

PENGARUH RASIO KETIDAKBERATURAN HORIZONTAL SUDUT DALAM TERHADAP RENCANA ANGGARAN BIAYA STRUKTUR ATAS GEDUNG.

Calvin Novianto Ramadhan¹, Agustin Dita Lestari²

Mahasiswa Program Studi D-IV Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang²

Email: calvinramadhan6@gmail.com¹, agustinditalestari@polinema.ac.id²

ABSTRAK

Penelitian ini membahas pengaruh rasio ketidakberaturan horizontal sudut dalam terhadap rencana anggaran biaya struktur atas pada gedung 8 lantai. Analisis dilakukan menggunakan metode *response spectrum* sesuai SNI 1726:2019 dengan bantuan perangkat lunak ETABS. Model bangunan dibagi menjadi empat tipe, yaitu tipe A, B, C, dan D, berdasarkan rasio ketidakberaturan horizontal sudut dalam. Parameter yang dianalisis meliputi dimensi dan penulangan elemen struktur (kolom dan balok), serta perhitungan rencana anggaran biaya (RAB) yang mencakup pekerjaan bekisting, pembesian, dan pengecoran dengan acuan AHSP Kota Bengkulu 2025. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar rasio ketidakberaturan horizontal sudut dalam, semakin tinggi kebutuhan tulangan dan volume beton yang berdampak pada peningkatan biaya struktur atas. Gedung tipe B dengan rasio ketidakberaturan terbesar memiliki RAB tertinggi sebesar Rp20.718.498.378, meningkat sekitar 5,5% dibandingkan tipe A sebesar Rp19.632.565.078. Sebaliknya, tipe D yang memiliki rasio ketidakberaturan lebih kecil menunjukkan nilai RAB terendah sebesar Rp18.045.921.078. Dengan demikian, ketidakberaturan horizontal sudut dalam berpengaruh langsung terhadap efisiensi struktural dan biaya konstruksi, sehingga perlu dipertimbangkan secara matang pada tahap perencanaan bangunan tahan gempa.

Kata kunci : ketidakberaturan horizontal, *response spectrum*, rencana anggaran biaya, ETABS, struktur atas

ABSTRACT

This study discusses the effect of horizontal internal corner irregularity ratios on the upper structure cost estimation of an eight-story building. The analysis was carried out using the *response spectrum* method in accordance with SNI 1726:2019, assisted by ETABS software. The building was modeled into four types A, B, C, and D based on the ratio of horizontal internal corner irregularities. The analyzed parameters include the dimensions and reinforcement of structural elements (columns and beams), as well as the calculation of the cost estimate (*Rencana Anggaran Biaya*, RAB) covering formwork, reinforcement, and concrete works, referring to the 2025 Bengkulu City Unit Price Analysis (AHSP). The results show that a higher ratio of horizontal internal corner irregularity leads to greater reinforcement requirements and concrete volume, resulting in an increase in the upper structure cost. The building with the highest irregularity ratio (Type B) has the highest total cost of Rp20,718,498,378, which is approximately 5.5% higher than the regular building (Type A) at Rp19,632,565,078. Conversely, Type D, with a lower irregularity ratio, shows the lowest cost of Rp18,045,921,078. Therefore, horizontal internal corner irregularity directly affects structural efficiency and construction costs, making it an essential consideration in the early planning of earthquake-resistant buildings.

