



Analisis Perilaku Struktur Beton Bertulang Dengan Denah Bentuk X Akibat Gempa

Aurellia M. David^{#a}, Ronny E. Pandaleke^{#b}, Banu D. Handono^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^aaurelliamrnda@gmail.com, ^bronny_pandaleke@yahoo.com, ^cbanu2h@unsrat.ac.id

Abstrak

Perkembangan arsitektur mendorong penggunaan denah tidak beraturan, seperti bentuk X, yang memiliki risiko ketidakberaturan horizontal terhadap beban gempa. Penelitian ini bertujuan menganalisis perilaku struktur beton bertulang pada gedung bertingkat dengan variasi panjang lengan denah X. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak struktur untuk meninjau parameter periode getar, gaya geser dasar (*base shear*), *displacement*, simpangan antar lantai, pengaruh P-Delta, dan gaya dalam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi panjang lengan memengaruhi kekakuan dan respons dinamik struktur secara signifikan. Gaya geser dasar terbesar ditemukan pada model dengan lengan terpanjang searah beban gempa. Meskipun *displacement* maksimum terjadi pada lantai atap dan simpangan antar lantai terbesar pada lantai dua, seluruh nilai tetap memenuhi batas aman regulasi. Pengaruh P-Delta ditemukan tidak signifikan. Variasi panjang lengan yang sejajar arah gempa mengurangi efek torsi pada struktur. Hasil ini menegaskan bahwa konfigurasi panjang lengan pada denah X krusial dalam menentukan keamanan struktur bangunan di wilayah seismik aktif.

Kata kunci: denah bentuk X, ketidakberaturan, gempa, beton bertulang

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Penerapan denah tidak beraturan seperti bentuk X pada gedung bertingkat sering digunakan demi nilai estetika dan efisiensi ruang. Namun, secara struktural, konfigurasi ini menciptakan ketidakberaturan horizontal yang menantang stabilitas bangunan, terutama di wilayah seismik aktif seperti Indonesia. Bangunan berdenah kompleks cenderung mengalami distribusi gaya tidak merata yang memicu konsentrasi tegangan pada titik-titik kritis saat terjadi gempa. Berbeda dengan denah beraturan yang memiliki alur beban langsung (*direct load paths*), denah berbentuk X memiliki geometri cekung (*concave*) yang menyebabkan alur beban berbelok pada sudut-sudut dalam. Hal ini mengakibatkan respons torsi yang signifikan dan deformasi yang tidak seragam pada struktur. Tanpa analisis yang tepat, risiko kerusakan hingga kegagalan struktur menjadi sangat tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk menganalisis perilaku struktur dan distribusi beban lateral guna memitigasi risiko akibat konfigurasi geometri tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Bagaimana perilaku struktur bangunan gedung bertingkat dengan denah bentuk X dengan panjang lengan yang berbeda terhadap beban gempa.

1.3 Batasan Perencanaan

1. Struktur diasumsikan adalah gedung perkantoran 4 lantai dengan konstruksi beton bertulang.
2. Bangunan diasumsikan berada di Kota Manado.
3. Analisis yang ditinjau adalah elemen-elemen struktur atas dengan beban hidup, beban mati,

- dan beban gempa.
4. Daya dukung tanah dan fondasi tidak diperhitungkan dan diasumsikan mampu memikul beban bangunan di atasnya.
 5. Analisis dilakukan dengan mengacu pada *SNI 1726:2019* tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung, *SNI 2847:2019* tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, *SNI 1727:2020* tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
 6. Analisis dilakukan dengan membandingkan 3 tipe bangunan dengan panjang lengan berbeda yang memiliki luas dan massa yang sama.
 7. Analisis struktur dilakukan dengan bantuan *Software* analisis struktur 3 dimensi.

1.4 Tujuan Perencanaan

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku struktur akibat beban gempa pada bangunan bertingkat yang memiliki bentuk denah X dengan perbedaan panjang lengan bangunan, yang mencakup evaluasi gaya geser dasar, displacement, dan simpangan antar lantai.

1.5 Manfaat Perencanaan

1. Untuk umum, agar dapat mengetahui perilaku struktur bangunan denah bentuk X dengan perbedaan panjang lengan akibat beban gempa, serta menjadi informasi dan referensi dalam merencanakan struktur bangunan beton bertulang dengan denah bentuk X yang aman.
2. Untuk penulis, untuk menambah pengetahuan dan pemahaman dalam menggunakan *software* pemodelan struktur, khususnya dalam merencanakan atau menganalisis struktur bangunan tiga dimensi.

