

EVALUASI KINERJA SEISMIC STRUKTUR BETON BERTULANG GEDUNG RUMAH SAKIT UMUM FANDIKA TAKENGON

Munthasir¹
Musbar^{2*}
Khairul Miswar¹
Hanif¹
Aiyub²

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung
Politeknik Negeri Lhoksumawe
Jl. Banda Aceh-Medan 280 3, RW. Buketrata, Mesjid Punteut, Kec. Blang Mangat, Kota Lhokseumawe,
Aceh 24301, INDONESIA

²Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan
Politeknik Negeri Lhoksumawe
Jl. Banda Aceh-Medan 280 3, RW. Buketrata, Mesjid Punteut, Kec. Blang Mangat, Kota Lhokseumawe,
Aceh 24301, INDONESIA

Abstract

Hospitals are critical facilities required to remain structurally safe and fully operational following an earthquake. This study aims to evaluate the seismic performance and structural compliance of the Fandika Takengon General Hospital Building following a configuration change from the initial plan of six stories to four stories. The evaluation was conducted through three-dimensional modeling using CSI ETABS software based on SNI 1726:2019 on a dual system consisting of a Special Moment Resisting Frame System (SMRFS) and shear walls. The evaluated parameters include base shear force, modal mass participation, inter-story drift, dual system contributions, and structural irregularities. The analysis results indicate that the structure complies with the global seismic response requirements based on SNI 1726:2019, with a base shear force of 13,522.52 kN in the X-direction and 13,568.53 kN in the Y-direction, and all inter-story drift values fall below the allowable limits. The moment-resisting frame is capable of resisting more than 25% of the seismic force, thereby satisfying the dual system requirements. Nonetheless, torsional irregularities were still identified on several floors, along with a mass irregularity on the second floor, and a re-entrant corner irregularity in the Y-direction, which potentially affect the local structural response during a strong earthquake. This study demonstrates that a comprehensive seismic performance evaluation is critical for existing buildings undergoing configuration changes, as compliance with global response requirements does not fully guarantee the absence of potential local vulnerabilities. The findings of this study are expected to serve as a reference for the evaluation and verification of structural safety in hospital buildings and other essential structures prior to operation.

Keywords:

Dual system; reinforced concrete; response-spectrum analysis; seismic performance; structural irregularity

Abstrak

Rumah sakit merupakan bangunan dengan fungsi penting yang dituntut tetap aman secara struktural dan mampu mempertahankan operasionalnya setelah terjadi gempa bumi. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja seismik dan kesesuaian struktur Gedung Rumah Sakit Umum Fandika Takengon setelah perubahan konfigurasi dari rencana awal enam lantai menjadi empat lantai. Evaluasi dilakukan melalui pemodelan tiga dimensi menggunakan perangkat lunak CSI ETABS berdasarkan SNI 1726:2019 pada sistem ganda yang terdiri atas Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dinding geser. Parameter yang dievaluasi meliputi gaya geser dasar, partisipasi massa modal, simpangan antar tingkat, kontribusi sistem ganda, serta ketidakberaturan struktur. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur memenuhi persyaratan respons seismik global berdasarkan SNI 1726:2019, dengan gaya geser dasar sebesar 13.522,52 kN pada arah X dan 13.568,53 kN pada arah Y, serta seluruh nilai simpangan antar tingkat berada di bawah batas yang diizinkan. Rangka pemikul momen mampu menahan lebih dari 25% gaya gempa sehingga persyaratan sistem ganda terpenuhi. Namun demikian, masih teridentifikasi ketidakberaturan torsi pada beberapa lantai, ketidakberaturan massa pada lantai dua, dan ketidakberaturan sudut dalam pada arah Y yang berpotensi memengaruhi respons lokal struktur saat terjadi gempa kuat. Penelitian ini menunjukkan bahwa evaluasi kinerja seismik secara komprehensif sangat penting dilakukan pada bangunan eksisting yang mengalami perubahan konfigurasi, karena terpenuhinya persyaratan respons global belum sepenuhnya menjamin tidak adanya potensi kerentanan lokal. Hasil

penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam evaluasi dan verifikasi keamanan struktur bangunan rumah sakit maupun bangunan penting lainnya sebelum dioperasikan.

Kata kunci:

Analisis respons spektrum; beton bertulang; ketidakberaturan struktur; kinerja seismik; sistem ganda

DOI: [10.38038/vocatech.v8i2.267](https://doi.org/10.38038/vocatech.v8i2.267)

Received: 04 October 2025; Accepted: 20 September 2026; Published: 30 October 2026

Corresponding author:

Musbar, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe, Jl. B. Aceh - Medan Km. 280 Buketrata 24301 INDONESIA

Email: musbaribrahim@pnl.ac.id

1. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan layanan kesehatan mendorong pembangunan rumah sakit yang aman dan andal. Sebagai bangunan dengan fungsi penting, rumah sakit harus tetap mampu mendukung pelayanan setelah terjadi gempa. Kondisi tersebut relevan bagi Indonesia yang memiliki tingkat bahaya gempa tinggi, sehingga perencanaan struktur harus memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, stabilitas, dan kemampuan deformasi (Isdyanto et al., 2021; Panjaitan, 2021). Perencanaan bangunan gedung di Indonesia mengacu pada SNI 1726:2019 untuk ketahanan gempa, SNI 1727:2020 untuk pembebanan, dan SNI 2847:2019 untuk beton struktural. Pada bangunan beton bertulang, distribusi massa dan kekakuan yang tidak seragam dapat meningkatkan simpangan antar tingkat, percepatan lantai, dan kerentanan seismik (Blasi et al., 2024; Oyguc et al., 2018). Oleh karena itu, pemeriksaan ketidakberaturan struktur merupakan bagian penting dalam evaluasi kinerja seismik. Perangkat lunak analisis struktur, seperti ETABS, memungkinkan pemodelan tiga dimensi dan evaluasi respons dinamik secara lebih efisien (Ashary et al., 2024). Analisis respons spektrum banyak digunakan untuk memperkirakan respons modal struktur, tetapi penerapannya pada bangunan tidak beraturan harus mempertimbangkan kontribusi ragam tinggi dan distribusi gaya internal (Ruggieri & Uva, 2024; Ulza et al., 2025).

Gedung Rumah Sakit Umum Fandika Takengon semula direncanakan enam lantai, kemudian diubah menjadi empat lantai tanpa pengurangan tulangan. Perubahan tersebut berpotensi mengubah massa, kekakuan, periode alami, dan distribusi gaya gempa, tetapi pengaruhnya terhadap kinerja seismik struktur belum dievaluasi secara terperinci. Meskipun berbagai penelitian telah mengevaluasi respons seismik bangunan beton bertulang menggunakan analisis respons spektrum, sebagian besar penelitian tersebut dilakukan pada bangunan yang sejak awal direncanakan sesuai dengan konfigurasi akhir bangunan. Penelitian mengenai evaluasi bangunan eksisting yang mengalami perubahan konfigurasi vertikal selama proses perencanaan atau konstruksi masih relatif terbatas, khususnya pada bangunan rumah sakit yang termasuk kategori bangunan dengan faktor keutamaan tinggi. Perubahan jumlah lantai berpotensi mengubah distribusi massa, kekakuan lateral, periode alami struktur, serta mekanisme penyaluran gaya gempa sehingga dapat memengaruhi tingkat keamanan struktur meskipun dimensi dan detail tulangan utama tidak mengalami perubahan.

