



Tersedia Secara Online di

<http://ojs.unik-kediri.ac.id/index.php/jurmateks/index>

JURMATEKS

<https://dx.doi.org/10.30737/jurmateks.v7i2.6194>

Analisis Ketidakberaturan Horizontal Struktur Rangka Gedung Oval Dengan *Pushover Analysis* Pada Rumah Sakit UPT Vertikal Surabaya

S.W. Yudha^{1*}, K. Wahyu², D.P. Nia³

^{1*,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Sains,

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

Email : ^{1*}yudhasw123@gmail.com, ^{2*}wahyu.ts@upnjatim.ac.id, ^{3*}nia.dwi.ts@upnjatim.ac.id

ARTICLE INFO

Article history :

Artikel masuk : 01 - 11 - 2024

Artikel revisi : 03 - 12 - 2024

Artikel diterima : 31 - 12 - 2024

Keywords :

Pushover, Hospital, Beam-Column Joint

Style IEEE dalam mensitasi artikel ini:

S. W. Yudha, K. Wahyu, dan D. P. Nia "Analisis Ketidakberaturan Horizontal Struktur Rangka Gedung Oval Dengan *Pushover Analysis* Pada Rumah Sakit UPT Vertikal Surabaya" *Jurmateks*, vol.7, no.2, pp. 82 - 97, 2024, doi: 10.30737/jurmateks.v7i2.6194

ABSTRACT

Building A at the Surabaya UPT Vertical Hospital is an example of using limited land to meet space needs. However, the oval shaped geometry of the building causes the frame structure to be different from usual. This changes in geometry has an impact on the occurrences lateral and mass irregularities in the building structure. This study aims to analyze the stability and performance of oval structures by considering the influence of earthquake loads. The capacity level of structure is evaluated using the Performance Based Design method. This method involves conducting a Pushover Analysis by applying a predefined lateral dynamic load to the structure and gradually increasing it until the structure reaches its maximum capacity, ultimately leading to the structural failure. The results of this research obtained a ductility value of 1.21 for the X axis and 1.46 for the Y axis, this value makes the structure classified as partially ductile and not fully ductile. The performance level of the structure on the longitudinal axis (X) is 0.002 and on the transverse axis (Y) is 0.0019, so the structure is classified as SP-1 Immediate Occupancy, which means that the damage caused is not dangerous even if an earthquake occurs. The results of this research can be used as a guide in planning and evaluating oval or other irregular building structures, especially for vital buildings in areas with high earthquake risk.

1. Pendahuluan

Keterbatasan lahan di kota besar seperti Surabaya mendorong inovasi dalam desain bangunan, salah satunya dengan menggunakan geometri yang tidak konvensional. Bangunan dengan bentuk tidak beraturan, seperti oval, menjadi pilihan untuk mengoptimalkan pemanfaatan lahan. Geometri bangunan merupakan faktor penting yang memengaruhi distribusi beban, stabilitas struktur, dan respon terhadap beban dinamis seperti gempa. Namun,

bentuk tidak beraturan sering kali menghadirkan tantangan dalam perencanaan karena menghasilkan ketidakraturan lateral dan massa, yang dapat meningkatkan risiko kerusakan jika tidak dirancang dengan tepat.

Salah satu contoh bangunan tidak beraturan di Surabaya adalah Gedung A di Rumah Sakit UPT Vertikal Surabaya. Apabila pembangunan tersebut mengikuti bentuk bangunan pada umumnya (Kotak/Persegi), maka rumah sakit tersebut tidak berfungsi secara maksimal, sehingga keterbatasan lahan tersebut harus dimanfaatkan sebaik-baiknya dengan bentuk bangunan yang tidak beraturan [1]. Terdapat lubang pada sudut bangunan ke arah dalam dan luar dan posisi elemen struktur balok, pelat, dan kolom [4]. Hal tersebut dikarenakan adanya bangunan eksisting yang dipertahankan serta keterbatasan lahan. Perubahan geometri struktur bangunan mengakibatkan terjadinya ketidakraturan pada tingkat lunak, baik ketidakraturan lateral maupun massa [5]. Ketidakraturan horizontal pada gedung ini dapat berpotensi terjadi retakan pada sendi plastis yang dapat menyebabkan keruntuhan [6]. Bentuk oval tersebut membuat distribusi beban dan stabilitas struktur berbeda dengan bangunan bergeometri standar, sehingga diperlukan analisis mendalam untuk memastikan keandalannya, terutama terhadap beban gempa. Perlu diperhatikan pula pengaruh dari beban gempa mengingat Surabaya berada di pertemuan empat lempeng tektonik besar, yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia, Pasifik, dan Laut Filipina menjadikan wilayah ini sangat rawan gempa [2]. Kondisi ini diperburuk oleh lokasinya yang dekat dengan laut dan pegunungan, yang meningkatkan potensi gempa berkekuatan besar.

Penelitian terdahulu telah banyak membahas kinerja struktur bangunan terhadap beban gempa, namun fokusnya lebih sering pada bangunan dengan bentuk geometris yang beraturan, seperti persegi atau persegi panjang. Kajian terhadap bentuk tidak beraturan, termasuk bangunan oval, masih sangat terbatas, terutama pada bangunan vital seperti rumah sakit. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ketidakberaturan geometris dapat menyebabkan distribusi beban yang tidak merata, bergesernya pusat massa, serta meningkatnya gaya torsi pada struktur. Beberapa penelitian juga menyoroti penggunaan Performance-Based Design (PBD) sebagai metode untuk mengevaluasi kinerja bangunan terhadap beban gempa [9]. PBD memungkinkan penilaian mendalam terhadap perilaku plastis struktur hingga mencapai kondisi batas keruntuhan. Metode ini dipilih karena kerusakan yang ditimbulkan dengan lebih sedikit dibandingkan dengan metode lainnya dan keakuratan pembebanan dibutuhkan akibat ketidakberaturan distribusi beban pada elemen struktur. [10]. *Performance Based Design* mengutamakan keselamatan, pengendalian deformasi, dan kinerja lainnya yang harus