Keywords : horizontal irregularity, response spectrum, cost estimation, ETABS, upper structure

1. PENDAHULUAN

Indonesia berada di zona gempa aktif karena posisi geografisnya yang berada di antara lempeng tektonik besar. Hal ini menjadikan setiap perencanaan struktur bangunan terutama gedung bertingkat harus mempertimbangkan beban gempa secara serius agar bangunan aman dari keruntuhan atau kerusakan signifikan. Misalnya, penelitian menunjukkan bahwa struktur dengan ketidakberaturan

(*irregularity*) horizontal cenderung memiliki performa gempa yang lebih buruk dibanding yang reguler.[1]

Kondisi ini semakin diperparah oleh keterbatasan lahan di perkotaan Indonesia khususnya Bengkulu, yang memaksa pengembang dan perencana arsitektur untuk merancang bentuk gedung yang bervariasi, menyesuaikan lahan yang tersedia, termasuk bentuk sudut dalam (*indented corners*) atau variasi denah lainnya. Variasi bentuk tersebut sering menimbulkan ketidakberaturan horizontal (*horizontal*

irregularity) yang dalam praktik struktur dapat mempengaruhi distribusi gaya lateral dan torsi serta mempengaruhi kapasitas struktur dalam menghadapi gempa.[2]

Ketidakteraturan struktur baik secara horizontal maupun vertikal dapat meningkatkan risiko keruntuhan bangunan saat gempa, sehingga memerlukan perhatian khusus dalam desain struktur tahan gempa untuk menjaga keselamatan penghuni [3]. Karena bentuk yang tidak reguler biasanya mengakibatkan kompleksitas desain, kebutuhan torsi yang lebih besar, maka potensi kenaikan volume atau spesifikasi material yang lebih tinggi pun menjadi lebih besar

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan di atas, maka dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh rasio ketidakberaturan horizontal sudut dalam pada Gedung tipe A, B, C dan D terhadap kebutuhan penulangan elemen struktur kolom dan balok?
2. Bagaimana pengaruh rasio ketidakberaturan horizontal sudut dalam pada Gedung tipe A, B, C dan D terhadap rencana anggaran biaya struktur atas?

2. METODE

Pengumpulan Data Sekunder

Tahap awal dilakukan dengan mengumpulkan data-data sekunder yang dibutuhkan dalam proses analisis struktur.

Tabel 1 Data Penelitian

Lokasi Bangunan	:	Kota Bengkulu
Fungsi Bangunan	:	Gedung Pendidikan
Sistem Struktur	:	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
Jumlah Lantai	:	8 Lantai
Tinggi Antar Lantai	:	4 m
Jarak Antar Bentang X	:	5 m
Jarak Antar Bentang Y	:	5 m
Konstruksi Struktur	:	Beton Bertulang
Kelas Situs	:	Tanah Sedang (SD)
Spesifikasi Material		
a. Mutu Beton	:	30 MPa
b. Mutu Tulangan	:	420 MPa
Dimensi Elemen Struktur		
Kolom	:	800/800 mm
Balok	:	700/850 mm
Pelat	:	150 mm

Preliminary Design Struktur

Sebelum dilakukan pemodelan pada perangkat lunak, perencanaan awal struktur (*preliminary design*) disusun

untuk menentukan dimensi awal elemen-elemen struktur seperti balok, kolom, pelat. Perhitungan ini mengacu pada ketentuan umum dari SNI 2847:2019 [4] guna memastikan bahwa dimensi struktur yang digunakan layak dan memenuhi batasan teknis serta efisiensi desain awal.