Selain itu, sebagian besar penelitian terdahulu lebih menitikberatkan pada evaluasi parameter global seperti gaya geser dasar, simpangan antar tingkat, dan periode alami struktur. Kajian yang mengintegrasikan evaluasi parameter global dengan pemeriksaan ketidakberaturan horizontal, ketidakberaturan vertikal, serta kontribusi sistem ganda berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019 masih relatif terbatas. Padahal, ketidakberaturan struktur merupakan salah satu faktor yang sangat memengaruhi distribusi gaya internal, konsentrasi deformasi, dan potensi kerusakan lokal saat terjadi gempa kuat. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini memiliki kebaruan (*novelty*) berupa evaluasi menyeluruh terhadap bangunan rumah sakit eksisting yang mengalami perubahan konfigurasi dari enam lantai menjadi empat lantai menggunakan pemodelan tiga dimensi berbasis CSI ETABS. Evaluasi tidak hanya mencakup pemeriksaan respons global, tetapi juga mengintegrasikan analisis sistem ganda, distribusi gaya lateral, serta identifikasi seluruh ketidakberaturan horizontal dan vertikal sesuai SNI 1726:2019. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan metode evaluasi bangunan eksisting yang mengalami perubahan desain serta memberikan rekomendasi praktis bagi proses verifikasi keamanan struktur sebelum bangunan dioperasikan. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja seismik Gedung Rumah Sakit Umum Fandika Takengon setelah perubahan konfigurasi struktur dari enam

lantai menjadi empat lantai menggunakan analisis respons spektrum berdasarkan SNI 1726:2019. Evaluasi dilakukan terhadap parameter respons global yang meliputi gaya geser dasar, periode alami, partisipasi massa modal, simpangan antar tingkat, kontribusi sistem ganda, serta ketidakberaturan horizontal dan vertikal. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi acuan dalam proses evaluasi bangunan eksisting yang mengalami perubahan konfigurasi selama tahap perencanaan maupun pelaksanaan konstruksi.

2. STUDI PUSTAKA

2.1. Ketidakberaturan horizontal

Berdasarkan SNI 1726:2019, ketidakberaturan horizontal meliputi ketidakberaturan torsi, torsi berlebihan, diskontinuitas diafragma, pergeseran tegak lurus terhadap bidang, dan sistem nonparalel. Eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan dapat menimbulkan respons translasi-torsi serta meningkatkan tuntutan gaya pada elemen tertentu (Manoukas, 2018; Satheesh et al., 2020). Jenis ketidakberaturan horizontal yang diperiksa dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Ketidakberaturan torsi
2. Ketidakberaturan torsi berlebihan
3. Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma
4. Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang
5. Ketidakberaturan sistem nonparalel

2.2. Ketidakberaturan vertikal

Ketidakberaturan vertikal terjadi akibat perubahan kekakuan, massa, geometri, atau kekuatan sistem penahan gaya lateral sepanjang tinggi bangunan. Kondisi tersebut dapat mengubah distribusi gaya dan simpangan antar tingkat (Annapurna et al., 2023; Athanassiadou, 2008; Nezhad & Poursha, 2015; Siva Naveen et al., 2019). Berdasarkan SNI 1726:2019, jenis ketidakberaturan vertikal yang diperiksa adalah sebagai berikut.

1. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak
2. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan
3. Ketidakberaturan berat (massa)
4. Ketidakberaturan geometri vertikal
5. Ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral
6. Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas kekuatan lateral tingkat
7. Ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas kekuatan lateral tingkat

2.3. Simpangan antar tingkat

Simpangan antar tingkat desain dihitung sebagai selisih perpindahan pada dua tingkat yang berurutan setelah respons elastis dikalikan dengan faktor pembesaran simpangan dan dibagi dengan faktor keutamaan gempa sesuai SNI 1726:2019. Nilai tersebut digunakan untuk menilai konsentrasi deformasi dan potensi kerusakan pada bangunan beraturan maupun tidak beraturan (Landge & Ingle, 2021, 2022; Mehta & Chey, 2023).

$$\delta = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots (1)$$

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral

δ_{xe} = perpindahan elastis pada tingkat x

I_e = faktor keutamaan gempa

3. METODOLOGI

Penelitian dilakukan melalui analisis numerik terhadap struktur beton bertulang empat lantai menggunakan CSI ETABS. Struktur dimodelkan dalam tiga dimensi sebagai sistem ganda yang terdiri atas sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dan dinding geser. Sistem ganda dipilih karena dapat meningkatkan kekakuan lateral sekaligus mempertahankan kapasitas deformasi struktur (Al Agha & Umamaheswari, 2021). Tahapan analisis meliputi pengumpulan data struktur, pemodelan geometri dan material, penerapan kombinasi pembebanan, analisis respons spektrum, serta pemeriksaan parameter kinerja dan ketidakberaturan berdasarkan SNI 1726:2019.

3.1. Data perencanaan

Data struktur Gedung Rumah Sakit Umum Fandika Takengon adalah sebagai berikut.

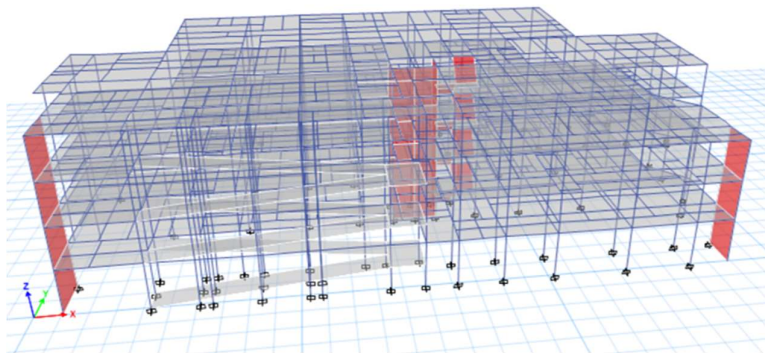
1. Struktur atas: beton bertulang
2. Sistem struktur: sistem ganda
3. Jumlah tingkat: empat lantai
 - Tinggi setiap lantai: 4,6 m
 - Tinggi total bangunan: 18,4 m
4. Material
 - Kuat tekan beton, f'_c : 25 MPa
 - Kuat leleh tulangan longitudinal, f_y : 420 MPa
 - Kuat leleh tulangan transversal, f_y : 280 MPa
5. Dimensi kolom dan balok

Tabel 1. Dimensi kolom dan balok perencanaan

No.	Kolom	Balok
1.	K1 800x800 mm	BL1 450x850 mm
2.	K2 Ø 800 mm	BL2 300x600 mm
3.	K3 450x800 mm	BL3 250x500 mm
4.	K4 400x600 mm	BL4 200x400 mm

