

ANALISIS DINAMIS STRUKTUR BANGUNAN RUMAH SAKIT MITRA KELUARGA TERHADAP BEBAN GEMPA DENGAN PENDEKATAN RIWAYAT WAKTU

Renaldi Ardiansyah¹, Yehezkiel Septian Yoganata²

¹Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang

¹renalldi.ardiansyah@gmail.com, ²yehezkielseptian@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan infrastruktur layanan kesehatan di wilayah rawan gempa seperti Sidoarjo menuntut perencanaan struktur bangunan yang tidak hanya memenuhi aspek kekuatan teknis, tetapi juga mampu mempertahankan fungsi vitalnya selama dan sesudah terjadinya gempa bumi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi respons dinamis struktur bangunan rumah sakit terhadap beban gempa menggunakan metode *Time History Analysis*, yang disimulasikan melalui *software* ETABS Ultimate V 22.4.0. Sistem struktur yang digunakan adalah sistem ganda, yaitu kombinasi antara Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK), yang dirancang untuk mereduksi deformasi dan mendistribusikan energi gempa secara merata ke seluruh elemen struktur. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur memenuhi kriteria minimum partisipasi massa berdasarkan SNI 1726:2019, yaitu sebesar 96,20% pada arah X dan 96,60% pada arah Y, dengan periode getar alami mode pertama sebesar 0,814 detik. Dari sebelas gempa riwayat waktu yang dianalisis, gempa Kobe menghasilkan gaya geser dasar terbesar, yakni 6918,2 kN pada arah X dan 3382,7 kN pada arah Y. Simpangan antar lantai maksimum juga terjadi akibat gempa yang sama, masing-masing sebesar 0,003617 meter (arah X) dan 0,002068 meter (arah Y). Berdasarkan klasifikasi tingkat kinerja struktur menurut ATC-40, bangunan berada dalam kategori Immediate Occupancy (IO), yang mengindikasikan bahwa bangunan tetap dapat difungsikan setelah gempa tanpa mengalami kerusakan struktural yang signifikan. Dengan demikian, penerapan sistem ganda SRPMK dan SDSK terbukti efektif dalam menjaga stabilitas dan kinerja struktur terhadap beban gempa. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perencanaan dan desain bangunan rumah sakit bertingkat di wilayah dengan potensi kegempaan tinggi seperti Sidoarjo.

Kata kunci : analisis dinamis; perilaku struktur; analisis riwayat waktu; dan beban gempa

ABSTRACT

The development of healthcare infrastructure in earthquake-prone regions such as Sidoarjo requires structural design that not only meets technical strength standards but also ensures the building's vital functions can be maintained during and after a seismic event. In response to these conditions, this study aims to evaluate the dynamic response of the hospital structure under seismic loads using the Time History Analysis method, simulated through ETABS Ultimate software version 22.4.0. The structural system implemented is a dual system, consisting of a Special Moment Resisting Frame (SMRF) and a Special Structural Wall System (SSWS), designed to minimize deformation and distribute seismic energy effectively throughout the structure. The analysis results indicate that the structure satisfies the minimum mass participation criteria as stated in SNI 1726:2019, achieving 96.20% in the X direction and 96.60% in the Y-direction, with a fundamental natural period of 0.814 seconds for the first mode. Among the eleven earthquake records analyzed, the Kobe earthquake produced the highest base shear forces, recorded at 6918.2 kN in the X direction and 3382.7 kN in the Y-direction. The maximum inter-story drift also occurred during the Kobe earthquake, with displacements of 0.003617 meters (X direction) and 0.002068 meters (Y-direction). Based on the structural performance classification from ATC-40, the building falls into the Immediate Occupancy (IO) category, indicating that it remains functional post-earthquake without experiencing significant structural damage. Therefore, the application of the dual system (SMRF and SSWS) is proven effective in maintaining the building's performance and stability under seismic loads. This study is expected to serve as a reference for the structural design of multi-story hospital buildings in earthquake-prone areas such as Sidoarjo.

Keywords : dynamic analysis; structural behavior; time history analysis; earthquake loads

1. PENDAHULUAN

Wilayah Sidoarjo dikenal sebagai kawasan dengan tingkat aktivitas seismik tinggi serta dipengaruhi oleh penurunan tanah akibat fenomena Lumpur Lapindo. Kondisi ini menuntut perencanaan struktur bangunan yang tidak hanya kuat secara teknis, tetapi juga mampu mempertahankan fungsi vital, terutama pada fasilitas kesehatan seperti Rumah Sakit Mitra Keluarga Sidoarjo. Berdasarkan data BMKG [5] dan studi terbaru [10], potensi gempa di wilayah ini dapat mencapai magnitudo 6–8, disertai penurunan tanah hingga 1,5 cm/tahun [11], yang berdampak langsung pada kestabilan struktur bangunan.

Analisis riwayat waktu (*time history analysis*) menjadi metode yang relevan untuk mengevaluasi respons dinamis struktur secara rinci terhadap beban gempa, khususnya bila dibandingkan dengan metode statik konvensional [12]. Simulasi menggunakan perangkat lunak ETABS memungkinkan perancang untuk mengevaluasi distribusi gaya, deformasi, dan titik lemah struktur secara menyeluruh [12].

Penerapan sistem ganda SRPMK dan SDSK terbukti efektif dalam meningkatkan ketahanan struktur terhadap gempa dan deformasi lateral [14]. Dalam konteks ini, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa dinamis struktur Rumah Sakit Mitra Keluarga menggunakan metode *time history* dan menilai efektivitas sistem ganda tersebut terhadap beban gempa dan dampak penurunan tanah. Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi bagi pengembangan bangunan rumah sakit tahan gempa di wilayah rawan seperti Sidoarjo.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan analisis struktur metode *Time History*, analisis dengan *software* ETABS, evaluasi kinerja struktur menurut SNI 1725:2019, serta diagram alir penelitian untuk menganalisis kinerja dinamis struktur bangunan Rumah Sakit Mitra Keluarga Sidoarjo terhadap beban gempa menggunakan metode riwayat waktu dan perangkat lunak ETABS, menganalisis deformasi dan perpindahan lateral pada struktur bangunan dengan penerapan sistem ganda Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK). Serta menganalisis efektivitas sistem ganda Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK) dalam meningkatkan ketahanan bangunan Rumah Sakit Mitra Keluarga Sidoarjo terhadap gempa bumi.