2. Metode Perencanaan

Penelitian dilakukan dengan data asumsi bangunan sebagai berikut :

2.1. Data Struktur

Fungsi bangunan	: Gedung Perkantoran
Jumlah lantai	: 4 Lantai
Tinggi struktur	: 14,00 m
Tinggi antar lantai	: 3,50 m
Panjang bentang	
	Tipe A : Arah X (40,00 m)
	Arah Y (40,00 m)
	Tipe B : Arah X (50,00 m)
	Arah Y (30,00 m)
	Tipe C : Arah X (30,00 m)
	Arah Y (50,00 m)

2.2. Data Material

Beton

Mutu beton (f_c')	= 35 MPa
Berat jenis	= 2400 kg/m ³

Baja

Mutu Baja Tulangan Utama (f_y)	= 420 MPa (BjTS 420A)
Modulus elastisitas	= 200000 MPa
Mutu Baja Tulangan Sengkang (f_{ys})	= 280 MPa (BjTS 280)

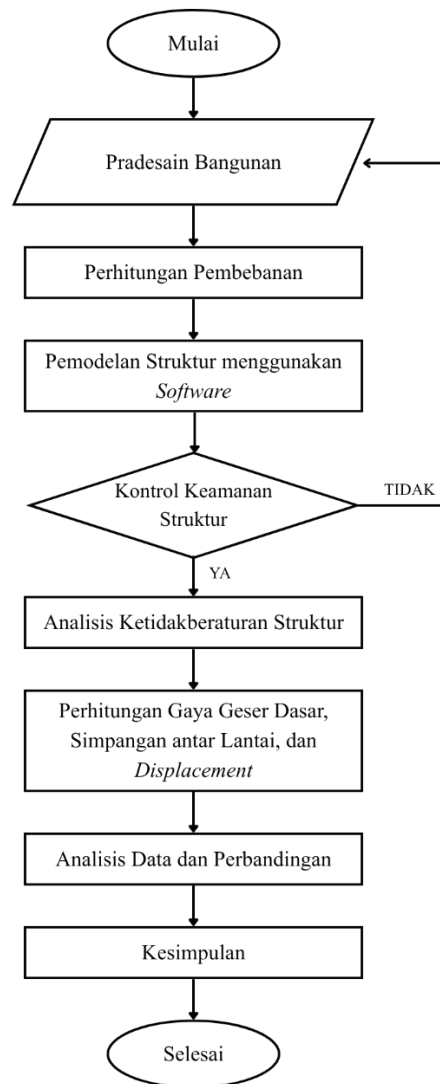
2.3. Data Beban

Struktur direncanakan untuk memikul beban mati, beban hidup dan beban gempa. Beban-beban tersebut kemudian akan dianalisis dengan kombinasi pembebanan sebagaimana yang diatur

dalam SNI.

2.4. Bagan Alir Perencanaan

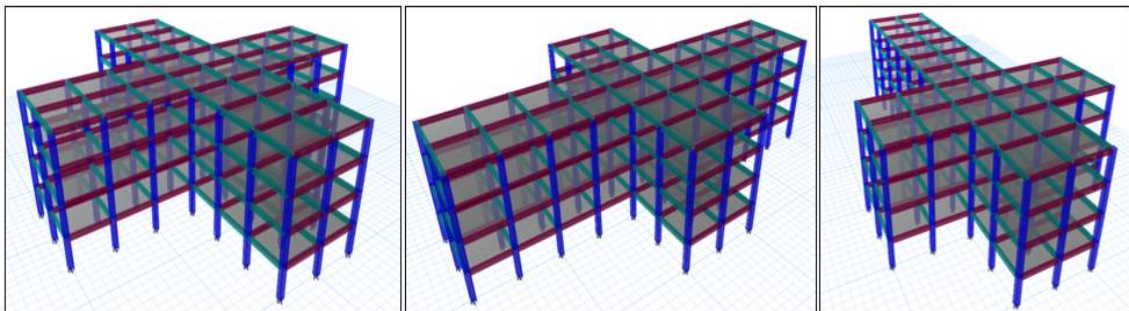
Prosedur perencanaan gedung perkuliahan dalam penelitian ini mengikuti Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Perencanaan