3.2. Pemodelan struktur

Geometri, dimensi elemen, mutu material, dan kondisi tumpuan dimasukkan ke dalam model tiga dimensi. Balok dan kolom dimodelkan sebagai elemen rangka, sedangkan pelat dan dinding geser dimodelkan sebagai elemen bidang. Geometri struktur dimodelkan dalam tiga dimensi menggunakan perangkat lunak CSI ETABS sesuai gambar rencana struktur. Balok dan kolom dimodelkan sebagai frame element, sedangkan pelat lantai dan dinding geser dimodelkan sebagai shell element sehingga mampu merepresentasikan perilaku lentur, membran, dan geser secara simultan. Seluruh dasar kolom diasumsikan sebagai perletakan jepit (*fixed support*) untuk merepresentasikan hubungan monolit antara struktur atas dan pondasi. Pelat lantai dimodelkan sebagai diafragma kaku (*rigid diaphragm*) sehingga distribusi gaya lateral pada setiap lantai diasumsikan merata sesuai karakteristik lantai beton bertulang. Massa struktur dibangkitkan secara otomatis dari kombinasi beban mati, beban mati tambahan, serta proporsi beban hidup sesuai ketentuan SNI 1727:2020. Seluruh elemen struktur diasumsikan berperilaku elastis linier karena evaluasi dilakukan menggunakan analisis respons spektrum. Model struktur yang digunakan dalam analisis ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Model tiga dimensi Gedung Rumah Sakit Umum Fandika

3.3. Parameter gempa, kombinasi pembebanan dan validasi model analisis

Analisis beban gempa dilakukan menggunakan metode analisis respons spektrum sesuai ketentuan SNI 1726:2019. Spektrum respons desain ditentukan berdasarkan parameter bahaya gempa pada lokasi Gedung Rumah Sakit Umum Fandika Takengon dengan mempertimbangkan kelas situs, kategori risiko bangunan, faktor keutamaan gempa, serta parameter percepatan spektrum desain (SDS dan SD1) sesuai peta bahaya gempa Indonesia. Sebagai bangunan rumah sakit yang termasuk kategori bangunan dengan fungsi penting, evaluasi struktur menggunakan faktor keutamaan gempa sebagaimana dipersyaratkan dalam

[SNI 1726:2019](#). Sistem struktur yang digunakan merupakan Sistem Ganda, yang terdiri atas Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dinding geser (*shear wall*), sehingga nilai faktor modifikasi respons (R), faktor pembesaran simpangan (C_d), dan faktor kuat lebih (Ω_0) ditetapkan sesuai sistem struktur tersebut. Pemodelan struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak CSI ETABS dalam bentuk model tiga dimensi. Balok dan kolom dimodelkan sebagai frame element, sedangkan pelat lantai dan dinding geser dimodelkan sebagai shell element. Seluruh dasar kolom diasumsikan sebagai perletakan jepit (*fixed support*) untuk merepresentasikan hubungan monolit antara struktur atas dan pondasi. Pelat lantai dimodelkan sebagai diafragma kaku (*rigid diaphragm*) sehingga distribusi gaya lateral pada setiap lantai dapat direpresentasikan secara merata sesuai karakteristik struktur beton bertulang. Massa struktur dibangkitkan secara otomatis dari kombinasi beban mati, beban mati tambahan, serta proporsi beban hidup sesuai ketentuan [SNI 1727:2020](#).

Kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada [SNI 1727:2020](#) untuk beban gravitasi dan [SNI 1726:2019](#) untuk beban gempa. Kombinasi tersebut meliputi kombinasi beban mati (DL), beban mati tambahan (SDL), beban hidup (LL), beban atap (Lr), beban angin (Wx dan Wy), serta beban gempa (Ex dan Ey). Seluruh kombinasi pembebanan diterapkan pada model struktur untuk memperoleh kondisi pembebanan yang paling kritis terhadap elemen struktur. Validasi model analisis dilakukan untuk memastikan bahwa model numerik memenuhi ketentuan peraturan yang berlaku. Pemeriksaan meliputi partisipasi massa modal, periode alami struktur, gaya geser dasar, distribusi gaya geser tingkat, simpangan antar tingkat, kontribusi sistem ganda, serta ketidakberaturan horizontal dan vertikal berdasarkan [SNI 1726:2019](#). Jumlah ragam getar (*mode shapes*) ditentukan hingga mencapai akumulasi partisipasi massa modal minimum 90% pada masing-masing arah utama bangunan. Apabila gaya geser dasar hasil analisis dinamik lebih kecil daripada gaya geser dasar statik ekuivalen, maka hasil analisis diskalakan sesuai ketentuan [SNI 1726:2019](#) agar memenuhi persyaratan minimum gaya gempa desain. Hasil validasi tersebut selanjutnya menjadi dasar dalam mengevaluasi tingkat kinerja seismik struktur Gedung Rumah Sakit Umum Fandika Takengon. Kombinasi pembebanan yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 2.