Analisis Struktur Metode Time History

Dalam metode analisis riwayat waktu (*time history analysis*), sesuai dengan ketentuan pada SNI 1726-2019

Pasal 11.2.2, minimal diperlukan 11 rekaman atau simulasi riwayat waktu percepatan gerak tanah horizontal yang dipilih dari berbagai kejadian gempa, dengan magnitudo dan jarak sumber gempa (seperti sesar, patahan, atau subduksi) yang relevan dan konsisten memengaruhi gerakan tanah pada gempa MCER. Pada penelitian ini, percepatan gempa yang digunakan dalam analisis riwayat waktu dipilih karena kemiripannya dalam hal jenis dan karakteristik tanah, yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. 1 Data Rekaman Gempa Riwayat Waktu

Data Gempa	Arah	PGA Max	Magnitudo	Durasi (det.)
Chichi	X	0.28177000	7.62	89.97
	Y	0.16548110		
Imperial Valley	X	0.28079550	6.95	53.71
	Y	0.17813670		
Duzce	X	0.03795650	7.14	86.16
	Y	0.00823650		
Kobe	X	0.83422890	6.9	149.88
	Y	0.33891180		
Landers	X	0.72516460	7.28	48.095
	Y	0.82325670		
San Fernando	X	0.10417850	6.61	27.288
	Y	0.05452403		
Iwate	X	0.23745680	6.9	299.411
	Y	0.10543560		
Northridge	X	0.09144821	6.69	39.843
	Y	0.04658558		
Loma Prieta	X	0.22031320	6.93	35.835
	Y	0.08325274		
Chuetsu	X	0.07325467	6.8	164.637
	Y	0.02125984		
Tottori	X	0.06224926	6.61	140.864
	Y	0.04015567		

Sumber: *PEER GroundMotion Database 2025*

Analisis Dengan Software ETABS

Setelah permodelan tiga dimensi selesai diterapkan dan diintegrasikan ke dalam *software* ETABS, proses berikutnya adalah menjalankan analisis menggunakan program tersebut.

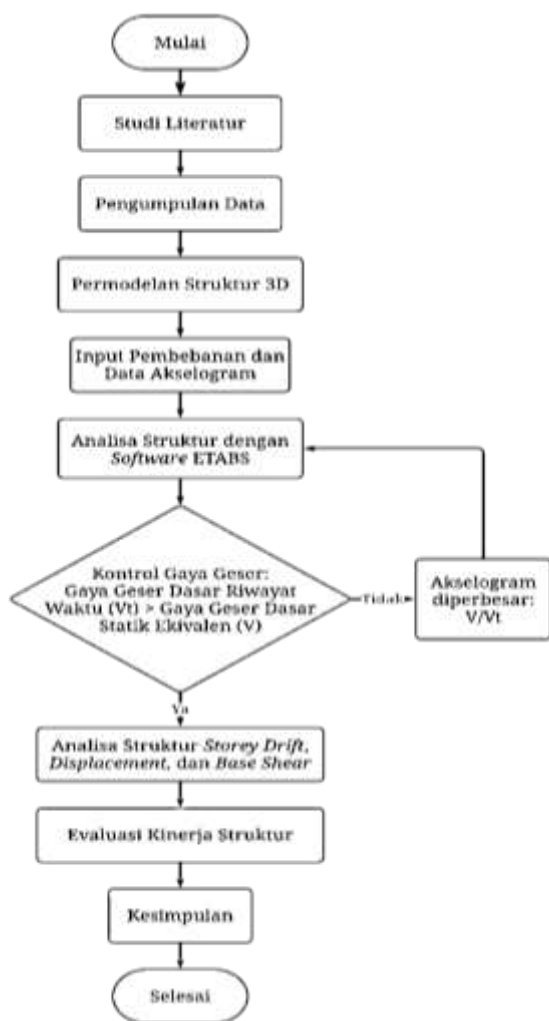
Evaluasi Kinerja Struktur Menurut SNI 1726:2019

Analisis riwayat waktu digunakan sebagai dasar evaluasi kinerja seismik struktur, dengan meninjau respons berupa simpangan total dan antar tingkat. Untuk memperoleh hasil yang representatif, dihitung nilai rata-rata dari respons struktur terhadap sejumlah akselerogram input. Evaluasi lanjutan dilakukan berdasarkan hasil keluaran ETABS, mencakup storey drift, perpindahan, dan gaya geser dasar, melalui pemeriksaan dinamis yang meliputi:

1. Identifikasi ragam getar alami hingga partisipasi massa kumulatif mencapai 100%, sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1;
2. Penyesuaian gaya geser dasar (V_t) apabila hasil analisis ragam $< 100\%$ gaya geser dari metode statik ekuivalen, dengan mengalikan V_t terhadap rasio V/V_t .

Diagram Alir Penelitian

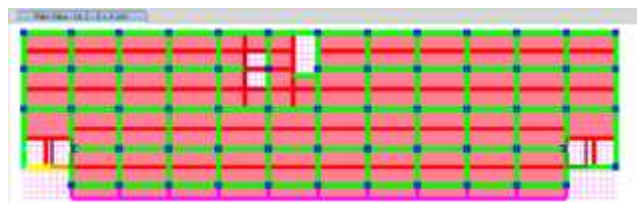
Diagram Diagram alir pelaksanaan pekerjaan dibuat dengan mengacu pada tujuan penelitian yang ingin dicapai, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.34.



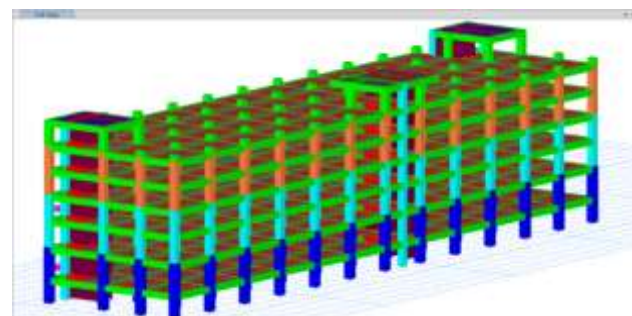
Gambar 2. 1 Diagram Alir Penelitian

Permodelan Struktur

Pemodelan struktur Gedung Rumah Sakit Mitra Keluarga Sidoarjo dilakukan secara tiga dimensi dengan mengacu pada *shop drawing* yang tersedia. Proses pemodelan ini menggunakan *software ETABS Ultimate* versi 22.4.0, sehingga hasil analisis yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi struktur sebenarnya di lapangan.



Gambar 2. 2 Denah Lantai 1-Atap LMR, lantai 2 dan 5 terdapat balcony selebar 1,2 m



Gambar 2. 3 Tampak Perspektif

Pembebanan Struktur

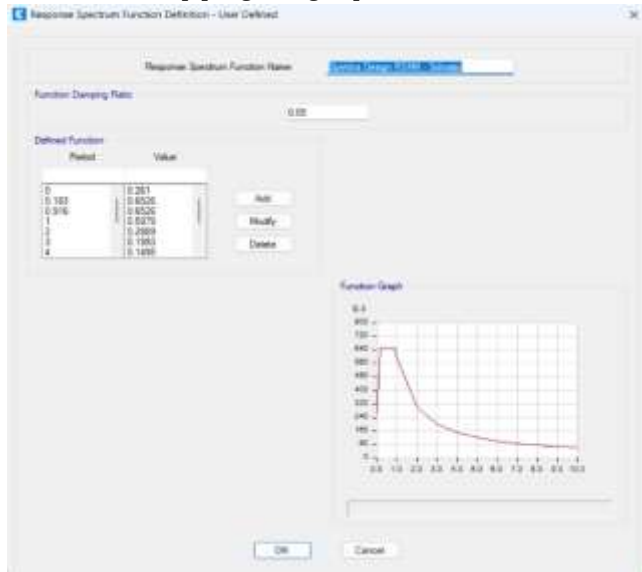
Struktur gedung dirancang sedemikian rupa agar mampu menahan beban mati, beban hidup, serta beban gempa sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam SNI 1726-2019. Kombinasi pembebanan tersebut akan diinput kedalam *software ETABS Ultimate V 22.4.0*

Beban Gempa Berdasarkan Respons Spektrum

Beban gempa yang digunakan dalam perencanaan mengacu pada standar SNI 1726-2019. Desain beban gempa dilakukan dengan metode respons spektra rencana, dimana hubungan antara percepatan spektral dan periode getar

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

struktur dianalisis untuk menjamin bahwa bangunan mampu bertahan terhadap pengaruh gempa secara efektif.