memenuhi persyaratan [11]. Metode ini ditentukan dengan melakukan *Pushover Analysis* dengan suatu beban lateral dinamis yang konstan diterapkan pada struktur, dan kemudian beban ini ditingkatkan secara bertahap hingga struktur mencapai batas maksimumnya dan terjadi keruntuhan struktur [12]. Dalam konteks ini, *Pushover Analysis* sering digunakan untuk memetakan kapasitas struktur terhadap beban lateral [3]. Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya cenderung fokus pada bangunan dengan geometri beraturan atau analisis umum tanpa mempertimbangkan kompleksitas bentuk oval. Penelitian yang mengkaji bentuk bangunan oval, terutama dengan kombinasi sistem pembalokan radial, masih sangat terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas dan kinerja struktur oval dengan mempertimbangkan pengaruh beban gempa pada Gedung A di Rumah Sakit UPT Vertikal Surabaya. Analisis ini dilakukan untuk mendapatkan pemahaman yang komprehensif mengenai distribusi beban, respons struktur terhadap beban dinamis, serta kapasitas struktur dalam menghadapi skenario gempa. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan rekomendasi desain yang lebih aman dan efisien untuk bangunan vital seperti rumah sakit, khususnya yang berada di wilayah rawan gempa seperti Surabaya.

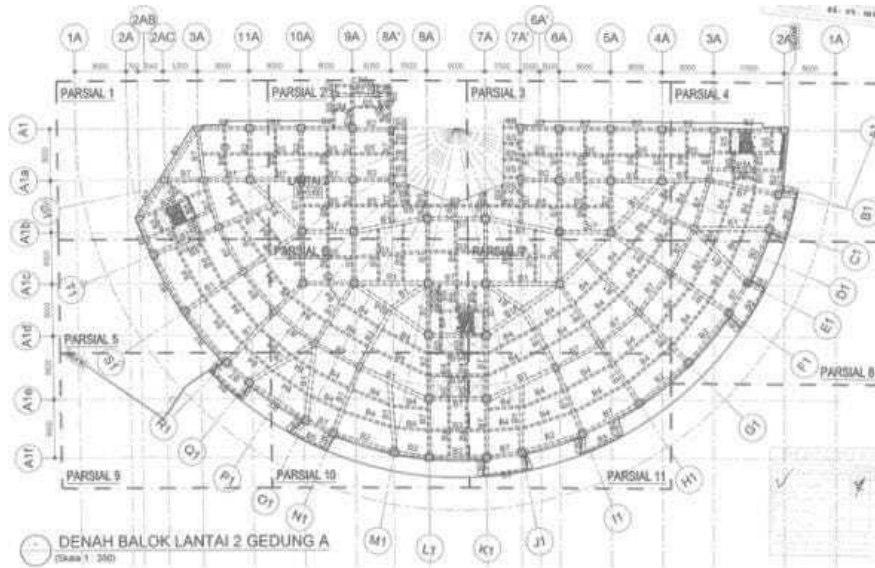
2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Analisis *Pushover* untuk mengevaluasi kapasitas kinerja bangunan. Pemodelan struktur dilakukan dengan berdasarkan denah *Shop Drawing* sebagai acuan, Awalnya Gedung A memiliki 7 lantai, namun dilakukan modifikasi dengan menambah menjadi 11 lantai untuk memenuhi kebutuhan ruang. Oleh karena itu dilakan *Preliminary design* untuk menetapkan dimensi struktur yang sesuai. Mutu material disesuaikan dengan kebutuhan teknis untuk bangunan gedung. Pemodelan dilakukan secara tiga dimensi menggunakan dua program bantu utama. Karena adanya *grid* as yang tidak beraturan, data denah diolah melalui proses transfer/*import* [7], [8]. Ditambahkan sendi plastis (*Hinges*) yang terletak di setiap ujung elemen struktur, untuk merepresentasikan perilaku nonlinier struktur. Beban-beban mengacu pada standart SNI 1727:2020 dan 1726:2019 serta PPIUG (1983).

Hasil dari Analisis *Pushover* berupa nilai daktilitas dan tingkat kinerja struktur yang dievaluasi dari rasio simpangan maksimum antar lantai. [15]. Selain itu, nalisis juga berfokus pada bentuk sistem pembalokan radial, yang mana pada bangunan berbentuk menyerupai oval/lingkaran, sistem radial lebih stabil dibandingkan sistem grid serta hubungan balok kolom (HBK) dengan lebih dari empat balok.[13] Nilai-nilai gaya pada seluruh elemen struktur (Hubungan Balok Kolom) yang dihasilkan dari metode tersebut akan diolah menggunakan acuan standart yang berlaku sehingga menghasilkan struktur yang stabil dan kuat [14].

2.1 Pengumpulan Data

Denah gambar struktur gedung A yang berasal dari *Shop Drawing* yang mencakup detail elemen struktur seperti balok, kolom, pelat, dan *Shear Wall*. *Shop Drawing* ini digunakan sebagai acuan dalam pemodelan struktur Gedung A, yang terdiri dari elemen-elemen utama dengan jarak tertentu sesuai perencanaan teknis.



Sumber: Data Penulis (2024).