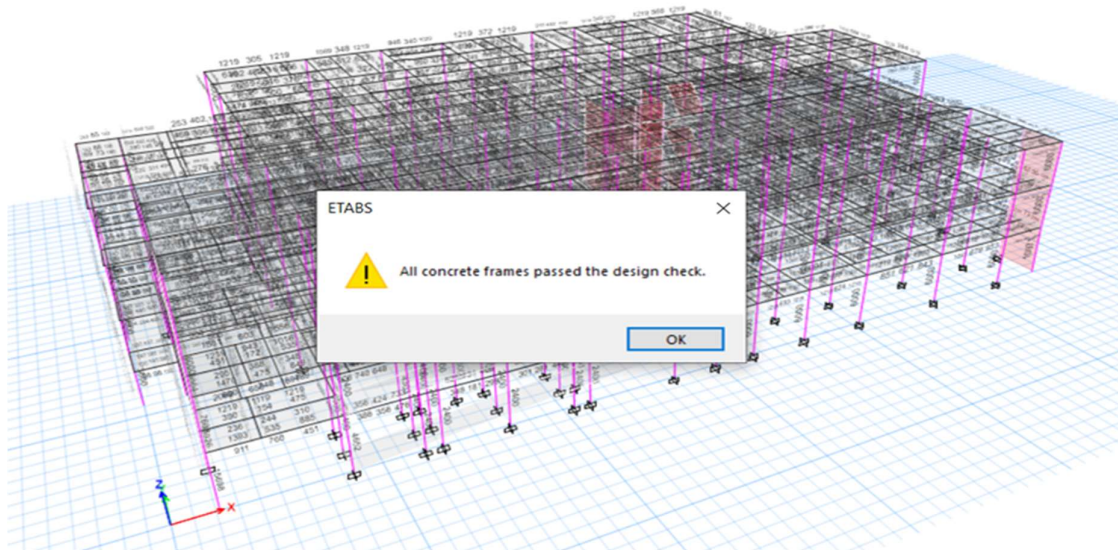
Tabel 2. Kombinasi pembebanan

Nomor	DL	SDL	LL	L _r	R	W _x	W _y	E _x	E _y
1	1.1	1.4	1.4						
2	2.1	1.2	1.2	1.6	0.5				
	2.2	1.2	1.2	1.6		0.5			
3	3.1	1.2	1.2	1	1.6				
	3.2	1.2	1.2		1.6	0.5			
	3.3	1.2	1.2		1.6		0.5		
	3.4	1.2	1.2		1.6	0.375	0.375		
	3.5	1.2	1.2	1	1.6				
	3.6	1.2	1.2		1.6	0.5			
	3.7	1.2	1.2		1.6		0.5		
	3.8	1.2	1.2		1.6	0.375	0.375		
4	4.1	1.2	1.2	1	0.5	1			
	4.2	1.2	1.2	1	0.5		1		
	4.5	1.2	1.2	1	0.5	0.75	0.75		
	4.3	1.2	1.2	1	0.5	1			
	4.4	1.2	1.2	1	0.5		1		
	4.6	1.2	1.2	1	0.5	0.75	0.75		
5	5.1	0.9	0.9			1			
	5.2	0.9	0.9				1		
	5.3	0.9	0.9			0.75	0.75		
6	6.1	1.3565	1.3565	1				1.3	0.39
	6.2	1.3565	1.3565	1				1.3	-0.39
	6.3	1.3565	1.3565	1				-1.3	0.39
	6.4	1.3565	1.3565	1				-1.3	-0.39
	6.5	1.3565	1.3565	1				0.39	1.3
	6.6	1.3565	1.3565	1				-0.39	1.3
	6.7	1.3565	1.3565	1				0.39	-1.3
	6.8	1.3565	1.3565	1				-0.39	-1.3
7	7.1	0.7435	0.7435					1.3	0.39
	7.2	0.7435	0.7435					1.3	-0.39
	7.3	0.7435	0.7435					-1.3	0.39

Nomor	DL	SDL	LL	L _r	R	W _x	W _y	E _x	E _y
7.4	0.7435	0.7435						-1.3	-0.39
7.5	0.7435	0.7435						0.39	1.3
7.6	0.7435	0.7435						-0.39	1.3
7.7	0.7435	0.7435						0.39	-1.3
7.8	0.7435	0.7435						-0.39	-1.3

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemeriksaan desain elemen pada ETABS menunjukkan bahwa seluruh elemen yang dimodelkan memenuhi persyaratan kapasitas untuk kombinasi pembebanan yang digunakan (Gambar 2). Evaluasi berikutnya difokuskan pada respons global dan ketidakberaturan struktur.



Gambar 2. Hasil pemeriksaan kapasitas elemen struktur pada ETABS

4.1. Massa struktur

Hasil analisis menunjukkan bahwa massa total struktur sebesar 8.033.998,51 kg. Koordinat rata-rata pusat massa pada arah X adalah 36,964 m, sedangkan koordinat rata-rata pusat kekakuan adalah 37,684 m. Perbedaan posisi tersebut menunjukkan adanya eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan. Eksentrisitas denah dapat memengaruhi respons torsi dan distribusi kerusakan struktur (Bhasker & Menon, 2020; Moon et al., 2018). Data massa, pusat massa, dan pusat kekakuan setiap lantai disajikan pada Tabel 3. Perbedaan posisi antara pusat massa dan pusat kekakuan menunjukkan adanya eksentrisitas denah yang menyebabkan struktur mengalami respons translasi dan rotasi secara bersamaan ketika menerima beban gempa. Semakin besar eksentrisitas tersebut, semakin besar pula kemungkinan terjadinya peningkatan simpangan pada sisi bangunan tertentu akibat efek torsi. Meskipun nilai eksentrisitas yang diperoleh masih berada dalam batas yang dapat diterima, kondisi ini menjadi salah satu penyebab munculnya ketidakberaturan torsi yang teridentifikasi pada hasil evaluasi. Temuan ini menunjukkan bahwa distribusi massa dan kekakuan perlu dipertimbangkan secara bersamaan pada tahap perencanaan untuk mengurangi konsentrasi gaya dalam dan deformasi lokal.

Tabel 3. Massa, pusat massa, dan pusat kekakuan struktur

Story	Mass X kg	Mass Y kg	XCM m	YCM m	XCR m	YCR m
Atap	1475552.57	1475552.57	31.0304	18.452	37.2004	16.3455
Lantai 4	2088997.09	2088997.09	37.8703	19.4548	38.2182	16.318
Lantai 3	2262213.69	2262213.69	39.4711	19.3812	37.8985	16.3327
Lantai 2	2207235.16	2207235.16	39.4848	19.5017	37.4178	16.7049
Jumlah	8033998.51	8033998.51				
Rata-rata			36.96415	19.19993	37.68373	16.42528

4.2. Gaya geser dasar

Gaya geser dasar hasil analisis dinamik (V_t) lebih kecil daripada gaya geser dasar statik ekuivalen. Oleh karena itu, respons dinamik diskalakan sesuai ketentuan SNI 1726:2019. Faktor skala yang diperoleh adalah 1,295 pada arah X dan 1,442 pada arah Y. Pada bangunan tidak beraturan, kontribusi ragam tinggi dapat menghasilkan distribusi respons yang lebih kompleks sehingga hasil analisis perlu ditafsirkan secara cermat (Kreslin & Fajfar, 2010; Ruggieri & Uva, 2024). Hasil analisis menunjukkan bahwa gaya geser dasar dari analisis respons spektrum lebih kecil dibandingkan hasil analisis statik ekuivalen sehingga diperlukan proses penskalaan (*scaling*) sesuai ketentuan SNI 1726:2019. Kondisi tersebut umum terjadi pada analisis dinamik karena respons struktur dipengaruhi oleh kontribusi beberapa ragam getar yang menyebabkan distribusi gaya gempa menjadi lebih realistis dibandingkan pendekatan statik. Setelah dilakukan penskalaan, gaya geser dasar yang digunakan telah memenuhi persyaratan minimum sehingga hasil evaluasi dapat digunakan sebagai dasar penilaian kinerja seismik struktur.

Tabel 4. Gaya geser dasar statik ekuivalen

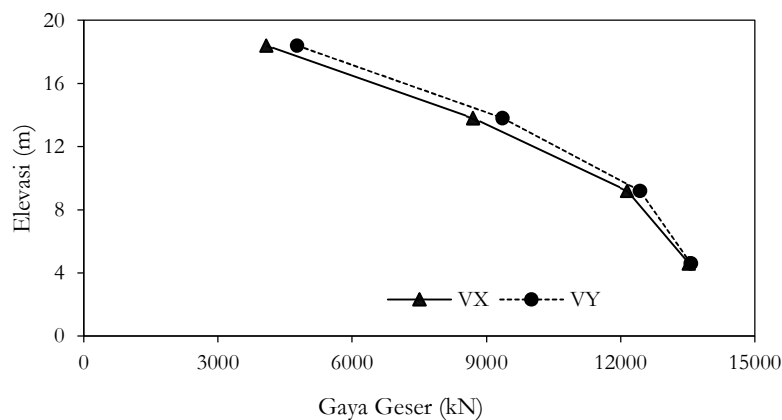
Arah Gempa	V (kN)
Eq S x	13658.33
Eq S y	13658.33