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pemodelan Struktur 3D



Gambar 2. Geometri Struktur 3D

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*) = $1,26 \text{ kN/m}^2$

B. Beban Hidup

- Koridor = $4,79 \text{ kN/m}^2$
- Ruang Kantor = $2,4 \text{ kN/m}^2$
- Ruang Rapat atau Pertemuan = $4,79 \text{ kN/m}^2$
- Atap Datar = $0,96 \text{ kN/m}^2$

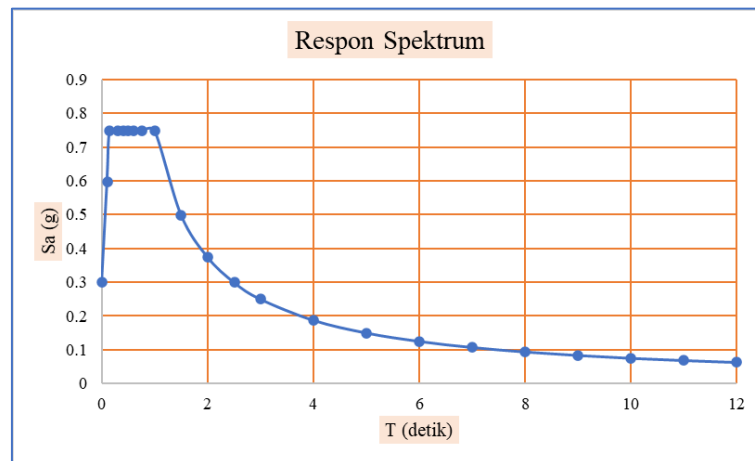
C. Beban Gempa

Data beban gempa diambil berdasarkan lokasi rencana yakni Kota Manado, 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 = 1.0329 g
- S_1 = 0.4592 g
- Kategori risiko = II
- Faktor keutamaan gempa (I_e) = 1.00
- Kelas situs = tanah sedang (SD)
- S_{DS} = 0.794 g
- S_{D1} = 0.563 g
- Kategori desain seismik = D
- Sistem struktur = SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)

D. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan untuk struktur atas yang digunakan adalah kombinasi beban terfaktor dan beban layan (*Load And Resistance Faktor Design, LRFD*).



Gambar 3. Kurva Respon Spektrum Gempa Rencana

3.3 Pradesain Elemen Struktur

Dimensi awal yang akan digunakan dalam pemodelan struktur sebagai berikut.

- Balok Arah X = $300 \times 500 \text{ mm}$
- Balok Arah Y = $300 \times 500 \text{ mm}$
- Kolom = $500 \times 500 \text{ mm}$
- Tebal Pelat = 120 mm

3.4 Kontrol Ketidakberaturan Struktur

Struktur bangunan harus diklasifikasikan sebagai suatu struktur bangunan beraturan atau

tidak beraturan. Pemeriksaan ketidakberaturan meliputi ketidakberaturan horizontal dan vertikal yang dilakukan berdasarkan *SNI 1726:2019 Pasal 7.3.2* tentang Klasifikasi Struktur Beraturan dan Tidak Beraturan.

Ketiga tipe bangunan memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2, yaitu ketidakberaturan sudut dalam, yang didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan. Pemeriksaan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Kontrol Ketidakberaturan Sudut Dalam (Tipe A)

ARAH	PANJANG (m)			KONTROL
	P	L	0,15 L	
X	30	40	6	Struktur Mengalami Ketidakberaturan Sudut Dalam
Y	30	40	6	Struktur Mengalami Ketidakberaturan Sudut Dalam

Tabel 2. Kontrol Ketidakberaturan Sudut Dalam (Tipe B)

ARAH	PANJANG (m)			KONTROL
	P	L	0,15 L	
X	40	50	7.5	Struktur Mengalami Ketidakberaturan Sudut Dalam
Y	20	30	4.5	Struktur Mengalami Ketidakberaturan Sudut Dalam

Tabel 3. Kontrol Ketidakberaturan Sudut Dalam (Tipe C)

ARAH	PANJANG (m)			KONTROL
	P	L	0,15 L	
X	20	30	4.5	Struktur Mengalami Ketidakberaturan Sudut Dalam
Y	40	50	7.5	Struktur Mengalami Ketidakberaturan Sudut Dalam

3.5 Kontrol Persyaratan Desain Seismik

A. Kontrol Partisipasi Massa Ragam

Analisis menggunakan bantuan *software* dilakukan hingga mode ke-12 untuk mencapai nilai partisipasi massa mendekati 100%. Berdasarkan hasil tersebut, arah X dan arah Y pada mode ke-12 telah memenuhi syarat partisipasi massa minimum sebesar 100%.

