

# EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG RUMAH SAKIT 7 LANTAI 1 BASEMENT DI SEMARANG DENGAN ANALISIS DINAMIK LINEAR RESPONS RAGAM DAN RIWAYAT WAKTU MENGGUNAKAN ACUAN SNI 1726:2019

<sup>\*)</sup>Nur Khotimah Handayani<sup>1</sup>, Bestari Mukti Abadi<sup>1</sup>, Nova Dwi Pamungkas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

<sup>\*)</sup>Email: nur.k.handayani@ums.ac.id

## ABSTRACT

*Structural planning in buildings must be carried out correctly to avoid structural failure. Hospital Building 7 Floor 1 Basement is a building which is a public health facility and is a building in Risk Category IV. This building was planned to use the old earthquake regulations, namely SNI 1726:2012, so it needs to be evaluated using the latest earthquake regulation standards, namely SNI 1726:2019. This evaluation is carried out to ensure that the structure still meets the standards of the new regulations. The analysis procedure used is linear dynamic analysis of variance response and time history using 4 earthquake records, namely the Duzce, Iwate, Whittier and Chichi earthquakes. Structural analysis was calculated using ETABS V.21 software in a 3-dimensional model. The results of the analysis carried out are base shear and displacement values. Based on the research that has been carried out, it is concluded that the structure has torsional irregularities, internal corner irregularities, irregularities due to shifts perpendicular to the plane, heavy irregularities, and excessively weak story irregularities due to discontinuities in the lateral strength of the story. In addition, it was concluded that in the response analysis procedure the various deviation values did not meet the deviation between permit levels for structures with risk category IV starting on the 2nd floor. Meanwhile, the deviation values between levels produced in the time history dynamic analysis procedure met all floors. The difference in deviation results between the variance response and time history analysis procedures is due to the time history analysis using deviation values based on the combined displacement response which considers unexpected torque.*

**Keywords:** Building Evaluation, Spectrum Response Analysis, Time History Analysis

## ABSTRAK

Perencanaan struktur pada bangunan harus dilakukan secara tepat agar tidak terjadi kegagalan struktur. Gedung Rumah Sakit 7 Lantai 1 Basement merupakan sebuah gedung yang merupakan fasilitas kesehatan umum dan termasuk bangunan dalam Kategori Risiko IV. Gedung ini direncanakan dengan menggunakan peraturan gempa lama yaitu SNI 1726:2012 sehingga perlu dievaluasi menggunakan standar peraturan gempa terbaru yaitu SNI 1726:2019. Evaluasi ini dilakukan untuk memastikan bahwa struktur tersebut masih memenuhi standar pada peraturan yang baru. Prosedur analisis yang digunakan adalah analisis dinamik linear respons ragam dan riwayat waktu dengan menggunakan 4 rekaman gempa yaitu gempa Duzce, Iwate, Whittier, dan Chichi. Analisis struktur dihitung dengan menggunakan software ETABS V.21 dalam model 3 dimensi. Hasil dari analisis yang dilakukan berupa nilai gaya geser dasar dan perpindahan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan disimpulkan bahwa struktur memiliki ketidakberaturan torsi, ketidakberaturan sudut dalam, ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang, ketidakberaturan berat, dan ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat. Selain itu, didapatkan kesimpulan bahwa pada prosedur analisis respons ragam nilai simpangan tidak memenuhi simpangan antar tingkat izin untuk struktur yang memiliki kategori risiko IV mulai pada lantai 2. Sedangkan nilai simpangan antar tingkat yang dihasilkan pada prosedur analisis dinamik riwayat waktu memenuhi pada semua lantai. Perbedaan hasil nilai simpangan antar tingkat antara prosedur analisis respons ragam dan riwayat waktu dikarenakan pada analisis riwayat waktu menggunakan nilai simpangan antar tingkat berdasarkan respons perpindahan terkombinasi yang memperhitungkan torsi tidak terduga.