Tabel 5. Gaya geser dasar dinamik berdasarkan analisis respons spektrum

Output Case	Case Type	Step Type	Fx kN	Fy kN
EQ d x	LinResSpec	Max	10547.58	2324.51
EQ d y	LinResSpec	Max	23224.51	9469.53

4.3. Gaya geser lantai

Gaya geser tingkat diperoleh dari distribusi gaya geser dasar pada setiap lantai untuk masing-masing arah gempa. Nilai terbesar terjadi pada lantai 2, yaitu 13.522,52 kN pada arah X dan 13.569,53 kN pada arah Y. Perbandingan distribusi gaya geser tingkat disajikan pada Gambar 3 dan Tabel 6. Distribusi gaya geser tingkat menunjukkan kecenderungan meningkat dari lantai paling atas menuju lantai dasar. Pola tersebut sesuai dengan teori dinamika struktur, yaitu akumulasi massa dan gaya inersia menyebabkan gaya geser terbesar terjadi pada tingkat bawah bangunan. Kesesuaian distribusi gaya geser ini mengindikasikan bahwa model numerik mampu merepresentasikan mekanisme penyaluran gaya gempa secara rasional sesuai karakteristik sistem ganda yang digunakan.



Gambar 3. Perbandingan gaya geser tingkat pada arah X dan Y

Tabel 6. Gaya geser tingkat

Story	Case Type	Step Type	Elevation (m)	VX kN	VY kN
Atap	LinRespSpec	Max	18.4	4079.732	4767.976
Lantai 4	LinRespSpec	Max	13.8	8701.564	9358.135
Lantai 3	LinRespSpec	Max	9.2	12140.58	12433.7
Lantai 2	LinRespSpec	Max	4.6	13522.52	13568.53

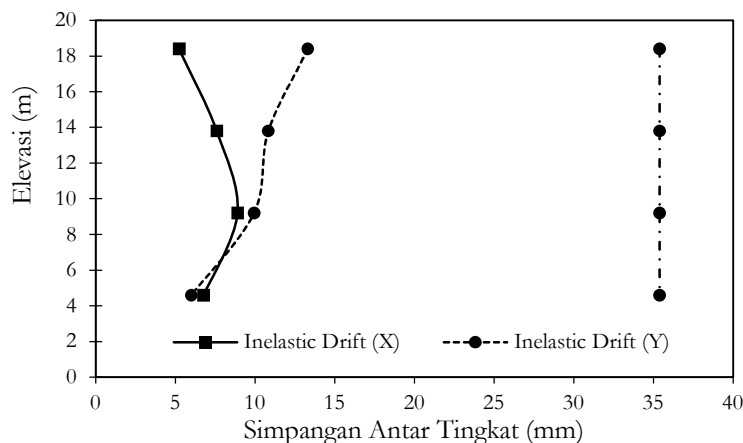
4.4. Simpangan antar tingkat dan perpindahan

Simpangan antar tingkat maksimum terjadi pada lantai 3, yaitu 8,903 mm pada arah X dan 9,940 mm pada arah Y. Perpindahan maksimum struktur adalah 7,767 mm pada arah X dan 10,9 mm pada arah Y. Seluruh nilai tersebut berada di bawah batas izin [SNI 1726:2019](#), yang menunjukkan bahwa struktur memiliki pengendalian deformasi yang memadai. Meskipun demikian, lokasi ketidakberaturan tetap perlu diperhatikan karena dapat menimbulkan konsentrasi simpangan secara lokal ([Blasi et al., 2024](#); [Mehta & Chey, 2023](#)).

Tabel 7. Simpangan antar tingkat dan perpindahan struktur

Elevasi (m)	<i>Displacement</i>		<i>Elastic Drift</i>		h (mm)	<i>Inelastic Drift</i>		<i>Drift Limit</i> (mm)	Cek
	δ_{ex} (mm)	δ_{ey} (mm)	δ_{ex} (mm)	δ_{ey} (mm)		Δ_x (mm)	Δ_y (mm)		
18,4	7.767	10.929	1.426	3.632	4600	5.229	13.317	35.385	OK
13,8	6.341	7.297	2.070	2.952	4600	7.590	10.824	35.385	OK
9,2	4.271	4.345	2.428	2.711	4600	8.903	9.940	35.385	OK
4,6	1.843	1.634	1.843	1.634	4600	6.758	5.991	35.385	OK

Nilai simpangan antar tingkat yang relatif kecil menunjukkan bahwa kombinasi SRPMK dan dinding geser mampu memberikan kekakuan lateral yang memadai terhadap beban gempa. Walaupun demikian, simpangan terbesar tetap terjadi pada lantai tengah bangunan sebagai akibat distribusi kekakuan dan massa sepanjang tinggi struktur. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa keberadaan dinding geser memberikan kontribusi signifikan dalam membatasi deformasi lateral sehingga potensi kerusakan pada elemen nonstruktural juga dapat diminimalkan. Hasil ini sejalan dengan berbagai penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa sistem ganda memberikan pengendalian simpangan yang lebih baik dibandingkan sistem rangka pemikul momen tanpa dinding geser.



Gambar 4. Perbandingan simpangan antar tingkat maksimum pada arah X dan Y

4.5. Sistem ganda

Hasil analisis menunjukkan bahwa rangka pemikul momen mampu menahan lebih dari 25% gaya gempa desain pada kedua arah utama bangunan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 8. Dengan demikian, struktur memenuhi ketentuan sistem ganda sebagaimana dipersyaratkan dalam [SNI 1726:2019](#). Persentase kontribusi tersebut menunjukkan bahwa mekanisme pembagian gaya lateral antara SRPMK dan dinding geser telah bekerja secara efektif. Dinding geser berfungsi sebagai elemen utama dalam meningkatkan kekakuan lateral dan mengurangi simpangan bangunan, sedangkan SRPMK menyediakan daktilitas dan kapasitas disipasi energi ketika struktur mengalami pembebanan gempa yang besar. Sinergi kedua sistem tersebut sangat penting pada bangunan rumah sakit yang dituntut tetap memiliki tingkat keamanan dan keberfungsian tinggi setelah terjadi gempa.

Dominasi dinding geser pada arah Y yang mencapai lebih dari 60% menunjukkan bahwa konfigurasi struktur memiliki kekakuan lateral yang lebih besar pada arah tersebut dibandingkan arah X. Sebaliknya, kontribusi SRPMK yang lebih besar pada arah X mengindikasikan bahwa rangka masih berperan secara

signifikan dalam menahan gaya lateral. Perbedaan distribusi gaya tersebut dipengaruhi oleh tata letak dinding geser, distribusi kekakuan, dan konfigurasi denah bangunan. Oleh karena itu, keseimbangan distribusi kekakuan menjadi aspek penting dalam meminimalkan potensi ketidakberaturan torsi pada bangunan.

Secara umum, hasil penelitian ini konsisten dengan penelitian terdahulu yang melaporkan bahwa penggunaan sistem ganda mampu meningkatkan kekakuan lateral dan mengurangi simpangan antar tingkat dibandingkan sistem rangka pemikul momen tanpa dinding geser. Namun demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa terpenuhinya persyaratan respons global belum sepenuhnya menghilangkan potensi ketidakberaturan lokal, seperti ketidakberaturan torsi dan ketidakberaturan massa. Temuan tersebut memberikan tambahan pemahaman bahwa evaluasi kinerja seismik bangunan eksisting tidak hanya perlu mempertimbangkan parameter global, tetapi juga harus mencakup identifikasi ketidakberaturan struktur yang dapat memengaruhi perilaku lokal saat terjadi gempa kuat.