B. Kontrol Gaya Geser Dasar (Base Shear)

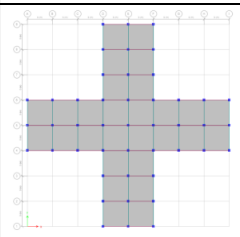
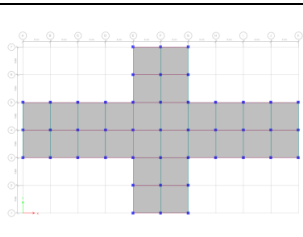
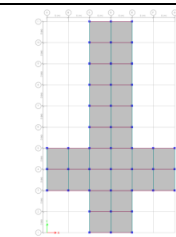
Berdasarkan *SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4*, apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari 100 % dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_t , dimana V adalah gaya geser dasar statik ekuivalen dan V_t adalah gaya geser dasar yang didapatkan dari hasil analisis kombinasi ragam.

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.

C. Kontrol Simpangan Antar Tingkat

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

Tabel 4. Kontrol Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Arah	TIPE A			TIPE B			TIPE C		
									
	Statik (V)	Dinamik (Vt) Awal	Dinamik (Vt) Koreksi	Statik (V)	Dinamik (Vt) Awal	Dinamik (Vt) Koreksi	Statik (V)	Dinamik (Vt) Awal	Dinamik (Vt) Koreksi
X	2509.47	1876.64	2509.47	2509.47	1909.31	2509.47	2509.47	1812.86	2509.47
Y	2509.47	1876.64	2509.48	2509.47	1842.08	2509.47	2509.47	1909.41	2509.47

Tabel 5. Simpangan Arah X dan Y (Tipe A)

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	
4	20.261	20.261	3.374	3.374	3500	18.557	18.557	53.846	OK
3	16.887	16.887	5.716	5.716	3500	31.438	31.438	53.846	OK
2	11.171	11.171	6.904	6.904	3500	37.972	37.972	53.846	OK
1	4.267	4.267	4.267	4.267	3500	23.469	23.469	53.846	OK

Tabel 6. Simpangan Arah X dan Y (Tipe B)

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	
4	19.846	20.689	3.250	3.512	3500	17.875	19.316	53.846	OK
3	16.596	17.177	5.577	5.858	3500	30.674	32.219	53.846	OK
2	11.019	11.319	6.785	7.021	3500	37.318	38.616	53.846	OK
1	4.234	4.298	4.234	4.298	3500	23.287	23.639	53.846	OK

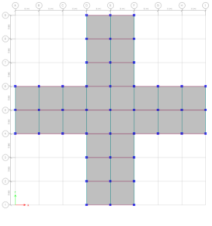
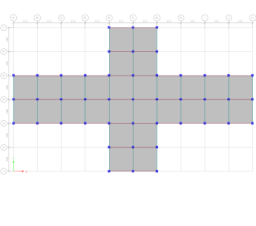
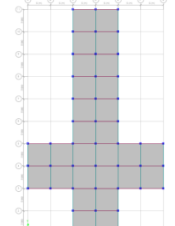
Tabel 7. Simpangan Arah X dan Y (Tipe C)

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	
4	20.397	19.847	3.471	3.262	3500	19.091	17.941	53.846	OK
3	16.926	16.585	5.776	5.573	3500	31.768	30.652	53.846	OK
2	11.15	11.012	6.918	6.781	3500	38.049	37.296	53.846	OK
1	4.232	4.231	4.232	4.231	3500	23.276	23.271	53.846	OK

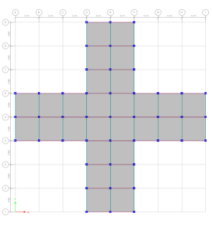
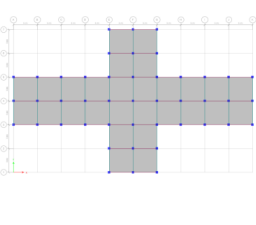
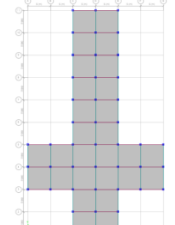
D. Kontrol Displacement

Pada SNI 2847:2019 Pasal 24.2.2, kontrol displacement dilakukan dengan melihat simpangan struktur (Δ) yang tidak boleh melebihi $L/240$, dimana L adalah ketinggian total struktur.