Gambar 1. Gambar *Shop Drawing* Balok Lantai 2 Gedung A

Data Umum Bagunan :

Tipe	= Rumah Sakit
Klasifikasi Situs	= Tanah Lunak (SE)
Posisi	= Dekat dari pantai
Lebar (Melintang)	= 50.8 m
Panjang (Memanjang)	= 100.3 m
Elevasi Antar Lantai	= 5.5 meter (Lantai 1-Lantai 2) = 5 meter (Lantai 2-Lantai 5) = 4.25 meter (Lantai 5 -Lantai Atap)
Tinggi Total	= 50.25 meter
Jumlah Lantai	= 12 lantai
Mutu Tulangan (f_y)	= 420 Mpa
Mutu Tulangan (f_u)	= 545 Mpa
Mutu Beton (f'_c)	= 35 Mpa
Tipe Rangka Struktur	= Sistem Ganda dan SRPMK

2.2 Pembebanan

a. Beban Mati

Beban mati mencakup berat sendiri elemen struktur dan beban mati tambahan. Berikut adalah spesifikasi beban mati:

- | | |
|------------------------------|--------------------------|
| 1. Berat jenis beton | = 2400 kg/m ³ |
| 2. Berat jenis baja tulangan | = 7850 kg/m ³ |
| 3. Beban plafond | = 15 kg/m ² |
| 4. Berat spesi | = 21 kg/m ² |
| 5. Beban tegel | = 24 kg/m ² |
| 6. Beban instalasi listrik | = 10 kg/m ² |
| 7. Beban plumbing | = 9 kg/m ² |

b. Beban Hidup

Beban hidup meliputi aktivitas manusia dan peralatan di dalam bangunan yang memengaruhi struktur. Berikut spesifikasi beban hidup:

- | | |
|------------------------------|-------------------------|
| 1. Atap (Bukan untuk hunian) | = 96 kg/m ² |
| 2. Ruang Pasien | = 192 kg/m ² |
| 3. Ruang Operasi dan Lab | = 287 kg/m ² |

c. Beban Gempa

Beban gempa yang ditinjau pada gedung rumah sakit secara analisis dinamis tiga dimensi. Respon Spektrum ditetapkan sesuai peta wilayah gempa untuk daerah Kota Surabaya, Jawa Timur. Berdasarkan SNI 1726:2019, zonasi peta gempa menggunakan peta gempa dengan probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun atau memiliki periode ulang 2500 tahun. Berikut merupakan data dalam penentuan beban gempa:

- | | |
|---|--------------------|
| 1. Kalsifikasi situs | = SE (Tanah Lunak) |
| 2. Faktor keutamaan bangunan (I_e) | = 1,5 |
| 3. Parameter percepatan gempa (S_s dan S_1) | |
| S_s | = 0,6785 |
| S_1 | = 0,3037 |
| 4. Koefisien situs (F_a dan F_v) | |
| F_a | = 1,41 |
| F_v | = 2,8 |

2.3 Analisis *Pushover*

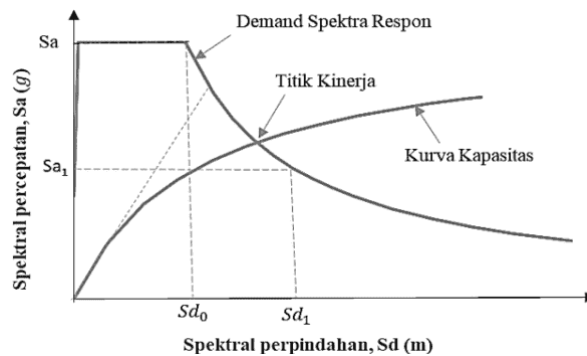
Analisis *Pushover* mengevaluasi kinerja bangunan dengan membandingkan (Rasio) antara simpangan maksimum pada lantai tertinggi dengan simpangan maksimum saat terjadi

kerusakan/leleh pertama kali pada elemen struktur akibat beban yang terus menerus ditambah. [16]. Analisis ini melibatkan pengaplikasian beban horizontal dalam pola yang ditentukan kedalam pemodelan struktur pada komputer.

a. Titik Kinerja Struktur

Titik kinerja merupakan perpotongan antara *spectrum capacity* dengan *spectrum demand* yang mempresentasikan dua kondisi utama:

- 1) Apabila titik kinerja terletak pada *spectrum capacity*, maka hal tersebut menandakan kapasitas struktur pada suatu nilai pergeseran tertentu.
- 2) Apabila titik kinerja terletak pada *spectrum demand*, maka hal tersebut menandakan bahwa kapasitas struktur dapat mencukupi *demand* yang diberikan [17].



Sumber: Data Penelitian (2024) [18].

Gambar 2. Titik Kinerja Struktur

2.4 Daktilitas

Daktilitas merupakan kemampuan struktur untuk menahan deformasi besar tanpa mengalami keruntuhan secara tiba-tiba [19]. Hasil penelitian direncanakan untuk menghasilkan nilai daktilitas berupa daktail penuh atau daktail parsial, mengingat penelitian ini membahas ketidakberaturan bentuk oval, bukan modifikasi bentuk standart.

Tabel 1. Parameter Daktilitas

Taraf Kinerja	M	R
Elastik Penuh	1.0	1.6
Daktail Parsial	1.5 - 5.0	2.4 - 8.0
Daktail Penuh	5.3	8.5

Sumber: Data Penelitian (2024) [19].

Nilai Daktilitas didapatkan melalui rasio antara nilai simpangan seperti berikut:

$$\mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_{yield}} = \frac{\delta u}{\delta y} \dots\dots\dots(2)$$



Dimana:

μ = Daktilitas

Δ_{max} = Simpangan/Pergeseran Maksimum (mm)

Δ_{yield} = Simpangan/Pergeseran Leleh (mm)

δ_u = Displacement saat keruntuhan struktur (mm)

δ_y = Displacement pada saat leleh pertama (mm)

2.5 Hubungan Balok Kolom

Gedung A memiliki keunikan yaitu kolom yang merangka balok lebih dari empat buah dengan sudut yang berbeda-beda. [20]. Perencanaan HBK diinjau berdasarkan lokasi yaitu interior yang terletak di dalam bangunan dan eksterior yang terletak di tepi luar bangunan. [21] Perencanaan HBK harus memenuhi sistem *strong column-weak-beam* dengan mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2. menggunakan formula berikut [22]:

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \quad (3)$$

Dimana:

- M_{nc} = Total kapasitas lentur perlu kolom yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi di setiap sisi *joint*. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur paling rendah.