Perhitungan Pembebanan dan Kombinasi Beban

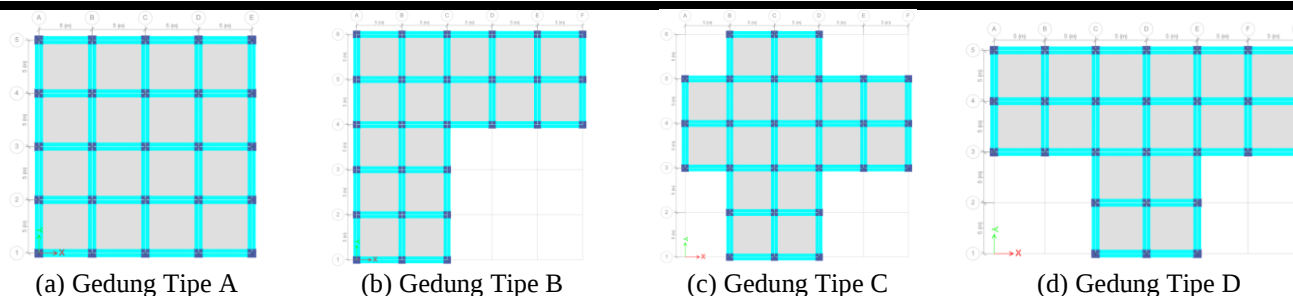
Struktur dibebani dengan beban-beban sesuai ketentuan SNI 1727:2020 [5] . Beban gempa dihitung berdasarkan parameter respons spektral percepatan dari SNI 1726:2019. Kombinasi beban disusun untuk mengakomodasi skenario paling kritis sesuai dengan ketentuan peraturan.

Analisis Struktur pada Perangkat Lunak Analisis Struktur

Setelah seluruh pembebanan diterapkan, dilakukan analisis struktur secara menyeluruh pada masing-masing model gedung menggunakan metode dinamik, yaitu *response spectrum analysis*. Proses ini menghasilkan output berupa gaya dalam, perpindahan, dan reaksi penopang yang dibutuhkan untuk menilai perilaku struktur terhadap beban gempa.

Perhitungan Penulangan dan Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Output gaya dalam dan reaksi penopang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan penulangan meliputi jumlah, diameter dan jarak tulangan, setelah itu dilakukan perhitungan rencana anggaran biaya berdasarkan hasil perhitungan penulangan.



Gambar 1 (a) Rasio Ketidakberaturan Horizontal Sudut Dalam $X=0\%$ $Y=0\%$ (b) Rasio Ketidakberaturan Horizontal Sudut Dalam $X=60\%$ $Y=60\%$ (c) Rasio Ketidakberaturan Horizontal Sudut Dalam $X=40\%$ $Y=40\%$ (d) Rasio Ketidakberaturan Horizontal Sudut Dalam $X=33,3\%$ $Y=50\%$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan Preliminary Design

Berdasarkan perhitungan *Preliminary Design* struktur didapatkan dimensi sebagai berikut

1. Kolom : 650/650 mm
2. Balok : 200/250 mm

Perhitungan Pembebanan dan Kombinasi Beban

1. Beban Mati

Nilai beban sendiri struktur akan dihitung otomatis pada *software* analisis struktur sesuai dengan berat beton bertulang pada SNI 1727-2020, yaitu 23,6 kN/m³

2. Beban Mati Tambahan (SDL)

Tabel 2 Beban Mati Tambahan (SDL) Lantai 1-7

No	Komponen	Beban
1	Keramik dengan spesi 13mm	0,77 kN/m ²
2	Plafond akustik + penggantung	0,15 kN/m ²
3	Mekanikal dan perpipaan	0,19 kN/m ²
Total		1,11 kN/m²

Sumber : Dokumen Pribadi

Tabel 3 Beban Mati Tambahan (SDL) Lantai 8 (Roof)

No	Komponen	Beban
1	Plafond akustik + penggantung	0,15 kN/m ²
2	Mekanikal dan perpipaan	0,19 kN/m ²
Total		0,34 kN/m²

Sumber : Dokumen Pribadi

3. Beban Hidup

Tabel 4 Beban Hidup Setelah Direduksi (LL) Lantai 1-7

No	Komponen	Beban
1	Koridor lantai pertama	3,386 kN/m ²
Total		3,386 kN/m²

Sumber : Dokumen Pribadi

Tabel 5 Beban Hidup (Lr) Lantai 8 (Roof)

No	Komponen	Beban
1	Atap datar (dak)	0,96 kN/m ²
Total		0,96 kN/m²

Sumber : Dokumen Pribadi

4. Beban Gempa

Adapun data parameter seismik yang digunakan dalam perhitungan beban gempa rencana pada bangunan ini adalah sebagai berikut :