Gambar 2. 4 Spektrum Desain *Preliminary Design*

Berdasarkan perhitungan *preliminary design* yang telah dilakukan, diperoleh ukuran dimensi tiap-tiap elemen kolom, balok, dan pelat yang nantinya akan dilakukan penyesuaian lagi dengan bantuan *software ETABS Ultimate V 22.4.0* sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Rekapitulasi Dimensi *Preliminary Design*

» Pelat				
1. Pelat Lantai	=	Dimensi	»	h = 130 mm
2. Pelat Atap / Roof/ Dak	=	Dimensi	»	h = 130 mm
3. Pelat Tangga	=	Dimensi	»	h = 130 mm
» Balok				
1. Balok Induk	=	Dimensi	»	b = 450 mm h = 650 mm
2. Balok Anak	=	Dimensi	»	b = 400 mm h = 600 mm
3. Balok Tangga	=	Dimensi	»	b = 400 mm h = 600 mm
4. Sloof	=	Dimensi	»	b = 400 mm h = 600 mm
» Kolom				
1. Kolom Lantai 1 - 2	=	Dimensi	»	b = 950 mm h = 950 mm
2. Kolom Lantai 3 - 5	=	Dimensi	»	b = 900 mm h = 900 mm
3. Kolom Lantai 6 - 7	=	Dimensi	»	b = 850 mm h = 850 mm
4. Kolom Lantai 8 - Atap LMR	=	Dimensi	»	b = 800 mm h = 800 mm
5. Kolom Tangga	=	Dimensi	»	b = 850 mm h = 850 mm

Rekap Dimensi Penyesuaian *software ETABS Ultimate V 22.4.0*

Berdasarkan data dimensi dari hasil perhitungan *preliminary design* dilakukan penyesuaian ulang menggunakan bantuan *software ETABS Ultimate V 22.4.0* untuk melakukan pengecekan apakah desain yang telah direncanakan sudah memenuhi standar perencanaan struktur dan keamanan, sehingga diperoleh beberapa perubahan ukuran dimensi elemen kolom, balok, dan pelat sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Tabel Dimensi Elemen Hasil Penyesuaian dengan bantuan *software ETABS Ultimate V 22.4.0*

» Pelat (Penyesuaian Dimensi di ETABS)				
1. Pelat Lantai	=	Dimensi	»	h = 130 mm
2. Pelat Atap / Roof/ Dak	=	Dimensi	»	h = 130 mm
3. Pelat Tangga	=	Dimensi	»	h = 130 mm
» Balok (Penyesuaian Dimensi di ETABS)				
1. Balok Induk	=	Dimensi	»	b = 450 mm h = 750 mm
2. Balok Anak	=	Dimensi	»	b = 400 mm h = 600 mm
3. Balok Tangga	=	Dimensi	»	b = 400 mm h = 600 mm
4. Balok Kantilever	=	Dimensi	»	b = 400 mm h = 600 mm
5. Sloof	=	Dimensi	»	b = 450 mm h = 650 mm
» Kolom (Penyesuaian Dimensi di ETABS)				
1. Kolom Lantai 1 - 2	=	Dimensi	»	b = 800 mm h = 800 mm
2. Kolom Lantai 3 - Atap LMR	=	Dimensi	»	b = 700 mm h = 700 mm
3. Kolom Tangga	=	Dimensi	»	b = 850 mm h = 850 mm

Rekapitulasi Berat Struktur dan Massa Bangunan

Berikut ini adalah rekapitulasi berat struktur serta massa gedung Rumah Sakit Mitra Keluarga Sidoarjo yang diperoleh melalui analisis menggunakan *software ETABS Ultimate V 22.4.0*.

Tabel 3. 3 Tabel Dimensi Elemen Hasil Penyesuaian dengan bantuan *software ETABS Ultimate V 22.4.0*

Story	Diaphragm	Mass X	Mass Y
		kg	kg
Lt. LMR / Atas Tangga	D1	468288.49	468288.49
Lt. Roof / DAK	D1	2787666.67	2787666.67
Lt. 7	D1	3105170.57	3105170.57
Lt. 6	D1	3105170.57	3105170.57
Lt. 5	D1	3298062.68	3298062.68

Lt. 3	D1	3263481.73	3263481.73
Lt. 2	D1	3438537.96	3438537.96

Gempa Dinamik Respons Spektrum

A. Perhitungan Respons Spektrum

Sesuai dengan ketentuan pada SNI 1726-2019 untuk wilayah Sidoarjo dengan kondisi tanah lunak, diperoleh data respons spektrum sebagai berikut:

1. Jenis Tanah = Tanah Lunak (SE)
2. S_s = 0,7555 g
3. S_1 = 0,3394 g
4. F_a = 1,296
5. F_v = 2,624

B. Periode Fundamental

Perhitungan periode fundamental pada struktur ini dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 T_{aminimum} &= C_t \cdot h_n^x \\
 &= 0,466 \times 29,5^{0,9} \\
 &= 0,99 \text{ detik} \\
 T_{amax} &= T_{aminimum} \cdot C_u \\
 &= 0,99 \times 1,4 \\
 &= 1,37 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan menggunakan bantuan software ETABS Ultimate V 22.4.0, diperoleh nilai periode getar alami struktur. Nilai tersebut selanjutnya digunakan dalam proses perhitungan kontrol gaya geser dasar sesuai dengan ketentuan perencanaan struktur tahan gempa.

Tabel 3. 4 Periode Getar Alami Struktur

Case	Mode	Period
		sec
Modal	1	0.814
Modal	2	0.8
Modal	3	0.712
Modal	4	0.245
Modal	5	0.241
Modal	6	0.212
Modal	7	0.133
Modal	8	0.131
Modal	9	0.113
Modal	10	0.093
Modal	11	0.09
Modal	12	0.078

Berdasarkan pedoman dari FEMA (*Federal Emergency Management Agency*), apabila suatu struktur telah dianalisis dan diperoleh nilai periode getar alami struktur (T_p) dari hasil simulasi numerik, maka nilai ini dapat digunakan dalam

perhitungan desain seismik selama memenuhi syarat-syarat tertentu sebagai berikut:

1. Jika $T_p > T_{amax}$ maka $T = T_{amax}$
2. Jika $T_{amin} < T_p < T_{amax}$ maka $T = T_p$
3. Jika $T_p < T_{amin}$ maka $T = T_{amin}$

Penentuan periode fundamental struktur (T) untuk keperluan analisis dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. T_p = 0,814 detik
2. T_{amin} = 0,99 detik
3. T_{amax} = 1,37 detik

Sesuai dari hasil bahwa $T_p < T_{amax}$, maka $T = T_{amin} = 0,99$ detik.