- M_{nb} = Total kapasitas lentur perlu balok yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi di setiap sisi *joint*. Pada konstruksi balok-T, dimana pelat dalam kondisi tarik akibat momen-momen di sisi *joint*.

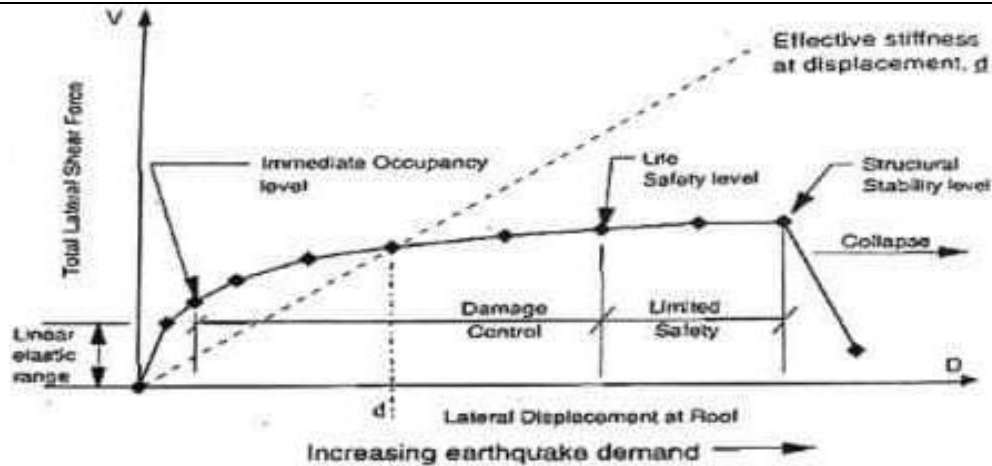
2.6 Sendi Plastis (*Hinges*)

Sendi plastis merupakan sebuah tempat pada masing-masing ujung setiap elemen struktur yang mengalami penurunan kemampuan akibat beban yang diterima. [23]. Pemodelan sendi plastis dilakukan pada setiap ujung seluruh elemen struktur (Tumpuan) dengan jarak masing-masing 1 meter [24]. [25].

2.7 ATC-40

Menurut ATC-40, sebuah struktur dikategorikan berdasarkan performanya menjadi beberapa kategori sebagai berikut [26]:

1. *Immediate Occupancy* (IO)
2. *Damage Control* (DO)
3. *Life Safety* (LS)
4. *Limited Safety*
5. *Structural Stability* (SS)
6. *Not Considered*



Sumber: ATC-40 (1994)

Gambar 3. Kurva Kapasitas Tiap Level Kinerja

Tabel 2. Parameter ATC-40.

Batas Perpindahan Antar Tingkat	Tingkat Kinerja Struktur			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Rasio Perpindahan Total Maksimum	0.01	0.01-0.02	0.02	0.33 V_i/P_i
Rasio Perpindahan Elastis Maksimum	0.005	0.005-0.015	Tidak dibatasi	Tidak dibatasi

Sumber: ATC-40 (1994).

Nilai rasio simpangan total maksimum didapatkan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Rasio simpangan total maksimum} = \frac{D_x}{H_{\text{total}}} \quad (3)$$

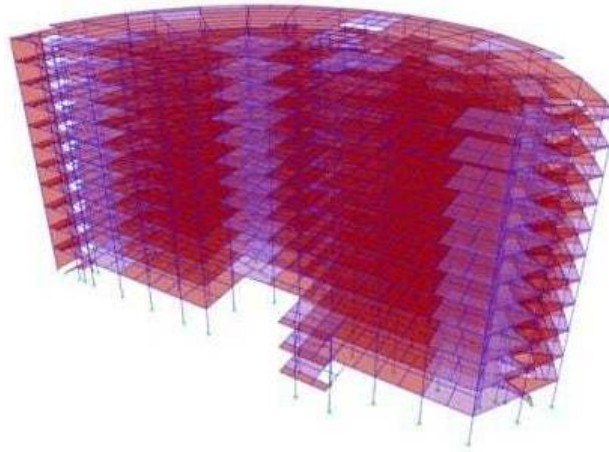
Dimana:

D_x = Simpangan lantai teratas (mm)

H_{total} = Tinggi total bangunan (mm)

2.8 Pemodelan

Perencanaan dan dimensi elemen struktur yang digunakan menggunakan acuan sesuai SNI, terkhusus untuk pelat lantai yang tidak beraturan menggunakan konsep yang sama, yaitu membandingkan sisi terpanjang dan terpendek sehingga dapat diketahui jenis pelat yang akan digunakan [27]. Untuk perencanaan bangunan struktur gedung dimodelkan menggunakan program bantu SAP2000. Denah pemodelan disesuaikan dengan gambar rencana dan untuk balok, kolom, pelat, dan *Shear Wall* sesuai dengan data yang telah di rencanakan. Berikut merupakan pemodelan tiga dimensi menggunakan program bantu SAP2000.