$T_{(s)}$	: 6
PGA MCEG	: 0,6 g
SS MCEr	: 1,5 g
S1 MCEr	: 0,6 g
TL	: 20 Detik
T_0	: 0,14 Detik
T_s	: 0,68 Detik
S_{ds}	: 1,00 Detik
S_{d1}	: 0,68 Detik

(Sumber : rsa.ciptakarya.pu.go.id)

5. Kombinasi Beban

Setelah jenis-jenis beban pada struktur diketahui, Langkah selanjutnya adalah mengkombinasikan beban-beban tersebut untuk merepresentasikan kondisi terburuk selama masa layan struktur. Kombinasi beban pada penelitian ini mengacu pada SNI 1726:2019, sebagaimana ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 6 Kombinasi Beban

Nomor	DL	SIDL	LL	L _r	E _x	E _y
1	U1	1,4	1,4			
2	U2	1,2	1,2	1,6	0,5	
3	U3	1,2	1,2	1	1,6	
6	U6a	1,4000	1,4000	1	1,3	0,39
	U6b	1,4000	1,4000	1	1,3	-0,39
	U6c	1,4000	1,4000	1	-1,3	0,39
	U6d	1,4000	1,4000	1	-1,3	-0,39
	U6e	1,4000	1,4000	1	0,39	1,3
	U6f	1,4000	1,4000	1	-0,39	1,3
	U6g	1,4000	1,4000	1	0,39	-1,3
	U6h	1,4000	1,4000	1	-0,39	-1,3
7	U7a	0,7000	0,7000		1,3	0,39
	U7b	0,7000	0,7000		1,3	-0,39
	U7c	0,7000	0,7000		-1,3	0,39
	U7d	0,7000	0,7000		-1,3	-0,39
	U7e	0,7000	0,7000		0,39	1,3
	U7f	0,7000	0,7000		-0,39	1,3
	U7g	0,7000	0,7000		0,39	-1,3
	U7h	0,7000	0,7000		-0,39	-1,3

Perhitungan Pembebanan dan Kombinasi Beban

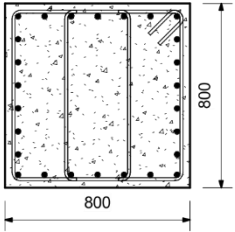
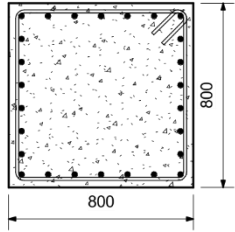
Setelah proses pemodelan, penerapan beban, dan analisis struktur selesai dilakukan pada Gedung tipe A, B, C, dan D. Diperoleh dimensi kolom sebesar 800 x 800 mm dan dimensi balok sebesar 700 x 850 mm. Hasil perhitungan penulangan pada elemen struktur kolom dan balok adalah sebagai berikut :

Tabel 7 Rekapitulasi Dimensi Kolom

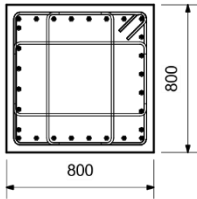
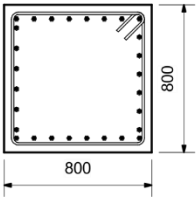
Tipe Kolom Gedung	Dimensi Kolom
Kolom Gedung A	800/800 mm
Kolom Gedung B	800/800 mm
Kolom Gedung C	800/800 mm
Kolom Gedung D	800/800 mm