Tabel 8. Kontribusi elemen penahan gaya gempa

Arah	Gaya yang diterima (kN)		Persentase penahan gaya gempa (%)	
	Rangka	Shear Wall	Rangka	Shear Wall
Gempa X	8880.115	5005.10	63.95%	36.05%
Gempa Y	5832.818	9770.19	37.38%	62.62%

4.6. Ketidakberaturan torsi

Rasio simpangan antar tingkat maksimum terhadap simpangan rata-rata melebihi 1,2 pada beberapa lantai, sehingga struktur dikategorikan mengalami ketidakberaturan torsi. Pada lantai 4, ketidakberaturan torsi tidak terjadi pada arah X, tetapi terjadi pada arah Y. Lantai 2, lantai 3, dan atap mengalami ketidakberaturan torsi berlebihan pada kedua arah karena rasionya melebihi 1,4. Kriteria ini berlaku pada struktur dengan diafragma kaku atau semikaku. Hasil tersebut menegaskan bahwa eksentrisitas denah meningkatkan ketidakseragaman simpangan dan tuntutan seismik pada komponen struktural maupun nonstruktural (Aldeka et al., 2022; Satheesh et al., 2020).

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa ketidakberaturan torsi terjadi pada beberapa lantai akibat adanya eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan struktur. Kondisi tersebut menyebabkan respons translasi disertai rotasi sehingga distribusi simpangan menjadi tidak merata pada setiap sisi bangunan. Akibatnya, elemen struktur yang berada pada sisi dengan simpangan terbesar akan menerima tuntutan gaya dalam yang lebih tinggi dibandingkan elemen lainnya. Pada bangunan rumah sakit, kondisi ini perlu menjadi perhatian karena dapat memengaruhi kinerja elemen struktural maupun nonstruktural yang berhubungan dengan keberlangsungan fungsi bangunan pascagempa. Meskipun struktur secara keseluruhan memenuhi persyaratan respons global SNI 1726:2019, keberadaan ketidakberaturan torsi menunjukkan bahwa evaluasi kinerja seismik tidak cukup hanya didasarkan pada parameter global seperti gaya geser dasar dan simpangan antar tingkat. Pemeriksaan distribusi kekakuan dan tata letak elemen penahan gaya lateral perlu dilakukan sejak tahap perencanaan untuk meminimalkan efek torsi pada bangunan dengan konfigurasi denah yang kompleks.

Tabel 9. Ketidakberaturan torsi pada arah X dan Y

Lantai	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek
Atap	1.708	H.1b	1.925	H.1b
4	1.192	OK	1.334	H.1a
3	1.469	H.1b	1.547	H.1b
2	2	H.1b	2	H.1b

4.7. Ketidakberaturan sudut dalam

Ketidakberaturan sudut dalam terjadi apabila dimensi proyeksi denah dari lokasi sudut dalam melebihi 15% dimensi denah pada arah yang ditinjau. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa struktur tidak mengalami ketidakberaturan sudut dalam pada arah X. Sebaliknya, pada arah Y diperoleh rasio sebesar 36%, sehingga struktur dikategorikan mengalami ketidakberaturan sudut dalam (Tabel 10). Ketidakberaturan sudut dalam yang teridentifikasi pada arah Y menunjukkan bahwa konfigurasi denah bangunan menghasilkan konsentrasi tegangan pada area sudut dalam ketika menerima pembebanan gempa. Kondisi ini dapat meningkatkan respons lokal akibat interaksi antara gaya geser dan momen torsi pada area tersebut. Oleh karena itu, daerah sudut dalam memerlukan perhatian khusus pada tahap *detailing* tulangan serta

pemeriksaan kapasitas elemen di sekitarnya untuk mengurangi potensi kerusakan lokal selama gempa kuat. Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun respons global bangunan memenuhi persyaratan peraturan, konfigurasi geometrik denah tetap berpengaruh terhadap distribusi gaya internal. Oleh karena itu, evaluasi ketidakberaturan denah menjadi bagian penting dalam penilaian kinerja seismik bangunan dengan bentuk denah yang tidak sederhana.

Tabel 10. Pemeriksaan ketidakberaturan sudut dalam

Syarat 1					
Lx (m)	Ly (m)	Px (m)	Py (m)	Px / Lx	Py / Ly
75.15	38.84	10.67	13.84	14 %	36%
Cek				OK	H.2

4.8. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak

Kekakuan lateral setiap lantai tidak kurang dari 70% kekakuan lantai di atasnya dan tidak kurang dari 80% rata-rata kekakuan tiga lantai di atasnya pada arah X maupun Y. Dengan demikian, struktur tidak mengalami ketidakberaturan tingkat lunak. Tidak ditemukannya tingkat lunak mengurangi risiko konsentrasi kerusakan pada satu lantai, yang umumnya berkaitan dengan peningkatan kerentanan seismik dan kebutuhan perkuatan (Koçak et al., 2015; Rooshenas, 2020). Tidak ditemukannya ketidakberaturan tingkat lunak menunjukkan bahwa distribusi kekakuan antar lantai relatif seragam sepanjang tinggi bangunan. Kondisi ini mengurangi kemungkinan terjadinya konsentrasi deformasi pada satu lantai tertentu yang umumnya menjadi penyebab mekanisme keruntuhan lokal saat terjadi gempa besar. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa konfigurasi sistem ganda yang diterapkan mampu mempertahankan kontinuitas kekakuan struktur meskipun bangunan mengalami perubahan jumlah lantai dari desain awal. Keberhasilan menghindari terbentuknya tingkat lunak juga menunjukkan bahwa perubahan konfigurasi bangunan tidak menyebabkan penurunan kekakuan yang signifikan pada salah satu lantai. Dengan demikian, risiko terbentuknya mekanisme *soft-story collapse* dapat diminimalkan.

Tabel 11. Pemeriksaan ketidakberaturan tingkat lunak

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan kN/m	Cek	Kekakuan kN/m	Cek
Atap	890774.277		1385368.142	
4	3923648.579	OK	2538064.584	OK
3	3047743.263	OK	3130774.574	OK
2	5101003.453	OK	7692394.008	OK

4.9. Ketidakberaturan massa

Ketidakteraturan massa terjadi apabila massa efektif suatu tingkat melebihi 150% massa efektif tingkat yang berdekatan. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa massa efektif lantai 2 melebihi 150% massa tingkat yang berdekatan. Oleh karena itu, struktur dikategorikan mengalami ketidakberaturan massa pada lantai 2 (Tabel 12). Kondisi ini dapat meningkatkan konsentrasi respons dinamik sehingga perlu dipertimbangkan dalam pemeriksaan detail elemen dan distribusi gaya lateral (Annapurna et al., 2023; Nezhad & Poursha, 2015; Oyguc et al., 2018).