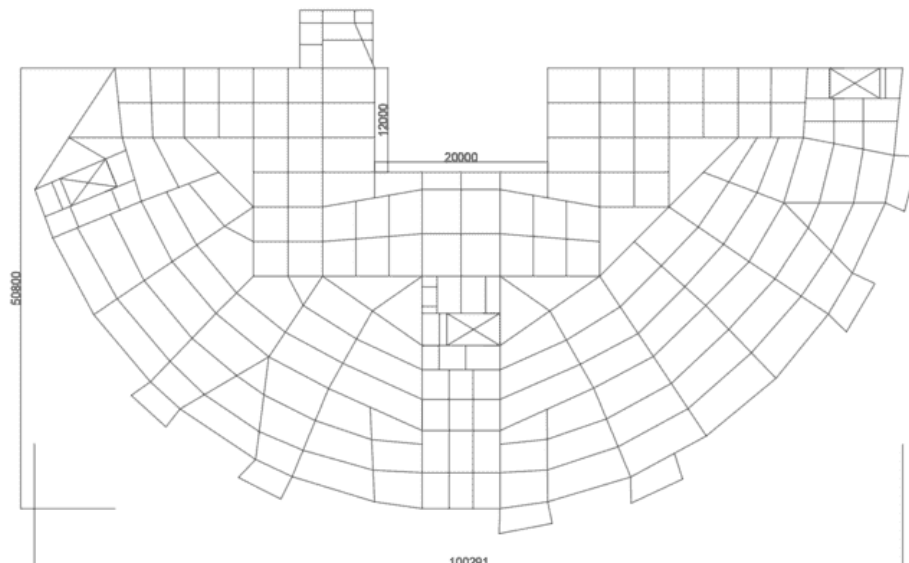
Sumber: Hasil Penelitian (2024).

Gambar 4. Pemodelan Struktur Gedung A

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Hasil Ketidakberaturan Horizontal

Berdasarkan SNI 1726:2019, pasal 7.3.3.2, struktur yang memiliki ketidakberaturan horizontal dengan kategori desain seismik E, memiliki kemungkinan mengalami ketidakberaturan sudut dalam yaitu sebuah kondisi dimana rasio dimensi proyeksi panjang dan lebar struktur dengan panjang dan lebar struktur sesungguhnya lebih dari 15%.



Sumber: Hasil Penelitian (2024).

Gambar 5. Proyeksi Dimensi Keseluruhan Struktur Gedung A

$$P_x = 20000 \text{ mm}$$

$$L_x = 100291 \text{ mm}$$

$$P_y = 12000 \text{ mm}$$

$$L_y = 50800 \text{ mm}$$

$$\frac{Px}{Lx} = \frac{20000}{100291} = 0.2 = 20\%$$

$$\frac{Py}{Ly} = \frac{12000}{50800} = 0.24 = 24\%$$

Hasil rasio proyeksi menunjukkan nilai sebesar 24% dan 20%, yang lebih besar dari batas 15%. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur rangka Gedung A mengalami ketidakaturan sudut dalam. Oleh karena itu, sesuai dengan SNI 1726:2019, pasal 7.2.5.1, beban gempa pada struktur ini harus diperbesar sebesar 25% [28].

3.2 Hasil Simpangan Antar Lantai

Hasil simpangan antar lantai Gedung A diperoleh melalui analisis pada sumbu X dan sumbu Y, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4. Simpangan-simpangan ini dibandingkan dengan batas izin yang ditetapkan untuk menentukan apakah struktur memenuhi persyaratan desain.

Tabel 4. Tabel Simpangan (a) Sumbu X (Kiri) dan (b) Sumbu Y (Kanan)

Lantai	Elevasi (mm)	δe (mm)	δx_e (mm)	δx (mm)	δa (mm)	Keterangan
1	0	0	0	0	0	OK
2	5500	12,89	12,89	47,28	82,5	OK
3	10500	32,39	19,50	71,49	75	OK
4	15500	52,23	19,84	72,73	75	OK
5	20500	70,73	18,50	67,85	75	OK
6	24750	84,01	13,27	48,67	63,75	OK
7	29000	95,45	11,45	41,97	63,75	OK
8	33250	105,37	9,92	36,39	63,75	OK
9	37500	113,79	8,41	30,85	63,75	OK
10	41750	120,59	6,80	24,93	63,75	OK
11	46000	125,70	5,11	18,75	63,75	OK
Atap	50250	129,36	3,66	13,41	63,75	OK

(a)

Lantai	Elevasi (mm)	δe (mm)	δy_e (mm)	δy (mm)	δa (mm)	Keterangan
1	0	0	0	0	0	OK
2	5500	17,79	17,79	65,21	82,5	NOT OK
3	10500	43,43	25,64	94,02	75	NOT OK
4	15500	69,51	26,08	95,62	75	NOT OK
5	20500	93,41	23,91	87,66	75	OK
6	24750	110,16	16,75	61,41	63,75	OK
7	29000	124,67	14,50	53,18	63,75	OK
8	33250	137,14	12,47	45,72	63,75	OK
9	37500	147,55	10,42	38,20	63,75	OK
10	41750	155,81	8,26	30,28	63,75	OK
11	46000	161,79	5,98	21,92	63,75	OK
Atap	50250	165,46	3,67	13,47	63,75	OK

(b)

Sumber: Hasil Penelitian (2024).

Pada sumbu X, simpangan pada lantai 3, 4, dan 5 memenuhi batas izin dengan status OK, kecuali pada beberapa nilai tertentu yang menunjukkan adanya ketidakteraturan lokal. Pada sumbu Y, terdapat simpangan yang melebihi batas izin pada lantai 3, 4, dan 5 dengan status NOT OK. Simpangan pada arah Y melebihi batas izin disebabkan oleh adanya tambahan coakan pada bangunan ke arah luar yang hanya terdapat pada lantai 2 hingga 4. Hal ini menyebabkan distribusi beban lateral menjadi lebih besar pada lantai-lantai tersebut dibandingkan lantai lainnya. Akibatnya, beban lateral pada lantai 6 ke atas menunjukkan pola distribusi yang berbeda [29]. Berdasarkan analisis tersebut, perlu dilakukan perencanaan ulang untuk memperbaiki nilai simpangan yang tidak memenuhi persyaratan.