Tabel 8 Rekapitulasi Penulangan Kolom

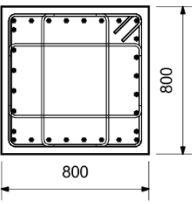
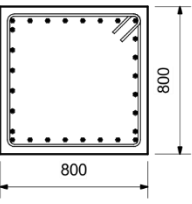
Tipe Kolom Gedung	Tulangan Utama	Tulangan Sengkang	
		Tumpuan	Lapangan
Kolom Gedung A	24D-26	4D13-100	2D13-100
Kolom Gedung B	28D-28	4D13-100	2D13-100
Kolom Gedung C	28D-28	4D13-100	2D13-100
Kolom Gedung D	24D-28	4D13-100	2D13-100

Detail Kolom Gedung Tipe A	
Penulangan Tumpuan	Penulangan Lapangan
	
Dimensi : 800 X 800	Dimensi : 800 X 800
Tulangan Utama : 24D-26	Tulangan Utama : 24D-26
Tulangan Sengkang : 4D13-100	Tulangan Sengkang : 2D13-100

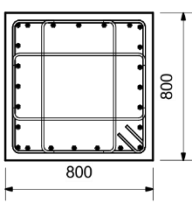
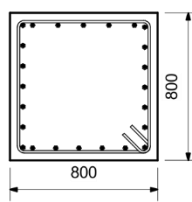
Gambar 2 Detail Penulangan Kolom Gedung Tipe A

Detail Kolom Gedung Tipe B	
Penulangan Tumpuan	Penulangan Lapangan
	
Dimensi : 800 X 800	Dimensi : 800 X 800
Tulangan Utama : 28D-28	Tulangan Utama : 28D-28
Tulangan Sengkang : 4D13-100	Tulangan Sengkang : 2D13-100

Gambar 3 Detail Penulangan Kolom Gedung Tipe B

Detail Kolom Gedung Tipe C	
Penulangan Tumpuan	Penulangan Lapangan
	
Dimensi : 800 X 800	Dimensi : 800 X 800
Tulangan Utama : 28D-28	Tulangan Utama : 28D-28
Tulangan Sengkang : 4D13-100	Tulangan Sengkang : 2D13-100

Gambar 4 Detail Penulangan Kolom Gedung Tipe C

Detail Kolom Gedung Tipe D	
Penulangan Tumpuan	Penulangan Lapangan
	
Dimensi : 800 X 800	Dimensi : 800 X 800
Tulangan Utama : 24D-28	Tulangan Utama : 24D-28
Tulangan Sengkang : 4D13-100	Tulangan Sengkang : 2D13-100

Gambar 5 Detail Penulangan Kolom Gedung Tipe D**Tabel 9** Rekapitulasi Dimensi Balok

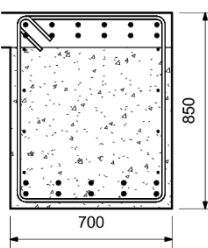
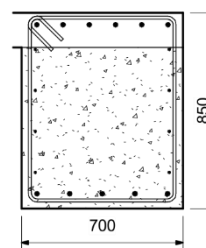
Tipe Balok Gedung	Dimensi Balok
Balok Gedung A	700/850 mm
Balok Gedung B	700/850 mm
Balok Gedung C	700/850 mm
Balok Gedung D	700/850 mm

Tabel 10 Rekapitulasi Penulangan Utama Balok

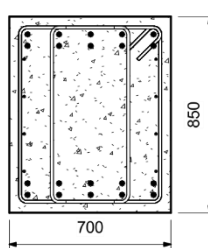
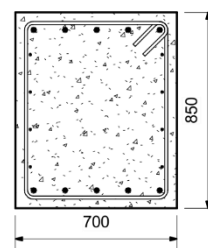
Tipe Balok Gedung	Tumpuan		Lapangan	
	Atas	Bawah	Atas	Bawah
Balok Gedung A	12D22	10D22	6D22	5D22
Balok Gedung B	10D25	10D25	5D25	5D25
Balok Gedung C	12D22	12D22	6D22	6D22
Balok Gedung D	12D22	12D22	6D22	6D22