C. Kontrol Gaya Geser Dasar

Berdasarkan ketentuan SNI 1726-2019, apabila hasil gaya geser dasar dari analisis dinamik lebih kecil dari 100% nilai gaya geser statik ekuivalen, maka perlu dilakukan koreksi dengan menggunakan faktor skala. Faktor ini diperoleh dari rasio antara gaya geser statik (V statik) terhadap gaya geser dinamik (V dinamik). Proses verifikasi terhadap gaya geser dasar dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Faktor skala: } \frac{gI}{R} = \frac{9,81 \times 1,5}{8} = 1,839$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0,65255}{\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,12235$$

$$C_{smax} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0,59789}{0,99\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,11324$$

$$\begin{aligned}
 C_{smin} &= 0,044 \cdot S_{DS} \cdot S_{DS} \\
 &= 0,044 \cdot 0,65255 \cdot 1,5 \\
 &= 0,0431 \geq 0,01 \text{ (OKE)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan ketentuan SNI 1726-2019, nilai koefisien respons seismik (C_s) yang digunakan dalam perhitungan tidak diperkenankan kurang dari 0,01. Dari hasil analisis, diperoleh nilai C_s sebesar 0,11324, sehingga telah memenuhi persyaratan tersebut. Selanjutnya, dilakukan perhitungan gaya geser dasar statik untuk masing-masing model struktur sesuai dengan arah analisis yang ditentukan, dengan hasil sebagai berikut:

Berat total struktur sebesar 200270,92 kN, sehingga nilai gaya lateral ekuivalen yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$V \text{ arah X} = V \text{ arah X} = C_s \cdot W_t = 0,11324 \cdot 200270,92 = \mathbf{22677,95 \text{ kN}}$$

$$V \text{ arah Y} = V \text{ arah X} = C_s \cdot W_t = 0,11324 \cdot 200270,92 = \mathbf{22677,95 \text{ kN}}$$

Setelah menjalankan analisis menggunakan software ETABS Ultimate V 22.4.0, diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Pada arah X, $V_{dinamik} = 19564,29 < V_{statik} = 24549,16$ (tidak memenuhi syarat), maka perlu dilakukan peningkatan faktor skala dengan metode sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Faktor skala gempa arah X} &= 1,839 \times \frac{V_{statik}}{V_{dinamik}} \\ &= 1,839 \times \frac{19564,29}{24549,16} \\ &= 2,31\end{aligned}$$

$V_{dinamik}$ setelah pembesaran faktor skala =
 $24552,53 > V_{statik} = 24549,16$ (memenuhi syarat).

2. Pada arah X, $V_{dinamik} = 17555,89 < V_{statik} = 24565,42$ (tidak memenuhi syarat), maka perlu dilakukan peningkatan faktor skala dengan metode sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Faktor skala gempa arah X} &= 1,839 \times \frac{V_{statik}}{V_{dinamik}} \\ &= 1,839 \times \frac{17555,89}{24565,42} \\ &= 2,57\end{aligned}$$

$V_{dinamik}$ setelah pembesaran faktor skala =
 $24568,80 > V_{statik} = 24565,42$ (memenuhi syarat).

D. Kontrol Simpangan (Displacement)

Mengacu pada SNI 1726-2019 Pasal 7.8.6, simpangan antar lantai harus tetap di bawah batas simpangan antar tingkat yang diizinkan. Parameter-parameter yang digunakan untuk menentukan simpangan antar lantai meliputi:

1. Faktor pembesaran defleksi (C_d), diambil dari SNI 1726-2019 untuk sistem ganda dengan dinding geser beton bertulang khusus, yaitu sebesar 5,5.
2. Faktor keutamaan gempa (I_e), berdasarkan kategori risiko bangunan gedung yang dalam hal ini masuk kategori IV, sehingga nilainya 1,5.
3. Batas simpangan antar lantai untuk bangunan dengan kategori risiko IV ditentukan sebesar 0,010 dikalikan tinggi lantai (h_{sx}), simpangan antar lantai = $0,010h_{sx}$

Tabel 3. 5 Tabel Simpangan Antar Lantai

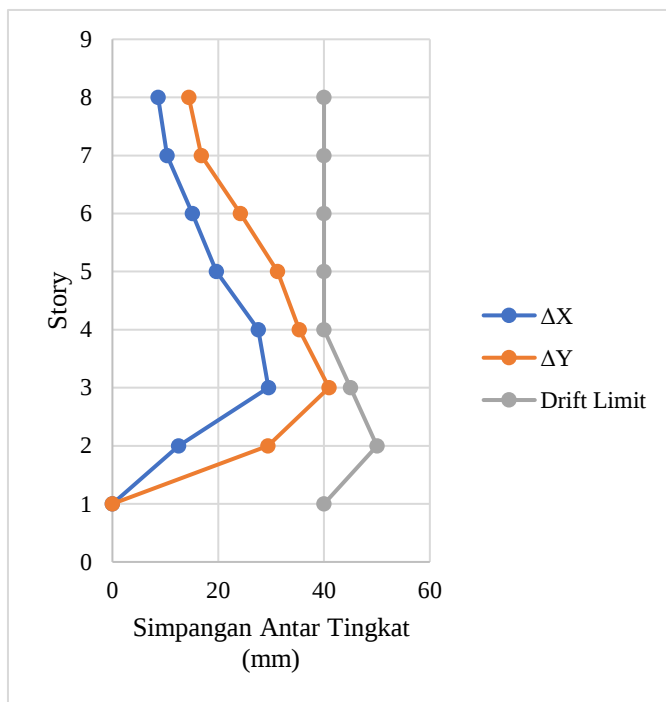
Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δ_{ex}	δ_{ey}	δ_{ex}	δ_{ey}		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	
Lt. LMR / Atas Tangga	33.648	52.453	2.362	3.942	4000	8.661	14.454	40.000	OK
Lt. Roof / DAK	31.286	48.511	2.825	4.580	4000	10.358	16.793	40.000	OK
Lt. 7	28.461	43.931	4.118	6.602	4000	15.099	24.207	40.000	OK
Lt. 6	24.343	37.329	5.363	8.507	4000	19.664	31.192	40.000	OK
Lt. 5	18.980	28.822	7.522	9.641	4000	27.581	35.350	40.000	OK
Lt. 3	11.458	19.181	8.041	11.166	4500	29.484	40.942	45.000	OK
Lt. 2	3.417	8.015	3.417	8.015	5000	12.529	29.388	50.000	OK
Lt. 1	0.000	0.000	0.000	0.000	4000	0.000	0.000	40.000	OK

Setelah perhitungan dilakukan, didapatkan hasil olahan yang memunculkan grafik simpangan antar lantai gedung Rumah Sakit Mitra Keluarga Sidoarjo seperti berikut:

Tabel 3. 6 Modal Participating Mass Ratios (MPMR)

Case	ItemType	Item	Static	Dynamic
			%	%
Modal	Acceleration	UX	99.97	96.20
Modal	Acceleration	UY	99.97	96.60
Modal	Acceleration	UZ	0.00	0.00