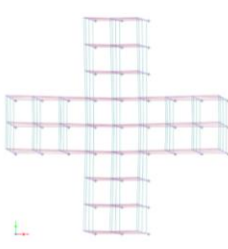
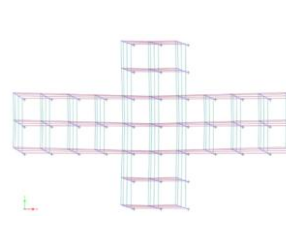
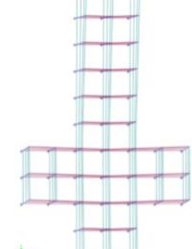
Tabel 8. Kontrol Displacement Arah X

Story	Hsx	L	Tip A	Tip B	Tip C	L/240	Kontrol
							
	(mm)	(mm)	δx (mm)			(mm)	
4	3500	14000	20.261	19.846	20.397	58.333	OK
3	3500	10500	16.887	16.596	16.926	43.750	OK
2	3500	7000	11.171	11.019	11.15	29.167	OK
1	3500	3500	4.267	4.234	4.232	14.583	OK

Tabel 9. Kontrol Displacement Arah Y

Story	Hsy	L	Tip A	Tip B	Tip C	L/240	Kontrol
							
	(mm)	(mm)	δy (mm)			(mm)	
4	3500	14000	20.261	20.689	19.847	58.333	OK
3	3500	10500	16.887	17.177	16.585	43.750	OK
2	3500	7000	11.171	11.319	11.012	29.167	OK
1	3500	3500	4.267	4.298	4.231	14.583	OK

Tabel 10. Displacement Kombinasi LRFD 6.1

Story			Tip A		Tip B		Tip C	
								
	Arah		X	Y	X	Y	X	Y
4	Displacement (mm)		35.243	10.606	33.923	10.988	36.986	10.403
3			29.385	8.866	28.38	9.126	30.711	8.739
2			19.439	5.865	18.843	6.013	20.218	5.802
1			7.425	2.24	7.239	2.283	7.666	2.229

Tabel 11. Displacement Kombinasi LRFD 6.5

Story	Arah	Tipe A		Tipe B		Tipe C	
		X	Y	X	Y	X	Y
4	Displacement (mm)	10.606	35.243	10.199	36.67	11.4	33.984
3		8.866	29.385	8.565	30.454	9.475	28.431
2		5.865	19.439	5.687	20.068	6.232	18.876
1		2.24	7.425	2.185	7.619	2.359	7.252

E. Kontrol Pengaruh P-Delta

Nilai koefisien stabilitas yang diperoleh pada tiap lantai masih berada di bawah batas stabilitas struktur (θ_{max}) sebesar 0,1, sesuai ketentuan *SNI 1726:2019*. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh efek P-Delta terhadap kestabilan struktur tidak signifikan sehingga tidak perlu diperhitungkan.

Tabel 12. Kontrol Pengaruh P-Delta (Tipe A)

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_x	θ_y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
4	18.557	18.557	4459.268	737.829	737.829	3500	0.0058	0.0058	0.1	0.0909	OK
3	31.438	31.438	13188.065	1635.212	1635.212	3500	0.0132	0.0132	0.1	0.0909	OK
2	37.972	37.972	21916.862	2238.190	2238.190	3500	0.0193	0.0193	0.1	0.0909	OK
1	23.469	23.469	30645.659	2509.480	2509.480	3500	0.0149	0.0149	0.1	0.0909	OK

Tabel 13. Kontrol Pengaruh P-Delta (Tipe B)

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_x	θ_y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
4	17.875	19.316	4459.268	732.644	743.423	3500	0.0057	0.0060	0.1	0.0909	OK
3	30.674	32.219	13188.065	1632.079	1638.429	3500	0.0129	0.0135	0.1	0.0909	OK
2	37.318	38.616	21916.862	2237.554	2238.705	3500	0.0190	0.0196	0.1	0.0909	OK
1	23.287	23.639	30645.659	2509.473	2509.470	3500	0.0148	0.0150	0.1	0.0909	OK