Tabel 11 Rekapitulasi Penulangan Sengkang Balok

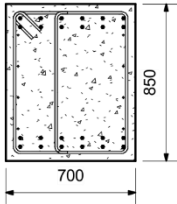
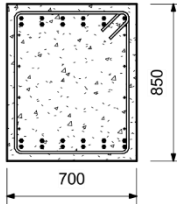
Tipe Balok Gedung	Tulangan Sengkang	
	Tumpuan	Lapangan
Balok Gedung A	2D13-100	2D13-150
Balok Gedung B	4D13-100	2D13-150
Balok Gedung C	3D13-100	2D13-150
Balok Gedung D	3D13-100	2D13-150

Detail Balok Gedung Tipe A	
Penulangan Tumpuan	Penulangan Lapangan
	
Dimensi : 700 X 850	Dimensi : 700 X 850
Tulangan Tumpuan Atas : 12 D22	Tulangan Lapangan Atas : 6 D22
Tulangan Tumpuan Bawah : 10 D22	Tulangan Lapangan Bawah : 5 D22
Sengkang Tumpuan : 2D13-100	Sengkang Lapangan : 2D13-150

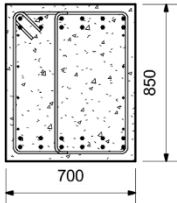
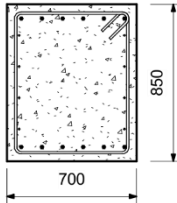
Gambar 6 Detail Penulangan Balok Gedung Tipe A

Detail Balok Gedung Tipe B	
Penulangan Tumpuan	Penulangan Lapangan
	
Dimensi : 700 X 850	Dimensi : 700 X 850
Tulangan Tumpuan Atas : 10 D25	Tulangan Lapangan Atas : 5 D25
Tulangan Tumpuan Bawah : 10 D25	Tulangan Lapangan Bawah : 5 D25
Sengkang Tumpuan : 4D13-100	Sengkang Lapangan : 2D13-150

Gambar 7 Detail Penulangan Balok Gedung Tipe B

Detail Balok Gedung Tipe C	
Penulangan Tumpuan	Penulangan Lapangan
	
Dimensi : 700 X 850	Dimensi : 700 X 850
Tulangan Tumpuan Atas : 12 D22	Tulangan Lapangan Atas : 6 D22
Tulangan Tumpuan Bawah : 12 D22	Tulangan Lapangan Bawah : 6 D25
Sengkang Tumpuan : 3D13-100	Sengkang Lapangan : 2D13-150

Gambar 8 Detail Penulangan Balok Gedung Tipe C

Detail Balok Gedung Tipe D	
Penulangan Tumpuan	Penulangan Lapangan
	
Dimensi : 700 X 850	Dimensi : 700 X 850
Tulangan Tumpuan Atas : 12 D22	Tulangan Lapangan Atas : 6 D22
Tulangan Tumpuan Bawah : 12 D22	Tulangan Lapangan Bawah : 6 D25
Sengkang Tumpuan : 3D13-100	Sengkang Lapangan : 2D13-150

Gambar 9 Detail Penulangan Balok Gedung Tipe D

Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Berdasarkan hasil desain, dapat dihitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang mencakup pekerjaan bekisting, pembesian, dan pengecoran. Perhitungan RAB dilakukan dengan mengalikan total volume dengan nilai Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Kota Bengkulu 2025. Berikut merupakan rekapitulasi volume pekerjaan struktur.