Tabel 12. Pemeriksaan ketidakberaturan massa

Lantai	Massa kg	Cek
Atap	1479337.07	OK
Lantai 4	2175162.82	OK
Lantai 3	2357287.97	OK
Lantai 2	2297968.06	OK
Lantai 1	303254.39	OK

Ketidakteraturan massa pada lantai dua menunjukkan bahwa distribusi massa vertikal belum sepenuhnya seragam. Perbedaan massa tersebut meningkatkan gaya inersia yang bekerja pada lantai bersangkutan sehingga dapat menyebabkan redistribusi gaya lateral selama gempa. Akibatnya, elemen struktur pada lantai tersebut berpotensi menerima tuntutan gaya yang lebih besar dibandingkan lantai lainnya. Meskipun hasil analisis menunjukkan bahwa struktur masih memenuhi persyaratan [SNI 1726:2019](#), keberadaan ketidakberaturan massa mengindikasikan perlunya pemeriksaan lebih rinci terhadap kapasitas elemen vertikal dan sambungan struktur pada lantai tersebut. Selain itu, distribusi massa yang lebih seragam pada tahap perencanaan dapat menjadi salah satu strategi untuk meningkatkan kinerja seismik bangunan.

4.10. Perbandingan tulangan

Hasil analisis menunjukkan bahwa desain hasil evaluasi menggunakan tulangan yang lebih efisien pada beberapa elemen kolom dan balok dibandingkan desain awal. Perbandingan kebutuhan tulangan kolom dan balok masing-masing disajikan pada Tabel 13 dan Tabel 14. Perbandingan kebutuhan tulangan pada penelitian ini tidak dimaksudkan sebagai tujuan utama penelitian, melainkan sebagai verifikasi tambahan terhadap hasil evaluasi kinerja struktur. Evaluasi tersebut bertujuan untuk mengetahui apakah perubahan konfigurasi bangunan dari enam lantai menjadi empat lantai memengaruhi kebutuhan kapasitas elemen struktur.

Tabel 13. Perbandingan tulangan kolom

No.	Nama	Tata letak	Perencanaan		Penulis	
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
1	KL1 750 x 800	Tul. Utama	32D22	32D22	32D16	32D16
		Tul. Sengkang	Ø10 - 100	Ø10 - 100	Ø10 - 150	Ø10 - 150
2	KL2 Ø800	Tul. Utama	14D22	14D22	14D22	14D22
		Tul. Sengkang	Ø10 - 100	Ø10 - 100	Ø10 - 100	Ø10 - 150
3	KL3 450 x 800	Tul. Utama	20D22	20D22	20D16	20D16
		Tul. Sengkang	Ø10 - 100	Ø10 - 100	Ø10 - 100	Ø10 - 150
4	KL4 400 x 600	Tul. Utama	20D22	20D22	20D16	20D16
		Tul. Sengkang	Ø10 - 100	Ø10 - 100	Ø10 - 100	Ø10 - 150

Tabel 14. Perbandingan tulangan balok

No.	Nama	Tata letak	Perencanaan		CSI Detailing	
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
1	BL1 450 x 850	Tul. Atas	14D19	8D19	14D19	6D19
		Tul. Pembagi	4D16	4D16	4D16	4D16
		Tul. Bawah	8D19	10D19	8D19	8D19
		Tul. Sengkang	Ø10 - 100	Ø10 - 100	Ø10 - 150	Ø10 - 150
2	BL2 300x 600	Tul. Atas	6D19	3D19	5D19	3D19
		Tul. Pembagi	2D16	2D16	-	-
		Tul. Bawah	5D19	5D19	4D19	4D19
		Tul. Sengkang	Ø10 - 100	Ø10 - 100	Ø10 - 75	Ø10-175
3	BL3 250 x 500	Tul. Atas	6D16	3D16	4D16	2D16
		Tul. Pembagi	2D13	2D13	-	-
		Tul. Bawah	4D16	5D16	2D16	2D16
		Tul. Sengkang	Ø10 - 100	Ø10 - 150	Ø10 - 100	Ø10-125
4	BL4 200 x 400	Tul. Atas	2D16	2D16	2D16	2D16
		Tul. Pembagi	2D13	2D13	-	-
		Tul. Bawah	2D16	2D16	2D16	2D16
		Tul. Sengkang	Ø10 - 100	Ø10 - 150	Ø10 - 100	Ø10-100

Hasil analisis menunjukkan bahwa beberapa elemen masih memenuhi persyaratan kapasitas meskipun menggunakan kebutuhan tulangan yang lebih efisien dibandingkan desain awal. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan konfigurasi bangunan menyebabkan penurunan tuntutan gaya dalam pada beberapa elemen tanpa mengurangi tingkat keamanan struktur. Temuan tersebut memberikan implikasi

praktis bahwa evaluasi kinerja seismik tidak hanya berfungsi untuk memverifikasi keamanan struktur eksisting, tetapi juga dapat menjadi dasar dalam melakukan optimasi desain pada bangunan yang mengalami perubahan konfigurasi selama tahap perencanaan. Namun demikian, optimasi kebutuhan tulangan tetap harus memenuhi seluruh persyaratan detailing, daktilitas, dan kapasitas struktur sebagaimana diatur dalam SNI 2847:2019 sehingga tingkat keamanan bangunan tetap terjamin. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa evaluasi parameter respons global, seperti gaya geser dasar, simpangan antar tingkat, dan kontribusi sistem ganda, perlu dilengkapi dengan pemeriksaan ketidakberaturan struktur untuk memperoleh gambaran kinerja seismik yang lebih komprehensif. Pada penelitian ini, meskipun seluruh parameter global telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019, masih ditemukan beberapa ketidakberaturan lokal yang berpotensi memengaruhi distribusi gaya internal selama gempa kuat. Oleh karena itu, evaluasi bangunan eksisting sebaiknya tidak hanya berorientasi pada pemenuhan persyaratan global, tetapi juga mempertimbangkan perilaku lokal yang dapat memengaruhi tingkat keandalan struktur dalam jangka panjang.

5. SIMPULAN

Penelitian ini mengevaluasi kinerja seismik Gedung Rumah Sakit Umum Fandika Takengon setelah perubahan konfigurasi struktur dari enam lantai menjadi empat lantai menggunakan analisis respons spektrum berdasarkan SNI 1726:2019. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur memenuhi persyaratan respons seismik global, yang ditunjukkan oleh terpenuhinya persyaratan gaya geser dasar, partisipasi massa modal, simpangan antar tingkat, serta kontribusi Sistem Ganda yang memenuhi ketentuan bahwa sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) mampu menahan lebih dari 25% gaya gempa desain pada kedua arah utama bangunan. Berdasarkan hasil evaluasi yang telah dilakukan juga mengidentifikasi adanya ketidakberaturan torsi pada beberapa lantai, ketidakberaturan massa pada lantai dua, serta ketidakberaturan sudut dalam pada arah Y. Temuan tersebut menunjukkan bahwa pemenuhan persyaratan respons global belum sepenuhnya menghilangkan potensi kerentanan lokal yang dapat memengaruhi distribusi gaya internal dan perilaku struktur selama gempa kuat. Oleh karena itu, evaluasi terhadap ketidakberaturan struktur perlu menjadi bagian penting dalam proses verifikasi bangunan eksisting yang mengalami perubahan konfigurasi.