Tabel 14. Kontrol Pengaruh P-Delta (Tipe C)

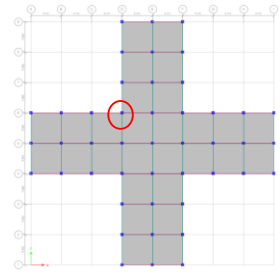
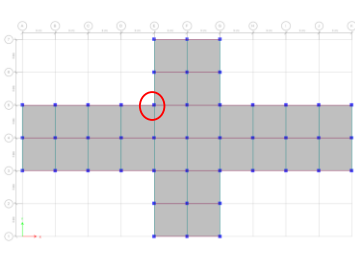
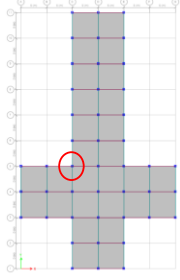
Story	Inelastic Drift		Story Forces			h (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_x	θ_y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
4	19.091	17.941	4459.268	744.621	732.644	3500	0.0059	0.0057	0.1	0.0909	OK
3	31.768	30.652	13188.065	1638.459	1632.079	3500	0.0133	0.0129	0.1	0.0909	OK
2	38.049	37.296	21916.862	2238.125	2237.554	3500	0.0194	0.0190	0.1	0.0909	OK
1	23.276	23.271	30645.659	2509.470	2509.473	3500	0.0148	0.0148	0.1	0.0909	OK

3.5 Pemeriksaan Momen Torsi Kolom Sudut Dalam

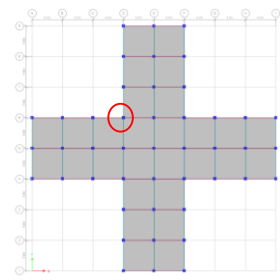
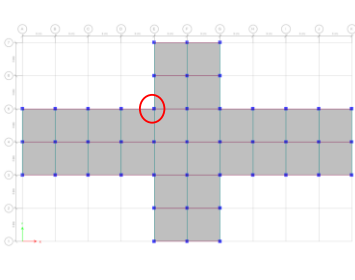
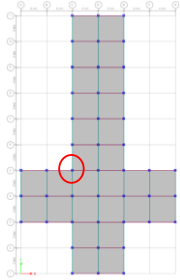
Momen torsi pada bangunan adalah efek puntiran atau rotasi yang terjadi pada elemen struktur akibat beban yang bekerja tidak pada sumbu simetrisnya. Momen torsi pada kolom yang terletak di sudut dalam dari ketiga tipe ini akan dibandingkan untuk melihat tipe bangunan yang memiliki nilai momen torsi paling besar pada bagian sudut dalam. Diambil masing-masing 1 titik tinjauan dari tiap tipe yang ada, kemudian dilakukan pengecekan nilai momen torsi akibat

kombinasi pembebanan dengan gempa dominan arah X ($100\% E_x + 30\% E_y$) dan kombinasi pembebanan dengan gempa dominan arah Y ($30\% E_y + 100\% E_x$).

Tabel 15. Momen Torsi Kolom Sudut Dalam (Kombinasi 6.1)

	TIPE A	TIPE B	TIPE C
			
Kode	C10	C7	C19
T (kN.m)	5.3947	4.3659	8.5662
Komb	6.1	6.1	6.1

Tabel 16. Momen Torsi Kolom Sudut Dalam (Kombinasi 6.5)