**Kata kunci:** Analisis Respons Ragam, Analisis Riwayat Waktu, Evaluasi Gedung

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang dilalui oleh jalur pertemuan 3 lempeng tektonik. Hal ini menyebabkan sering terjadinya gempa bumi dengan skala kecil dan besar. Gempa bumi adalah getaran bumi yang terjadi sebagai akibat dari terlepasnya energi yang terkumpul secara tiba-tiba dalam batuan yang mengalami deformasi. Besarnya gelombang yang beragam, mulai dari yang sangat kecil hingga sulit dirasakan hingga guncangan yang besar, sehingga mampu meruntuhkan bangunan yang kokoh (Noor, 2006). Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur gedung harus memperhitungkan beban gempa secara tepat agar tidak terjadi kegagalan struktur.

Kota Semarang merupakan daerah yang dilewati sesar Semarang sehingga potensi gempanya sangat tinggi dengan parameter respon spektranya mencapai  $S_s$  0,911 g dan  $S_1$  0,391 g. Nilai ini menghasilkan beban gempa yang cukup tinggi pada struktur bangunan dan resiko mengakibatkan deformasi lateral bangunan yang besar. Deformasi lateral yang besar menunjukkan potensi kegagalan struktur pada bangunan tersebut. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi terhadap kekuatan struktur pada bangunan yang telah dibangun untuk meminimalisir dampak kerusakan

yang mungkin terjadi. Hal ini sangat penting terutama pada bangunan yang sangat penting seperti rumah sakit yang termasuk dalam Kategori Risiko IV. Rumah sakit 7 lantai 1 *basement* dalam penelitian ini merupakan sebuah gedung fasilitas umum dimana dalam perencanaan strukturnya diperlukan perhitungan yang dapat menahan gempa rencana. Sehingga bisa menjamin keutuhan, keamanan dan keselamatan bagi pasien pasca terjadinya gempa karena memiliki faktor kemanan yang memadai.

Perencanaan gedung rumah sakit ini disusun pada tahun 2018 sampai dengan 2019 dengan menggunakan peraturan gempa yang lama, yaitu SNI 1726:2012. Struktur gedung rumah sakit direncanakan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), karena pada sistem ini memiliki daktilitas yang tinggi sehingga dapat mencegah terjadinya kegagalan struktur (Ramadhan & Warsito, 2021). Perbedaan peraturan ini mengharuskan gedung ini dievaluasi terhadap kinerja struktur tersebut menggunakan peraturan yang baru yaitu SNI 1726:2019 (Badan Standarisasi Nasional, 2019). Evaluasi dilakukan dengan prosedur analisis dinamik respons ragam dan riwayat waktu untuk mengetahui kinerja gedung rumah sakit dengan peninjauan berdasarkan simpangan antar tingkat. SNI mensyaratkan simpangan antar tingkat untuk kategori resiko IV sebesar 0,01 dari ketinggian tingkat di bawahnya. Nilai batasan ini merupakan batasan terkecil jika dilihat dari jenis kategori seismik yang lain. Simpangan antar tingkat ini menjadi salah satu parameter dalam perencanaan dan evaluasi struktur gedung. Sebuah bangunan dikatakan aman, apabila simpangan yang terjadi tidak melebihi batas simpangan yang diizinkan (Hidayah & Mughni, 2018).

Analisis yang digunakan untuk menentukan simpangan antar tingkat yaitu analisis dinamik linear respons ragam (respons spektrum) dan analisis dinamik linear riwayat waktu. Analisis dinamik riwayat waktu merupakan metode analisis yang dapat mempresentasikan sifat dinamik percepatan gempa dan respon struktur, sehingga metode analisis ini dapat memberikan gambaran informasi respons struktur yang lebih lengkap (Anggen et al., 2014). Analisis riwayat waktu (*time history*) merupakan analisis yang realitis untuk digunakan dalam menganalisis seismik (Patil & Kumbhar, 2013). Hal ini dikarenakan pada analisis riwayat waktu (*time history*) memberikan hasil yang lebih baik untuk memeriksa keamanan struktur yang dianalisis.

