebih lanjut, dan struktur dinyatakan stabil serta memenuhi persyaratan desain berdasarkan standar yang berlaku.
 5. Diperoleh hasil untuk dimensi kolom 55×55 cm hanya layak digunakan pada posisi kolom sudut untuk seluruh variasi, karena memenuhi kriteria keamanan berdasarkan rasio interaksi PMM. Namun, pada kolom tepi dan tengah, rasio PMM melebihi batas yang diizinkan sehingga terjadi *overstress*. Oleh karena itu, diperlukan penyesuaian dimensi kolom untuk menjamin kinerja struktur yang aman dan andal.

5. Saran

1. Evaluasi tambahan terhadap pengaruh torsi lokal disarankan untuk dilakukan, khususnya dengan menghitung *torsional amplification factor* dan membandingkan simpangan antar sisi bangunan. Hal ini penting untuk memastikan tidak adanya sisi struktur yang mengalami simpangan lateral berlebih akibat eksentrisitas massa dan kekakuan.
2. Pengembangan desain struktur sebaiknya dilanjutkan ke tahap detail, termasuk perhitungan penulangan elemen struktural (balok, kolom, pelat), perencanaan struktur bawah (pondasi), serta penyusunan estimasi anggaran biaya. Langkah ini diperlukan untuk memperoleh gambaran teknis dan ekonomis bangunan secara utuh.
3. Apabila dalam pengembangan desain struktur direncanakan penambahan elemen vertikal seperti ruang lift, disarankan untuk menambahkan elemen pendukung seperti dinding geser, balok T, atau balok L. Penambahan elemen ini dapat meningkatkan kekakuan lateral, mengontrol simpangan, dan mengurangi *overstress* pada komponen struktur, sehingga bangunan menjadi lebih stabil dan memenuhi persyaratan keamanan.
4. Disarankan untuk melakukan validasi hasil pemodelan dengan pendekatan eksperimental atau data lapangan (jika tersedia), guna meningkatkan keakuratan model numerik dan keandalan hasil analisis terhadap ketidakberaturan bentuk geometri bangunan.

Referensi

- Adriansyah, (2018). *Studi Perilaku Bangunan Tinggi Tidak Beraturan Arah Horizontal Dengan Variasi Nilai Eksentrisitas*. Universitas Negeri Jakarta. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, SNI 2847:2019. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, SNI 1726:2019. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, SNI 1727:2020. Jakarta.
- Braien Octavianus Majore, Steenie E. Wallah, Servie O. Dapas. 2015. *Studi Perbandingan Respons Dinamik Bangunan Bertingkat Banyak Dengan Variasi Tata Letak Dinding Geser*. *Jurnal Sipil Statik*, 3(6), 435-446, Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Doni Setiawan. 2017. *Studi Respon Bangunan Tidak Beraturan Dengan Variasi Bukaannya Pada Shear Wall Terhadap Beban Gempa (Studi Kasus: Bangunan Apartemen Bassura City Tower Jasmine)*. Universitas Negeri Jakarta. Jakarta.
- Ekawati Mei Handayani, Atika Ulfah Jamal. 2018. *Perilaku Struktur Bangunan Ireguler L Bertingkat Banyak Akibat Penempatan Arah Kolom*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Franky G. T. Mamuja, Reky S. Windah, Steenie E. Wallah. 2024. *Respon Dinamis Struktur Gedung 6*

- Lantai Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi Manado Akibat Beberapa Percepatan Gempa. *Jurnal Sipil Statik*, 22(88), Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Lilik Fauziah, M. D. J. Sumajouw, S. O. Dapas, R. S. Windah. 2013. *Pengaruh Penempatan Dan Posisi Dinding Geser Terhadap Simpangan Bangunan Beton Bertulang Bertingkat Banyak Akibat Beban Gempa*. *Jurnal Sipil Statik*, 1(7), 466-472, Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Mikael Lumban Batu, Servie O. Dapas, Steenie E. Wallah. 2016. *Efisiensi Penggunaan Dinding Geser Untuk Mereduksi Efek Torsi Pada Bangunan Yang Tidak Beraturan*. *Jurnal Sipil Statik*, 4(1), 29-35, Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Muhammad Qalbi Minabari, Ronny E. Pandaleke, Steenie E. Wallah. 2023. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Hotel Dengan Denah Berbentuk "L"*. *Jurnal Sipil Statik*, 22(87), Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Nadia Rahma Pramesti. 2018. *Analisa Perilaku Bangunan Tidak Beraturan Horizontal Dengan Variasi Dimensi Kolom Terhadap Gempa*. Universitas Negeri Jakarta. Jakarta.
- Norman Werias Alexander Supit, M. D. J. Sumajouw, W. J. Tamboto, S. O. Dapas. 2013. *Respon Dinamis Struktur Bangunan Beton Bertulang Bertingkat Banyak Dengan Variasi Orientasi Sumbu Kolom*. *Jurnal Sipil Statik*, 1(11), 696-704, Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Olwin A. Pontororing, Ronny E. Pandaleke, Banu D. Handono. 2023. *Perencanaan Gedung Struktur Beton Bertulang Hotel 5 Lantai Dengan Denah Berbentuk "U"*. *Jurnal Sipil Statik*, 21(83), Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Rivaldo Laily, Marthin D. J. Sumajouw, Steenie E. Wallah. 2019. *Perencanaan Gedung Training Center Konstruksi Beton Bertulang 4 Lantai Di Kota Manado*. *Jurnal Sipil Statik*, 7(8), 1095-1106, Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Suh Rahmat, Ronny E. Pandaleke, Banu D. Handono. 2023. *Perencanaan Struktur Rumah Susun Penghargaan Kota Manado Menggunakan Metode Beton Pracetak Dengan Sistem Ganda*. *Jurnal Sipil Statik*, 21(85), Universitas Sam Ratulangi. Manado.