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_x	θ_y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
Lt. LMR / Atas Tangga	8.661	14.454	5520.47	1155.1	1163	4000	0.0028	0.0047	0.1	0.0909	OK
Lt. Roof / DAK	10.358	16.793	33951	7213.4	7318	4000	0.0033	0.0053	0.1	0.0909	OK
Lt. 7	15.099	24.207	69079.2	12733	12863	4000	0.0056	0.0089	0.1	0.0909	OK
Lt. 6	19.664	31.192	104207	17340	17449	4000	0.0081	0.0127	0.1	0.0909	OK
Lt. 5	27.581	35.350	141168	21221	21284	4000	0.0125	0.0160	0.1	0.0909	OK
Lt. 3	29.484	40.942	176952	23692	23716	4500	0.0133	0.0185	0.1	0.0909	OK
Lt. 2	12.529	29.388	216625	24553	24569	5000	0.0060	0.0141	0.1	0.0909	OK



Gambar 3. 1 Grafik Simpangan Antar Lantai

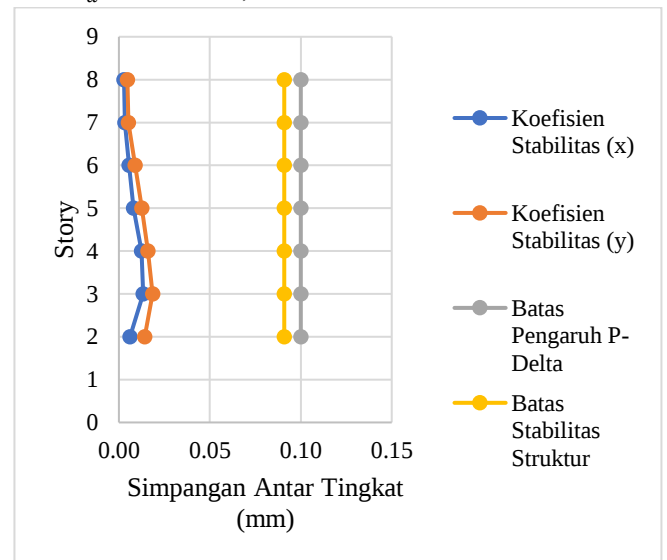
E. Modal Participating Mass Ratios (MPMR)

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 1726-2019 Pasal 7.8.2, analisis respons ragam harus mempertimbangkan jumlah mode getar yang mencukupi agar minimal 90% partisipasi massa struktur tercakup pada masing-masing arah horizontal, yaitu arah X dan Y yang saling tegak lurus. Rincian lebih lanjut dapat dilihat pada tabel berikut ini:

F. Pengaruh P-delta

Hasil pengecekan nilai P-Delta pada gedung Rumah Sakit Mitra Keluarga Sidoarjo berdasarkan SNI 1726-2019 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\beta &= 1 \\ \theta_{max} &= 0.5 / (\beta * C_d) \leq 0.25 \\ &= 0,0909 \\ C_d &= 5,5\end{aligned}$$



Gambar 3. 2 Grafik Pengecekan P-delta

Tabel 3. 7 Tabel Simpangan Antar Lantai

Analisis Riwayat Waktu (Time History Analysis)

A. Penskalaan Ground Motion

Setiap komponen gerak tanah harus dilakukan penskalaan secara spectral dengan rentang $0,2T_{Lower} - 1,2T_{Upper}$.

T = Periode Struktur

$$T = 0,1 \times \text{Jumlah Lantai} = 0,1 \times 8 = 0,8$$

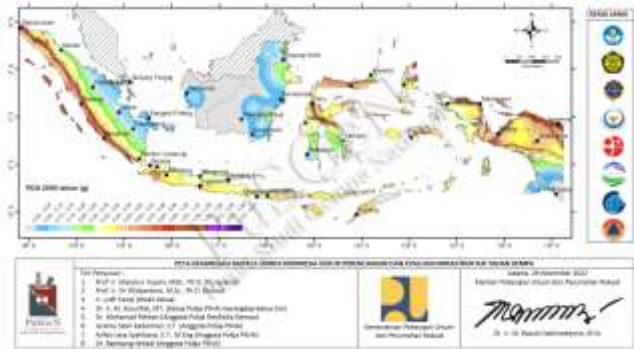
$$\text{Ordinat Matching} = 0,2T_{Lower} - 1,2T_{Upper}$$

$$= 0,2 \cdot (0,8) - 1,2 \cdot (0,8)$$

$$= 0,16T - 0,96T$$

B. Percepatan Puncak Muka Tanah (Peak Ground Acceleration)

Nilai PGA ini diperoleh dari Peta Bahaya Gempa Indonesia yang dirilis oleh instansi terkait. Berdasarkan koordinat lokasi gedung yang menjadi objek studi, yaitu di wilayah Sidoarjo, maka dari peta tersebut didapatkan nilai PGA sebesar 0,35 g. Nilai ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan beban gempa rencana pada struktur gedung yang dianalisis.



Gambar 3. 3 Nilai PGA dengan periode ulang 2500 tahun
sumber: Buku Peta Deagrasi Bahaya Gempa Indonesia

C. Koefisien situs (F_{PGA})

Pengaruh kelas situs ini dihitung menggunakan koefisien yang diatur dalam SNI 1726-2019 tabel 10.

$$F_{PGA} = \frac{(1,4 - 1,6)}{(0,4 - 0,3)} \times (0,35 \cdot 0,3) + 1,6$$

$$F_{PGA} = 1,5$$

Berdasarkan perhitungan interpolasi dari nilai PGA, diperoleh nilai koefisien F_{PGA} sebesar 1,5. Oleh karena itu, nilai PGA yang telah disesuaikan dengan faktor koefisien situs, yang disebut dengan PGA_M (PGA yang dimodifikasi), dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA$$

$$PGA_M = 1,5 \cdot 0,35$$

$$PGA_M = 0,525 \text{ g}$$

D. Penskalaan Percepatan Puncak Permukaan Tanah ($PGA_{M \text{ SCALE}}$)

Nilai percepatan puncak tanah yang telah dimodifikasi (PGA_M) harus dikalikan dengan faktor penskalaan tersebut. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$PGA_{M \text{ SCALE}} = PGA_M \cdot \frac{I}{R}$$

$$PGA_{M \text{ SCALE}} = 0,525 \text{ g} \cdot \frac{1,5}{8}$$

$$PGA_{M \text{ SCALE}} = 0,0984 \text{ g}$$

E. Faktor Skala (F_S)

Proses penskalaan ini bertujuan untuk menyetarakan percepatan tanah maksimum dengan kondisi tanah yang ditinjau. Rumus untuk menghitung faktor skala adalah sebagai berikut:

$$F_S = PGA_{M \text{ SCALE}} \cdot PGA_{M \text{ MAX}}$$

Tabel 3. 8 Faktor Skala (PGA) *Time History*

Data Gempa	Arah	PGA Max	PGAm scale (PGA m x I/R)	Faktor Skala (PGA max x PGA m scale)	Faktor Skala ETABS (Faktor Skala x 9806,65)
Chichi	X	0.283	0.098437	0.027736734	272.0044462
	Y	0.166	0.098437	0.016289546	159.7458741
Imperial Valley	X	0.281	0.098437	0.027640807	271.0637203
	Y	0.178	0.098437	0.017535331	171.9628577
Duzce	X	0.038	0.098437	0.003736343	36.64100777
	Y	0.009	0.098437	0.000810781	7.95104318
Kobe	X	0.834	0.098437	0.082119407	805.316286
	Y	0.339	0.098437	0.03336163	327.1658319
Landers	X	0.725	0.098437	0.07138339	700.0319246
	Y	0.823	0.098437	0.081039331	794.7243593
San Fernando	X	0.104	0.098437	0.010255071	100.5678929
	Y	0.055	0.098437	0.005367209	52.63434213
Iwate	X	0.238	0.098437	0.023374654	229.2270482
	Y	0.105	0.098437	0.010378817	101.7814245
Northridge	X	0.091	0.098437	0.009001933	88.27880794
	Y	0.047	0.098437	0.004585768	44.97102206
Loma Prieta	X	0.220	0.098437	0.021687081	212.6776092
	Y	0.083	0.098437	0.008195192	80.36737564
Chuetsu	X	0.073	0.098437	0.007211007	70.71581766
	Y	0.022	0.098437	0.002092766	20.52301879
Tottori	X	0.063	0.098437	0.006127662	60.09183196
	Y	0.040	0.098437	0.003952824	38.76395918

F. Gaya Geser (*Base Shear Reaction*)

Pada metode analisis riwayat waktu (*Time History Analysis*), gaya geser dasar ini merupakan hasil total dari semua gaya reaksi pada level dasar struktur akibat beban gempa yang diberikan. Berikut adalah tabel gaya geser (*base shear reaction*):

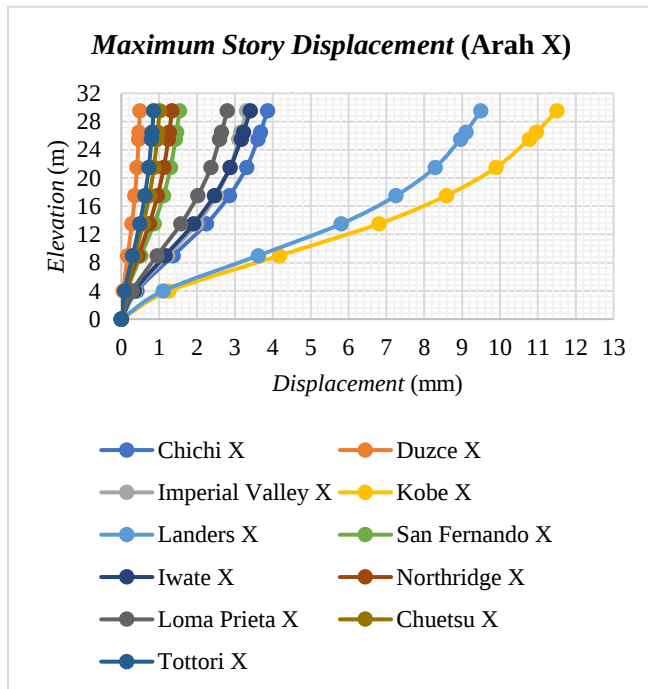
Tabel 3. 9 *Base Shear Reaction dan Displacement*

Gempa	Arah	Base Shear	Displacement	Displacement
		(kN)	(mm)	(m)
Chichi	X	3218.5284	3.864	0.003864
	Y	899.3762	1.407	0.001407
Imperial Valley	X	3081.4464	3.302	0.003302
	Y	1616.9292	2.951	0.002951
Duzce	X	341.5825	0.49	0.00049
	Y	70.3784	0.16	0.00016
Kobe	X	6918.5012	11.505	0.011505
	Y	3382.6735	6.336	0.006336
Landers	X	6564.1903	9.496	0.009496
	Y	595.3301	1.51	0.00151

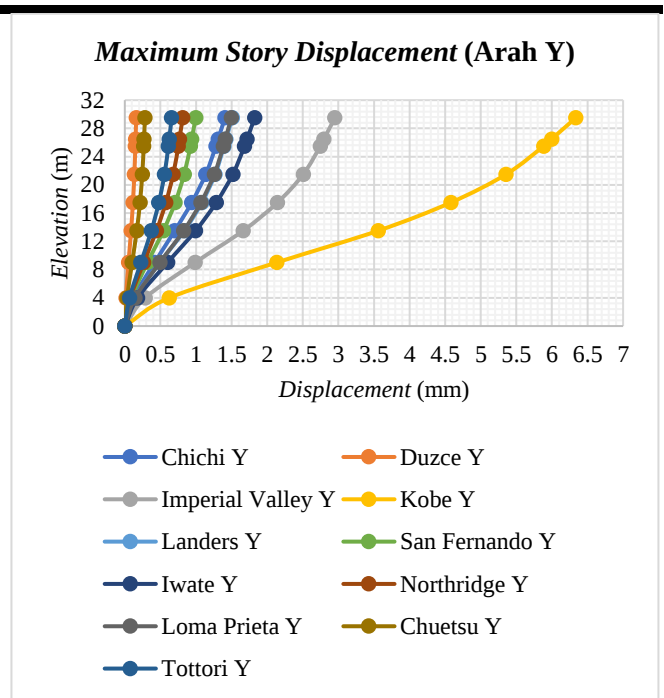
Gempa	Arah	Base Shear	Displacement	Displacement
		(kN)	(mm)	(m)
San	X	1093.1614	1.537	0.001537
Fernando	Y	457.4651	0.996	0.000996
Iwate	X	2407.0551	3.404	0.003404
	Y	857.3503	1.825	0.001825
Northridge	X	836.7704	1.339	0.001339
	Y	394.4623	0.814	0.000814
Loma Prieta	X	2243.0349	2.796	0.002796
	Y	753.3065	1.496	0.001496
Chuetsu	X	649.8054	1.01	0.00101
	Y	198.4805	0.283	0.000283
Tottori	X	587.4778	0.855	0.000855
	Y	383.5546	0.658	0.000658

G. Displacement

Berdasarkan hasil analisis *NonLinear Modal Time History Analysis* (FNA) yang telah dilakukan, diperoleh grafik perpindahan (displacement) akibat gempa pada arah X dan Y, yang ditunjukkan sebagai berikut:



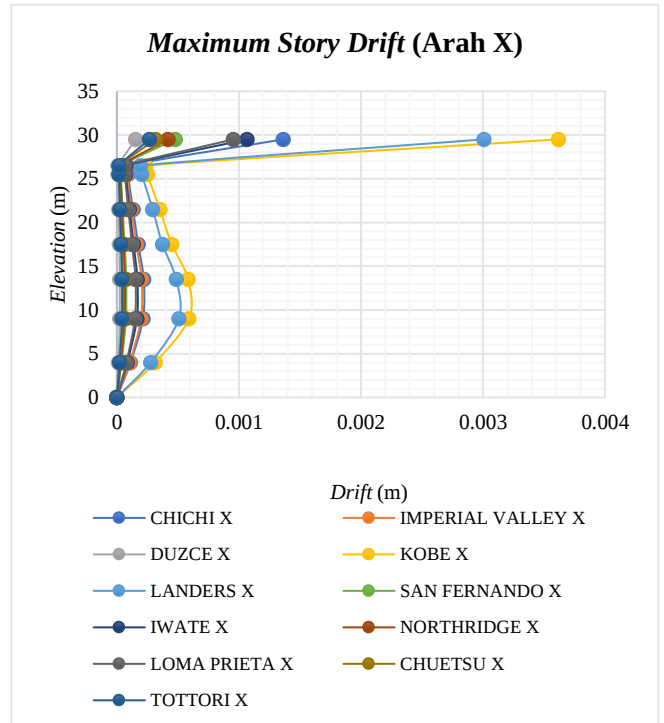
Gambar 3. 4 Maximum Story Displacement (Arah X)