Tabel 12 Rekapitulasi Perhitungan Volume Pekerjaan Struktur

No	Item Pekerjaan	Sat	Volume			
			Tipe A	Tipe B	Tipe C	Tipe D
1	Pembesian 1 Kg Besi Beton	kg	380597	403007	380155	337864
2	Pekerjaan 1 m ² Bekisting Multiplek	m ²	6756	7007	7007	7007
3	Pengoperasian Tower Crane	kg	380597	403007	380155	337864

No	Item Pekerjaan	Sat	Volume			
			Tipe A	Tipe B	Tipe C	Tipe D
4	1 m ³ Pengecoran Beton Fc' 30 Mpa Kolom, Balok, Pelat	m ³	1772	1851	1851	1851
5	Pemadatan Beton dengan Concrete Vibrator	m ³	1770	1851	1851	1851

Setelah dilakukan perhitungan volume masing-masing pekerjaan struktur, maka volume dikalikan dengan harga satuan pekerjaan seperti yang diuraikan pada Tabel 13 dan didapatkan rencana anggaran biaya pada masing-masing tipe Gedung seperti pada Tabel 14

Tabel 13 Rekapitulasi Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

No	Item Pekerjaan	Harga Satuan
1	Pembesian 1 Kg Besi Beton	Rp34.253
2	Pekerjaan 1 m ² Bekisting Multiplek	Rp238.004
3	Pengoperasian Tower Crane	Rp2.708
4	1 m ³ Pengecoran Beton Fc' 30 Mpa Kolom, Balok, Pelat	Rp1.117.104
5	Pemadatan Beton dengan Concrete Vibrator	Rp17.939

Tabel 14 Rekapitulasi Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Tipe Gedung	Rencana Anggaran Biaya
Gedung Tipe A	Rp.19.632.565.078
Gedung Tipe B	Rp.20.718.498.378
Gedung Tipe C	Rp.19.780.955.471
Gedung Tipe D	Rp.18.045.921.078

6. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perilaku pada gedung 8 lantai dengan ketidakberaturan horizontal terhadap gempa metode respons spektrum, didapat poin kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin besar rasio ketidakberaturan horizontal sudut dalam, gaya dalam yang terjadi pada elemen struktur utama (balok dan kolom) akan semakin meningkat. Kondisi ini menyebabkan peningkatan kebutuhan tulangan pada elemen struktur untuk menjaga kapasitas momen dan geser sesuai dengan ketentuan SNI.
2. Gedung tipe B dengan rasio ketidakberaturan tertinggi memiliki nilai RAB terbesar yaitu Rp. 20.718.498.378, sedangkan tipe D dengan rasio ketidakberaturan terkecil memiliki nilai RAB terendah yaitu Rp. 18.045.921.078. perbedaan nilai RAB antar tipe menunjukkan bahwa semakin besar rasio ketidakberaturan horizontal, maka semakin besar pula biaya konstruksi yang dibutuhkan akibat

peningkatan volume dan spesifikasi material struktur.

3. Dalam perencanaan struktur bangunan bertingkat, aspek ketidakberaturan horizontal sudut dalam perlu diperhitungkan secara cermat untuk memperoleh desain yang efisien dari segi teknis maupun ekonomi tanpa mengurangi kinerja seismic bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. C. R. Simbolon, S. P. Tampubolon, and A. S. Mulyani, "PERFORMANCE ANALYSIS OF HORIZONTAL IRREGULAR BUILDINGS BASED ON RESPON S PEKCTRUM AND TIME HISTORY METHODE," *Jurnal PenSil*, vol. 12, no. 3, pp. 363–374, Sep. 2023, doi: 10.21009/jpensil.v12i3.37850.
- [2] Nurul Hidayati, Hariyadi, and Mukhta Riqi Sab'it Tibaq, "Analisa ketidakberaturan horizontal dan vertikal pada struktur gedung beton bertulang," *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, vol. 12, no. 2, pp. 235–243, Dec. 2023, doi: 10.22225/pd.12.2.7653.235-243.
- [3] A. R. Özüygür, "Performance-based Seismic Design of an Irregular Tall Building — A Case Study," *Structures*, vol. 5, pp. 112–122, Feb. 2016, doi: 10.1016/j.istruc.2015.10.001.
- [4] SNI 2847-2019, "Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan.," 2019.
- [5] SNI 1727-2020, "Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain," 2020.