3.3 Redimensi Struktur

Berdasarkan analisis sebelumnya, dilakukan perencanaan ulang berupa perubahan dimensi elemen struktur untuk meningkatkan kinerja struktur, terutama pada arah sumbu Y. Perubahan ini meliputi perubahan dimensi kolom utama dari 800 mm x 800 mm menjadi 1000 mm x 1500 mm dengan sisi terpanjang menghadap sumbu Y [30].

Tabel 6. Tabel Dimensi Elemen Struktur

Kolom (mm)	Balok (mm)	Pelat (mm)
K1 (1000 x 1500)	B1 (950 x 650)	Lantai (130)
K2 (1000 x 1500)	B2 (850 x 600)	Atap (120)
K3 (1000 x 1500)	B3 (750 x 550)	
KT (500 x 500)	B4 (650 x 450)	
	BA1 (600 x 400)	
	BA2 (550 x 400)	
	BA3 (500 x 350)	
	BK1 (400 x 300)	
	BAK (400 x 300)	

Sumber: Hasil Penelitian (2024).

Setelah redimensi elemen struktur, nilai simpangan antar lantai pada arah sumbu Y menunjukkan hasil yang lebih baik, seperti yang ditampilkan dalam **Tabel 5**. Semua simpangan berada dalam batas izin dengan status **OK**.

Tabel 5. Tabel Simpangan Antar Lantai Arah Y (Baru)

Lantai	Elevasi (mm)	δ_e (mm)	δ_{xe} (mm)	δ_x (mm)	δ_a (mm)	Keterangan
1	0	0	0	0	0	OK
2	5500	8,26	8,26	30,29	82,5	OK
3	10500	23,70	15,44	56,61	75	OK
4	15500	41,50	17,80	65,27	75	OK
5	20500	59,13	17,63	64,64	75	OK
6	24750	72,74	13,61	49,90	63,75	OK
7	29000	84,82	12,08	44,29	63,75	OK
8	33250	95,38	10,56	38,72	63,75	OK
9	37500	104,38	9,00	33,00	63,75	OK
10	41750	111,80	7,42	27,21	63,75	OK
11	46000	117,72	5,92	21,71	63,75	OK
Atap	50250	122,48	4,76	17,45	63,75	OK

Sumber: Hasil Penelitian (2024).

Analisis Ketidakberaturan Horizontal Struktur Rangka Gedung Oval Dengan *Pushover Analysis* Pada Rumah Sakit UPT Vertikal Surabaya

<https://dx.doi.org/10.30737/jurmateks.v7i2.6194>

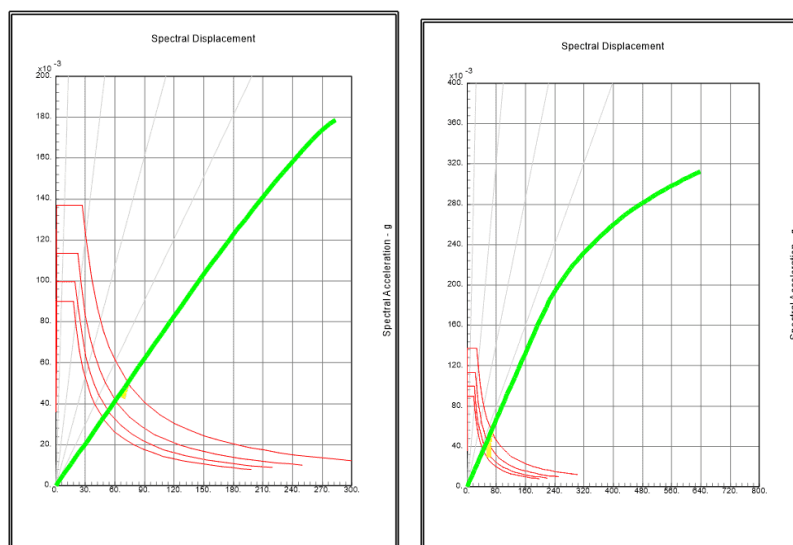


Perubahan dimensi kolom utama, dengan sisi **1500 mm** menghadap arah Y, berhasil meningkatkan kekakuan struktur secara signifikan. Hal ini memungkinkan distribusi beban lateral dapat ditahan dengan lebih baik, sehingga meminimalkan simpangan antar lantai. Akibatnya, nilai simpangan tidak lagi melebihi batas izin yang telah ditetapkan.

3.4 Analisis *Pushover*

Grafik kurva *pushover* pada arah X menunjukkan nilai simpangan dan beban yang bekerja cenderung konstan dengan pola deformasi yang stabil. Hal ini menunjukkan bahwa arah X memiliki kekakuan yang cukup tinggi, sehingga beban lateral dapat didistribusikan dengan baik dan simpangan tetap dalam batas yang terkendali.

Sebaliknya, pada grafik kurva *pushover* arah Y, pola kurva menunjukkan nilai yang lebih landai dengan simpangan yang lebih besar dan beban yang bekerja lebih tinggi dibandingkan arah X. Hal ini terjadi karena adanya kelemahan momen inersia pada arah Y akibat geometri bangunan berbentuk oval (lebar bangunan) dan adanya coakan pada bagian struktur, baik ke arah luar maupun dalam. Coakan ini menyebabkan distribusi beban lateral pada arah Y menjadi kurang merata, sehingga menimbulkan simpangan yang lebih signifikan.



Sumber: Hasil Penelitian (2024).

Gambar 3. Grafik *Pushover* Arah X (Kiri) dan Kurva *Pushover* Arah Y (Kanan).