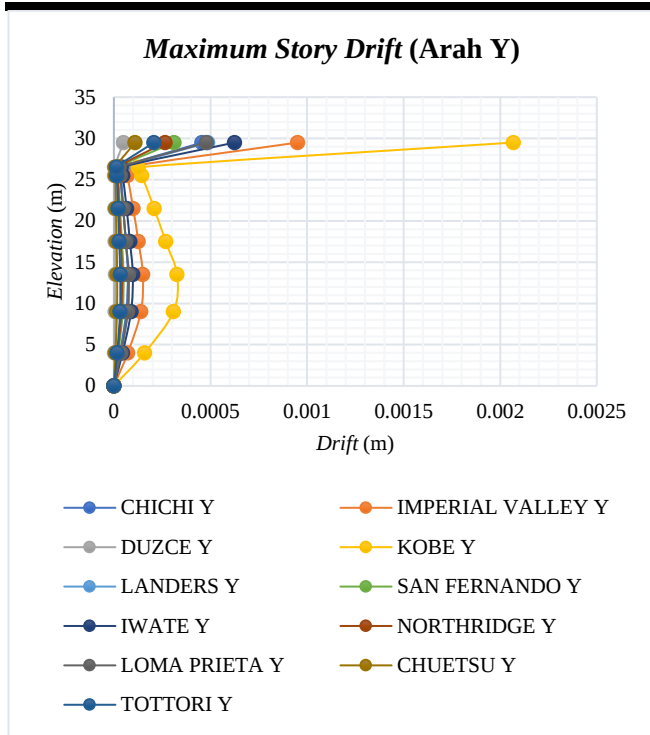
Gambar 3. 5 Maximum Story Displacement (Arah Y)

H. Story Drift

Berdasarkan hasil analisis *NonLinear Modal Time History Analysis* (FNA) yang telah dilakukan, diperoleh grafik simpangan antar lantai (*story drift*) yang menggambarkan respons struktur terhadap beban gempa pada arah X dan Y, yang ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 3. 6 Maximum Story Drift (Arah X)



Gambar 3. 7 Maximum Story Drift (Arah Y)

Hasil dari analisis Nonlinear Modal Time History (FNA) menunjukkan besarnya nilai drift story akibat gempa yang bekerja dari arah X dan Y, yang dapat dirinci sebagai berikut:

Tabel 3. 10 Story Drift Gempa Time History

Gempa	Arah	Drift	Drift
		(m)	(mm)
Chichi	X	0.001362	1.362
	Y	0.000456	0.456
Imperial Valley	X	0.001259	1.259
	Y	0.000952	0.952
Duzce	X	0.000154	0.154
	Y	0.00005	0.05
Kobe	X	0.003617	3.617
	Y	0.002068	2.068
Landers	X	0.003007	3.007
	Y	0.000486	0.486
San Fernando	X	0.00048	0.48
	Y	0.000312	0.312
Iwate	X	0.001068	1.068
	Y	0.000625	0.625

Gempa	Arah	Drift	Drift
		(m)	(mm)
Northridge	X	0.00042	0.42
	Y	0.000266	0.266
Loma Prieta	X	0.000954	0.954
	Y	0.00048	0.48
Chuetsu	X	0.000317	0.317
	Y	0.00011	0.11
Tottori	X	0.000267	0.267
	Y	0.000207	0.207

Berdasarkan hasil analisis Nonlinear Modal Time History (FNA), gempa Kobe menghasilkan drift antar lantai terbesar, yakni 0,003617 m pada arah X dan 0,002068 m pada arah Y. Sebaliknya, gempa Duzce menunjukkan drift terkecil, masing-masing 0,000154 m (arah X) dan 0,00005 m (arah Y).

I. Evaluasi Kinerja Struktur *Nonlinear Time History* Berdasarkan ATC-40 dan *Drift Story*

Level kinerja struktur ditentukan dari nilai *drift*, yaitu rasio simpangan relatif antar lantai terhadap tinggi lantai, yang dibandingkan dengan batas toleransi menurut SNI 1726:2019 atau ATC-40. Hasil evaluasi menunjukkan apakah struktur masuk kategori *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS), atau *Collapse Prevention* (CP), serta mencerminkan kemampuan struktur dalam mempertahankan fungsi saat dan setelah gempa.

$$\text{Simpangan total maksimum} = \frac{D_{tot}}{H_{tot}}$$

Tabel 3. 11 Max Total Drift Gempa Time History berdasarkan ATC-40 dan *Drift Story*

Gempa	Arah	Drift	Drift	Max Total Drift	Max Total Drift
		(m)	(mm)	(m)	(mm)
Chichi	X	0.001362	1.362	0.000046169	0.046169492
	Y	0.000456	0.456	0.000015458	0.015457627
Imperial Valley	X	0.001259	1.259	0.000042678	0.042677966
	Y	0.000952	0.952	0.000032271	0.032271186
Duzce	X	0.000154	0.154	0.000005220	0.005220339
	Y	0.00005	0.05	0.000001695	0.001694915
Kobe	X	0.003617	3.617	0.000122610	0.122610169
	Y	0.002068	2.068	0.000070102	0.070101695
Landers	X	0.003007	3.007	0.000101932	0.101932203
	Y	0.000486	0.486	0.000016475	0.016474576
San Fernando	X	0.00048	0.48	0.000016271	0.016271186
	Y	0.000312	0.312	0.000010576	0.010576271
Iwate	X	0.001068	1.068	0.000036203	0.03620339

Northridge	Y	0.000625	0.625	0.000021186	0.021186441
	X	0.00042	0.42	0.000014237	0.014237288
Loma Prieta	Y	0.000266	0.266	0.000009017	0.009016949
	X	0.000954	0.954	0.000032339	0.032338983
Chuetsu	Y	0.00048	0.48	0.000016271	0.016271186
	X	0.000317	0.317	0.000010746	0.010745763
Tottori	Y	0.00011	0.11	0.000003729	0.003728814
	X	0.000267	0.267	0.000009051	0.009050847
	Y	0.000207	0.207	0.000007017	0.007016949

Berikut hasil analisis level kinerja Struktur Gedung Rumah Sakit Mitra Keluarga Sidoarjo arah X dan Y berdasarkan ATC-40:

Tabel 3. 12 Level Kinerja Struktur Gedung Rumah Sakit Mitra Keluarga Sidoarjo Berdasarkan ATC-40