	TIPE A	TIPE B	TIPE C
			
Kode	C10	C7	C19
T (kN.m)	5.3947	5.1915	5.1263
Komb	6.5	6.5	6.5

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis struktur dengan denah bentuk X yang berlokasi di Kota Manado dengan menerapkan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Perbedaan panjang lengan arah X dan Y pada ketiga bangunan, menunjukkan bahwa bangunan yang memiliki lengan ke arah sumbu X yang terpanjang (Tipe B) memiliki kekakuan arah X yang lebih besar. Demikian pula terhadap arah Y, yaitu pada Tipe C memiliki kekakuan arah Y yang lebih besar. Hal ini ditunjukkan oleh semakin kecilnya periode getar yang dimiliki pada tiap tipe tersebut.
2. Gaya geser dasar (*base shear*) statik dari ketiga tipe bangunan ini memiliki nilai yang sama besar karena memiliki massa total yang sama. Sedangkan pada gaya geser dasar dinamik, terjadi peningkatan seiring dengan semakin panjangnya lengan ke arah suatu sumbu (X dan Y).
3. Simpangan antar lantai (*story drift*) pada ketiga tipe terjadi pada lantai 2. Seluruh nilai simpangan antar lantai yang diperoleh tidak melebihi batas, sehingga masih memenuhi persyaratan yang berlaku.
4. Seluruh nilai *displacement* telah dikontrol dan tidak melebihi batas maksimum yaitu $L/240$, sehingga menunjukkan bahwa ketiga tipe struktur aman terhadap *displacement*.
5. Pemeriksaan pengaruh P-Delta terhadap koefisien stabilitas (θ) untuk ketiga tipe ini tergolong tidak signifikan dengan nilai di bawah 0,10. Maka, P-Delta pada bangunan tidak perlu diperhitungkan. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga tipe bangunan ini telah memenuhi persyaratan yang berlaku.
6. Dari pengecekan momen torsi pada kolom sudut dalam, diperoleh bahwa nilai momen torsi

(T) terbesar akibat kombinasi dengan gempa dominan arah X terdapat pada Tipe C, dan akibat kombinasi dengan gempa dominan arah Y terdapat pada Tipe A.

5. Saran

1. Bentuk denah X yang telah dianalisis sebaiknya dilanjutkan ke tahap perencanaan yang lebih detail, yaitu dalam perhitungan kebutuhan tulangan elemen struktur (kolom, balok, pelat), perencanaan fondasi, hingga perhitungan anggaran dan gambar kerja.
2. Pengembangan dalam analisis gedung berbentuk X ini dengan tinggi bangunan dan jumlah tingkat yang lebih banyak (*Mid-Rise* dan *High-Rise Building*) untuk mengetahui perilaku struktur yang lebih signifikan terhadap gaya gempa.
3. Disarankan untuk melakukan analisis dengan variasi dimensi elemen struktur untuk melihat pengaruh dari bentuk dan dimensi terhadap perilaku struktur.

Referensi

- Badan Standarisasi Nasional. 2020. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, SNI 1727:2020. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, SNI 1726:2019. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, SNI 2847:2019. Jakarta.
- Suparman, D. F., Pandaleke, R. E., Handono, B. D., & Sumajouw, M. D. J. (2025). *Analisis Perilaku Struktur Gedung Perkantoran Beton Bertulang Berbentuk Irregular Dengan Variasi Ketidakberaturan Sudut Dalam*. TEKNO, 23(92), Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Wereh, J. C., Pandaleke, R. E., Handono, B. D. (2025). *Analisis Dinamik Struktur Gedung Ketidakberaturan Sudut Dalam Studi Kasus: Gedung Apartemen 8 Lantai*. TEKNO, 23(92), Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Tanauma, C., Windah, R. S., Wallah, S. E. (2023). *Analisa Dinamik Bangunan Bertingkat Yang Memiliki Ketidakberaturan Horisontal Berbentuk T Akibat Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019*. TEKNO, 21(85), Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Pontororing, O. A., Pandaleke, R. E., Handono, B. D. (2023). *Perencanaan Gedung Struktur Beton Bertulang Hotel 5 Lantai Dengan Denah Bangunan Berbentuk "U"*. TEKNO, 21(83), Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Minabari, M. Q., Pandaleke, R.E., Wallah, S. E. (2024). *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Hotel 6 Lantai Dengan Denah Berbentuk "L"*. TEKNO, 22(87), Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Lamia, N. W. M. T., Pandaleke, R. E., Handono, B. D. (2020). *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan Denah Bangunan Berbentuk "L"*. Jurnal Sipil Statik, 8(4), 519-532, Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Simamora, J., Wibowo, L. S. B., Purwanto, D., & Ray, N. (2020). *Analisis Perpindahan Lateral Struktur Beton Bertulang pada Bangunan Bertingkat Beraturan dan Ketidak Beraturan Horizontal*. Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil, 3(1), 19-23.
- David, E. J., Pandaleke, R. E., Handono, B. D. (2023). *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Ibadah Berlantai 5*. TEKNO, 21(83), Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Rerung, S., Wallah, S. E., Pandaleke, R. E. (2022). *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Rumah Sakit 7 Lantai Di Kota Manado*. TEKNO, 20(82), Universitas Sam Ratulangi. Manado.