Kontribusi ilmiah penelitian ini terletak pada penyajian evaluasi kinerja seismik secara komprehensif terhadap bangunan rumah sakit eksisting yang mengalami perubahan konfigurasi struktur, dengan mengintegrasikan pemeriksaan parameter respons global, kontribusi sistem ganda, serta ketidakberaturan horizontal dan vertikal berdasarkan SNI 1726:2019. Hasil penelitian ini memberikan informasi yang dapat digunakan sebagai acuan dalam evaluasi bangunan penting yang mengalami perubahan desain sebelum dioperasikan. Penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena evaluasi dilakukan menggunakan analisis elastis berbasis respons spektrum sehingga perilaku struktur setelah mengalami pelelehan belum dapat dievaluasi secara menyeluruh. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan analisis *pushover* maupun *nonlinear time history* untuk mengevaluasi kapasitas pasca-elastis, mekanisme keruntuhan, serta tingkat kinerja struktur secara lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Agha, W., & Umamaheswari, N. (2021). Analytical study of irregular reinforced concrete building with shear wall and dual framed-shear wall system by using equivalent static and response spectrum method. *Materials Today: Proceedings*, 43, 2232–2241. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.525>
- Aldeka, A. B., Tziavos, N. I., Gkantou, M., Dirar, S., & Chan, A. H. C. (2022). Seismic design of non-structural components mounted on irregular reinforced concrete buildings. *Journal of Building Engineering*, 46, 103783. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103783>
- Annapurna, D., Yaqubi, E., Anuradha, P., & Radhika, K. L. (2023). Seismic response of RC framed irregular structures. *Materials Today: Proceedings*, 93, 530–537. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.09.028>
- Ashary, A., Nasir, M., & Muis, A. (2024). Analisis struktur bangunan gedung menggunakan aplikasi ETABS V.20 (Studi kasus Gedung Kantor Cabang BRI Jalan Karaeng Burane Kota Parepare). *Innovative: Journal of Social Science Research*, 4(4), 15274–15283. <https://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/14493>
- Athanassiadou, C. J. (2008). Seismic performance of R/C plane frames irregular in elevation. *Engineering Structures*, 30(5), 1250–1261. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.07.015>

- Badan Standardisasi Nasional. (2019a). Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (SNI 2847:2019).
- Badan Standardisasi Nasional. (2019b). Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung (SNI 1726:2019).
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727:2020).
- Bhasker, R., & Menon, A. (2020). Characterization of ground motion intensity for the seismic fragility assessment of plan-irregular RC buildings. *Structures*, 27, 1763–1776. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.08.019>
- Blasi, G., Scarlino, A. S., Chirivì, S., Perrone, D., & Aiello, M. A. (2024). Seismic response of irregular RC buildings designed for gravity and seismic loads. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 22, 5231–5257. <https://doi.org/10.1007/s10518-024-01971-4>
- Hayu, M. C. W. T., Nugraheni, A., Widjaja, W. S., & Setiadi, B. (2023). Perencanaan struktur gedung rumah sakit dengan shearwall menggunakan pemodelan ETABS 2018 V18.1.0. *G-SMART*, 6(2), 94–108. <https://doi.org/10.24167/gsmart.v6i2.4704>
- Isdyanto, A., Lopa, B., & Barat, S. (2021). Analisis struktur bangunan Rumah Sakit Pratama Kabupaten Sinjai dengan SAP2000 versi 14. *Bandar: Journal of Civil Engineering*, 3(2), 43–50. <https://ojs.unsulbar.ac.id/index.php/bjce/article/view/1143>
- Koçak, A., Zengin, B., & Kadioğlu, F. (2015). Performance assessment of irregular RC buildings with shear walls after earthquake. *Engineering Failure Analysis*, 55, 157–168. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.05.016>
- Kreslin, M., & Fajfar, P. (2010). Seismic evaluation of an existing complex RC building. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8(2), 363–385. <https://doi.org/10.1007/s10518-009-9155-0>
- Landge, M. V., & Ingle, R. K. (2021). Comparative study of floor response spectra for regular and irregular buildings subjected to earthquake. *Asian Journal of Civil Engineering*, 22(1), 49–58. <https://doi.org/10.1007/s42107-020-00297-1>
- Landge, M. V., & Ingle, R. K. (2022). Tri-directional floor response spectra in irregular building. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 103(1), 57–69. <https://doi.org/10.1007/s40030-021-00600-6>
- Manoukas, G. E. (2018). Evaluation of a multimode pushover procedure for asymmetric in plan and non-regular in elevation R/C buildings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 115, 742–775. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.09.034>
- Mehta, V., & Chey, M. H. (2023). Seismic performance and assessment of RC framed structure with geometric irregularities. *Asian Journal of Civil Engineering*, 24(2), 479–496. <https://doi.org/10.1007/s42107-022-00513-0>
- Moon, D.-S., Lee, Y.-J., & Lee, S. (2018). Fragility analysis of space reinforced concrete frame structures with structural irregularity in plan. *Journal of Structural Engineering*, 144(8), 04018112. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0002092](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002092)
- Nezhad, M. E., & Poursha, M. (2015). Seismic evaluation of vertically irregular building frames with stiffness, strength, combined-stiffness-and-strength and mass irregularities. *Earthquakes and Structures*, 9(2), 353–373. <https://doi.org/10.12989/eas.2015.9.2.353>
- Oyguc, R., Toros, C., & Abdelnaby, A. E. (2018). Seismic behavior of irregular reinforced-concrete structures under multiple earthquake excitations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 104, 15–32. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.10.002>
- Panjaitan, S. K. (2021). Analisis struktur bangunan bertingkat menggunakan ETABS (Studi kasus RS Regina Maris Medan). Skripsi sarjana, Universitas Medan Area.
- Rooshenas, A. (2020). Comparing pushover methods for irregular high-rise structures, partially infilled with masonry panels. *Structures*, 28, 337–353. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.08.073>
- Ruggieri, S., & Uva, G. (2024). Extending the concepts of response spectrum analysis to nonlinear static analysis: Does it make sense? *Innovative Infrastructure Solutions*, 9, 235. <https://doi.org/10.1007/s41062-024-01561-y>

- Satheesh, A. J., Jayalekshmi, B. R., & Venkataramana, K. (2020). Effect of in-plan eccentricity on vertically stiffness irregular buildings under earthquake loading. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 137, 106251. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106251>
- Siva Naveen, E., Abraham, N. M., & Anitha Kumari, S. D. (2019). Analysis of irregular structures under earthquake loads. *Procedia Structural Integrity*, 14, 806–819. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.07.059>
- Ulza, A., Afifuddin, M., Aulia, T. B., Huzaim, H., & Abdullah, A. (2025). Analisis respons spektrum: State-of-the-art dan pengembangan kerangka pemrograman untuk komputasi. *Jurnal Teknik Sipil*, 14(1), 23–32. <https://doi.org/10.24815/jts.v14i1.44764>