Gempa	Arah	Drift Total (m)	Max Total Drift (m)	Level Kinerja
Chichi	X	0.001362	0.000046169	IO
	Y	0.000456	0.000015458	IO
Imperial Valley	X	0.001259	0.000042678	IO
	Y	0.000952	0.000032271	IO
Duzce	X	0.000154	0.000005220	IO
	Y	0.00005	0.000001695	IO
Kobe	X	0.003617	0.000122610	IO
	Y	0.002068	0.000070102	IO
Landers	X	0.003007	0.000101932	IO
	Y	0.000486	0.000016475	IO
San Fernando	X	0.00048	0.000016271	IO
Iwate	Y	0.000312	0.000010576	IO
	X	0.001068	0.000036203	IO
Northridge	Y	0.000625	0.000021186	IO
	X	0.00042	0.000014237	IO
Loma Prieta	Y	0.000266	0.000009017	IO
	X	0.000954	0.000032339	IO
Chuetsu	Y	0.00048	0.000016271	IO
	X	0.000317	0.000010746	IO
Tottori	Y	0.00011	0.000003729	IO
	X	0.000267	0.000009051	IO
	Y	0.000207	0.000007017	IO

4. KESIMPULAN

Mengacu pada rumusan masalah, tujuan penelitian, serta hasil analisis dan pembahasan terhadap struktur gedung Rumah Sakit Mitra Keluarga yang dianalisis menggunakan metode Time History Analysis dengan bantuan software ETABS Ultimate V 22.4.0, dapat disimpulkan beberapa poin utama sebagai berikut:

Dalam kinerja dinamis struktur terhadap beban gempa, berdasarkan hasil analisis modal, struktur telah memenuhi ketentuan minimum partisipasi massa sebagaimana diatur dalam SNI 1726-2019. Nilai partisipasi massa mencapai 96,20% pada arah X dan 96,60% pada arah Y, melebihi ambang batas minimum sebesar 90%. Periode fundamental

(getar alami) struktur pada mode pertama tercatat sebesar 0,814 detik, sebagaimana dihitung melalui software ETABS Ultimate V 22.4.0. Nilai ini menjadi referensi utama dalam penentuan gaya gempa untuk kontrol desain. Serta dari sebelas data gempa riwayat waktu yang dianalisis, gempa Kobe menghasilkan gaya geser dasar (base shear) tertinggi, yakni sebesar 6918,2 kN pada arah X dan 3382,7 kN pada arah Y.

Sedangkan dalam deformasi dan perpindahan lateral dengan sistem ganda SRPMK dan SDSK, hasil analisis drift story menunjukkan bahwa simpangan antar lantai tertinggi terjadi akibat gempa Kobe, dengan nilai sebesar 0,003617 meter pada arah X dan 0,002068 meter pada arah Y. Berdasarkan klasifikasi tingkat kinerja struktur menurut ATC-40, seluruh skenario gempa menunjukkan bahwa struktur berada dalam kategori Immediate Occupancy (IO), karena nilai drift maksimum masih di bawah ambang batas 0,01. Ini mengindikasikan bahwa bangunan tetap dapat difungsikan pascagempa tanpa mengalami kerusakan struktural yang signifikan.

Serta dalam Efektivitas Sistem Ganda Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK), penggunaan sistem ganda berupa Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK) terbukti efektif dalam menjaga kinerja struktur terhadap beban gempa. Hal ini tercermin dari deformasi lateral yang tetap terkendali serta distribusi energy gempa yang relative merata berdasarkan hasil analisis riwayat waktu. Selain itu, total simpangan akibat gempa masih berada dalam batas aman terhadap stabilitas struktur. Selain itu, faktor stabilitas terhadap efek P-Delta juga menunjukkan hasil yang aman (OK) pada setiap tingkat lantai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standarisasi Nasional. 2019. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. (SNI 2847-2019). Jakarta : BSN.
- [2] Badan Standarisasi Nasional. 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. (SNI 1726-2019). Jakarta : BSN.
- [3] Badan Standarisasi Nasional. 2020. Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung. (SNI 1727-2020). Jakarta : BSN.
- [4] American Society of Civil Engineers, 2022. Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers. (ASCE 7 – 16)
- [5] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2025. Data Gempa Bumi. [online] Available at: <https://www.bmkg.go.id/gempabumi/data-gempabumi.bmkg> [Accessed 05 January 2025].

-
- [6] Desain Spektra Indonesia. 2025. Kurva Respon Spektrum dalam [http:// https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/](http://https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/) [Accessed 1 January 2025]. <https://doi.org/10.1063/1.5011495>
- [7] Google Earth Pro Inc, 2025. Google Earth Pro: Peta Lokasi Proyek Rumah Sakit Mitra Keluarga Sidoarjo.[Accessed 1 January 2025].
- [8] Peer Bekeley. 2025. Peer Ground Motion Database Pacific Earthquake Engineering Reasearch Center. <https://peer.berkeley.edu/nga/>. [Accessed 2 January 2025].
- [9] ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings by Applied Technology Council (z-lib.org). (n.d.).
- [10] Maraskole, Bhagchand Dheraaj., Ullagaddi, P. B. Prof [Dr]., 2024. Study of High Rise Structures by using Time History Analysis. International Journal of Innovative Science, Engineering and Technology (IJIRSET) 13(6), pp. 203 209.
- [11] Istiono, H., Septiarsilia, Y., Fitriyah, D.K., Komara, I. and Baskara, K.P., 2024. Seismic Behavior of Building Structures using Time History Analysis (Case Study: RSPAL Surabaya). Jurnal Teknologi dan Manajemen, 5(2), pp.116 126.
- [12] Karyono, K., Syafri, I., Abdurrokhim, A., Masturyono, M., Rohadi, S., Arifin, J., Sudrajat, A., Mazzini, A., Hadi, S. and Agustya, A., 2016. Kajian kerentanan tanah berdasarkan analisis hvsr di daerah semburan lumpur Sidoarjo dan sekitarnya, Jawa Timur, Indonesia. Jurnal Meteorologi dan Geofisika, 17(1).
- [13] Sudarsono, K.P., Hariyanto, T. and Kurniawan, A., 2023. “Evaluasi Penurunan Tanah Kawasan Lumpur Sidoarjo Berdasarkan Data Pengamatan GPS April, Mei, Juni, dan Oktober 2016”. Jurnal Teknik ITS, 6(1), pp.C7-C12.
- [14] Yunas, B., Octavia, D. M., Syafri, Y. P., Zayu, W. P., Furqoni, F., Ramadhi, R. and Ernawati, E. (2024) “Structural Design of a 10-Story Office Building using the Special Moment Frame System (SMFS) in Padang, West Sumatra ”, CIVED, 11(3), pp. 1041–1056. doi: 10.24036/cived.v11i3.652.
- [15] Arga Rumbyarso, Y.P., 2024. Kinerja Struktur Gedung Office 36 Lantai: Analisis History dan Pushover.
- [16] Fathali, M.A., Hoseini Vaez, S.R. and Dehghani, E., 2019. Modeling the link beam behavior to evaluate its performance according to FEMA 356 and calculating the target displacement of performance levels. Civil Infrastructure Researches, 4(2), pp.47-60.
- [17] Harun Alrasyid, Yehezkiel Septian Yoganata, Munarus Suluch, Data Iranata; Headed reinforcement in concrete structure: State of the art. AIP Conf. Proc. 14 November 2017; 1903 (1): 020015.