Momen inersia bangunan yang lemah terhadap sumbu Y akan berdampak pada keruntuhan bangunan yang saat runtuh, dipastikan akan mengarah ke sumbu Y.

a. Analisis Kinerja Struktur

Dari hasil analisis, nilai perbandingan (rasio) simpangan maksimum pada arah X dengan nilai 0.002 dan arah Y dengan nilai 0.0019. Hal ini menandakan kurva spektrum kapasitas beban lebih besar dibandingkan kurva spektrum perlu. Berdasarkan tabel 2, nilai rasio

simpangan maksimum tersebut bernilai kurang dari 0.01, sehingga membuat bangunan Gedung A Rumah Sakit UPT Vertikal Surabaya tergolong dalam level kinerja SP-1 (*Immediate Occupancy*) yang berarti dapat digunakan kembali segera setelah gempa tanpa perbaikan besar. Hal ini dibuktikan dengan tidak munculnya sendi plastis pada pemodelan [31].

b. Analisis Daktilitas

Berdasarkan analisis *pushover* dengan program bantu didapatkan nilai simpangan δ_x dan D_x untuk arah X adalah 122.47 mm dan 80.04 mm, sedangkan simpangan δ_y dan D_y untuk arah Y adalah 145.49 mm dan 85.4 mm. Berdasarkan data tersebut diperoleh rasio arah X = $\frac{122.47}{80.04} = 1.53$ dan arah Y = $\frac{145.49}{85.4} = 1.7$, berdasarkan tabel 1, nilai daktilitas arah X dan arah Y tergolong daktail parsial, yang berarti balok dan kolom mengalami deformasi bersamaan. Hal ini kurang sesuai dengan standar desain yaitu daktail penuh. Hal ini menandakan kurangnya elemen struktur perkuatan tambahan pada beberapa titik seperti *shear wall*.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Gedung A mengalami ketidakaturan horizontal dengan rasio dimensi melebihi 15%, sehingga beban gempa harus diperbesar 25% sesuai SNI 1726:2019. Simpangan pada arah Y melebihi batas izin pada lantai 3, 4, dan 5 akibat adanya coakan, namun perubahan dimensi kolom menjadi 1000 mm x 1500 mm berhasil menurunkan simpangan hingga memenuhi batas izin. Struktur dikategorikan dalam level kinerja SP-1 (*Immediate Occupancy*), dengan nilai daktilitas tergolong parsial (1.53 untuk arah X dan 1.7 untuk arah Y), serta kurva *pushover* menunjukkan bahwa arah X memiliki kekakuan lebih baik dibandingkan arah Y. Untuk meningkatkan kinerja, direkomendasikan penambahan elemen *shear wall* untuk memperbaiki distribusi beban lateral dan meningkatkan daktilitas, menjadikan penelitian ini acuan penting untuk desain bangunan dengan bentuk tidak beraturan di wilayah rawan gempa. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai pedoman dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan oval atau tidak beraturan lainnya, khususnya untuk bangunan vital di wilayah dengan risiko gempa tinggi.

Daftar Pustaka

- [1] S. Yoshida, "A Study of the Characteristics of Regional Building Construction Process," *The Open Construction & Building Technology Journal*, vol. 17, no. 1, pp. 1–12, 2023, doi: 10.2174/18748368-v17-e230510-2023-3.

- [2] A. Prasetio and M. M. Effendi, "Analisis Gempa Bumi Di Indonesia Dengan Metode Clustering," *Bulletin of Information Technology (BIT)*, vol. 4, no. 2, pp. 338–343, 2023, [Online]. Available: <https://journal.fkpt.org/index.php/BIT/article/view/820%0Ahttps://journal.fkpt.org/index.php/BIT/article/download/820/459>
- [3] Z. Qu, F. Wang, X. Chen, X. Wang, and Z. Zhou, "Rapid report of seismic damage to hospitals in the 2023 Turkey earthquake sequences," *Earthquake Research Advances*, vol. 3, no. 4, p. 100234, 2023, doi: 10.1016/j.eqrea.2023.100234.
- [4] S. Ereiz, I. Duvnjak, and J. Fernando Jiménez-Alonso, "Review of finite element model updating methods for structural applications," *Structures*, vol. 41, no. April, pp. 684–723, 2022, doi: 10.1016/j.istruc.2022.05.041.
- [5] W. Amrullah, T. H. Bagio, and J. Tistogondo, "Desain Perencanaan Struktur Gedung 38 Lantai Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (Srpmk)," *Jurnal Ilmiah MITSU*, vol. 7, no. 1, pp. 18–23, 2019, doi: 10.24929/ft.v7i1.679.
- [6] J. G. Potalangi, H. Manalip, and S. E. Wallah, "Analisis Keruntuhan Gedung Bertingkat Akibat Beban Gempa Dan Beban Angin Dengan Metode Pushover," *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 1–12, 2020.
- [7] S. E. Naveen, N. M. Abraham, and A. S. D. Kumari, "Analysis of irregular structures under earthquake loads," *Procedia Structural Integrity*, vol. 14, no. 2018, pp. 806–819, 2019, doi: 10.1016/j.prostr.2019.07.059.
- [8] F. R. Amelia, I. Mohd., H. H. Riakara, and R. Widyawati, "Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Terhadap Beban Gempa Dengan Metode Pushover Analysis (Studi Kasus: Gedung Rawat Inap Non – Bedah Rumah Sakit Umum Daerah Dr. H. Abdul Moeloek)," *Jrsdd*, vol. 9, no. 4, pp. 829–840, 2021.
- [9] S. Siswanto and P. Prijasambada, "Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Metode Pushover," *IKRAITH-Teknologi*, vol. 7, no. 1, pp. 46–52, 2022, doi: 10.37817/ikraith-teknologi.v7i1.2319.
- [10] Y. Ishikawa and L. Bai, "The 2024 Mj 7.6 Noto Peninsula, Japan earthquake caused by the fluid flow in the crust," *Earthquake Research Advances*, vol. 4, no. 3, p. 100292, 2024, doi: 10.1016/j.eqrea.2024.100292.
- [11] Z. Xiong, W. Jia, and X. Chen, "Progressive Collapse Mechanism of RC Framed Structures Under Earthquake Using Energy Method," *KSCE Journal of Civil Engineering*, p. 100104, 2024, doi: 10.1016/j.kscej.2024.100104.

- [12] G. Pramudhita and H. K. Buwono, "Analisis Nonlinier Static Pushover Struktur Gedung Bertingkat Soft Story Dengan Menggunakan Material Beton Bertulang dan Beton Prategang pada Balok Bentang Panjang," *Konstruksia*, pp. 95–106, 2019, [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/konstruksia/article/view/4700>
- [13] O. Dewayanti, E. J. Kumaat, S. O. Dapas, and R. S. Windah, "Perhitungan Simpangan Struktur Bangunan Bertingkat (Studi Komparasi Model Pembalokan Arah Radial Dan Grid)," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 1, no. 11, pp. 689–695, 2013.
- [14] S. Soelarso and B. Baehaki, "Analisis Struktur Beton Bertulang Srpmk Terhadap Beban Gempa Statik Dan Dinamik Dengan Peraturan Sni 1726 2012," *Fondasi : Jurnal Teknik Sipil*, vol. 4, no. 2, pp. 1–7, 2015, doi: 10.36055/jft.v4i2.1231.
- [15] M. N. Fajar, A. D. S. P, E. S. Mangandar, J. Pendidikan, K. Sorong, and P. B. Daya, "Studi Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Tidak Beraturan Terhadap Soft Storey Akibat Beban Gempa," 2023.
- [16] S. Kamali and A. Marzani, "A demand-capacity approach to define failure thresholds in anomaly detection monitoring systems," *Journal of Dynamic Disasters*, vol. 1, no. 1, p. 100004, 2025, doi: 10.1016/j.jdd.2024.100004.
- [17] N. Septian, G. Turuallo, and I. K. Sulendra, "Kinerja Portal Struktur Gedung Tahan Gempa dengan Sistem Ganda Menggunakan Metode Pushover Analysis," *REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development*, no. February, pp. 35–42, 2022, doi: 10.22487/renstra.v3i1.405.
- [18] N. Khotimah Handayani, "Evaluasi Kinerja Struktur pada Gedung Eksisting Tujuh Lantai dengan FEMA 310," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 7, no. 1, pp. 1–14, 2021.
- [19] K. Nuraga, D. A. P. A. G. Putri, K. Antriksa, and J. Ficher, "Analisis Daktilitas Struktur Gedung Rangka Beton Bertulang Dengan Metode Analisis Pushover," *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil dan Teknik Informasi*, vol. 4, no. 2, pp. 98–105, 2022, doi: 10.38043/telsinas.v4i2.3342.
- [20] A. Karamanli, T. P. Vo, M. O. Belarbi, and S. Lee, "On the bending, buckling and free vibration analysis of bio-inspired helicoidal laminated composite shear and normal deformable beams," *Compos Struct*, vol. 352, no. October 2024, p. 118641, 2025, doi: 10.1016/j.compstruct.2024.118641.
- [21] S. Wardi and S. Y. Ardiansyah, "Perbandingan Ketentuan dan Analisis Detailing Hubungan Balok-Kolom Berdasarkan SNI 2847:2013 dan SNI 2847:2019," *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 1, no. 2, pp. 159–170, 2022, doi: 10.35334/be.v1i2.2430.

- [22] R. Andreas, Aryanto, and Herwani, "Analisis Hubungan Balok Kolom Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus," pp. 1–10, 2019.
- [23] Z. Li, D. Yu, W. Xu, M. Zhang, W. Geng, and N. Li, "Research on the Reconstruction Design of the Closed Atrium of the No. 1 Office Building of Wuhan Kaidi," *Buildings*, vol. 12, no. 10, pp. 1–16, 2022, doi: 10.3390/buildings12101674.
- [24] Tavio and U. Wijaya, *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*, 2nd ed. Yogyakarta, 2018.
- [25] A. Rahmanty and R. Andayani, "Analisis Story Drift dan Kondisi Sendi Plastis Berbasis Performa pada Gedung Bertingkat dengan Konfigurasi Struktur Persegi Panjang, U, L, H, dan T," *Media Komunikasi Teknik Sipil*, vol. 25, no. 1, p. 38, 2019, doi: 10.14710/mkts.v25i1.17945.
- [26] I. Nurelisa and Amalia, "Kinerja Ketidakberaturan Kekakuan Struktur Menggunakan Metode DDBD dan CSM," *Media Komunikasi Teknik Sipil*, vol. 28, no. 1, pp. 128–136, 2022.
- [27] M. S. Al-Ansari and M. S. Afzal, "Structural Analysis and Design Of Irregular Shaped Reinforced Concrete Slabs Using a Simplified Design method," *Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics*, vol. 3, no. 4, pp. 276–288, 2020, doi: 10.31462/jseam.2020.04276288.
- [28] I. Muljati, "Dengan Ketidakberaturan Sudut Dalam Yang Direncanakan Secara Direct Displacement Based Design," pp. 1–8, 2014.
- [29] S. A. Shany, A. A. Santosa, and M. Erfan, "Analisa Perbandingan Simpangan Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Dan Sistem Ganda," *Seminar Nasional Perwujudan Pembangunan Berkelanjutan Berbasis Kearifan Lokal*, vol. 4, pp. 27–38, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/semsina/article/download/2928/2537>
- [30] R. M. R. K. Eko Walujodjati, "Pengaruh Perubahan Dimensi Kolom Pada Kapasitas Struktur Tahan Gempa Gedung Beton Bertulang," *Inter Tech*, vol. 2, no. 1, pp. 30–40, 2024.
- [31] R. Andhika Kadarusman, A. SMD, and A. Wibowo, "Kajian Analisis Pushover Untuk Performance Based Design Pada Gedung A Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Kertosono (Study of Pushover Analysis for Performance Based Design on Kertosono Regional Public Hospital Building A)," *Jurnal Teknik Sipil*, pp. 1–10, 2012.