## 2. METODE

Metode analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah prosedur analisis dinamik linear respons ragam dan riwayat waktu berdasarkan standar peraturan gempa di Indonesia yaitu SNI 1726:2019. Analisis struktur dilakukan dengan menggunakan *software* ETABS V.21. Penelitian dimulai dengan mengumpulkan data penyelidikan tanah dan gambar *as built*. Berdasarkan data penyelidikan tanah yang didapatkan, dijadikan sebagai acuan untuk menentukan kelas situs tanah dan penentuan parameter beban gempa pada analisis respons ragam. Hasil penyelidikan tanah menunjukkan bahwa rumah sakit berada di atas tanah dengan kelas situs tanah lunak. Beban gempa analisis riwayat waktu berupa gempa rencana yang didapatkan dari gempa aktual yang telah dicocokkan secara spektral. Data gambar *as built* yang didapatkan digunakan sebagai acuan pemodelan struktur pada *software* ETABS secara 3 dimensi. Setelah pemodelan selesai dilakukan, beban-beban sesuai SNI 1727:2020 (Badan Standarisasi Nasional, 2020) di input pada pemodelan struktur. Hasil analisis berupa gaya geser dasar (*base shear*) dan simpangan (*displacement*). *Output* yang telah didapatkan dari *software* ETABS dijadikan sebagai penentuan kinerja struktur dan ketidakberaturan yang dimiliki oleh struktur gedung.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan beban gempa pada prosedur dinamik harus memenuhi persyaratan SNI 1726:2019. Pemodelan ini telah memenuhi syarat partisipasi massa dan penskalaan gaya geser analisis dinamik dilakukan berdasarkan persamaan (7) dan (9). Penskalaan gaya geser dasar diawali dengan menghitung periode struktur fundamental pada persamaan (1) untuk perhitungan gaya geser dasar seismik pada persamaan (6). Hasil persamaan (6) ini menjadi dasar penskalaan gaya geser dasar dinamik pada pemodelan.

### Periode struktur

Penentuan periode struktur dalam perhitungan beban gempa merupakan hal penting untuk memastikan bahwa beban gempa terencana sesuai ketentuan yang ada. SNI 1726:2019 mensyaratkan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) sebagai periode minimum dalam penentuan beban gempa dan mensyaratkan periode maksimum seperti pada persamaan (1) dan (2). Periode fundamental pendekatan minimum pada kedua arah ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (1)$$

dengan  $T_a$  = periode pendekatan (detik),  $C_t$  dan  $x$  = parameter periode pendekatan,  $h_n$  = tinggi gedung (m).

Batasan periode maksimum pada kedua arah ditentukan berdasarkan persamaan:

$$T_a \text{ maksimum} = C_u T_a \quad (2)$$

dengan  $C_u$  merupakan koefisien batas atas pada periode fundamental.

Berdasarkan persamaan (1) dan (2) maka nilai  $T_a$  pada gedung tersebut sebesar 0,73 detik dan hasil  $C_u T_a$  sebesar 1,02 detik. Periode struktur yang dihasilkan oleh *software* ETABS untuk arah x sebesar 0,90 detik dan pada arah y sebesar 0,88 detik. Nilai periode tersebut melebihi periode minimum dan kurang dari periode maksimum yang diizinkan. Sehingga, nilai periode yang dipakai menggunakan nilai periode yang dihasilkan oleh *software* ETABS.

### Koefisien respons seismik

Perhitungan beban gempa selanjutnya diperlukan nilai koefisien respons seismik ( $C_s$ ). Penentuan nilai koefisien respon seismik untuk arah x dan y:

$$C_s \text{ minimum} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3)$$

$$C_s \text{ maksimum} = \frac{S_{D1}}{T \frac{R}{I_e}} \quad (4)$$

dengan  $S_{DS}$  = parameter percepatan respon spektral desain dalam rentang periode pendek (g),  $S_{D1}$  = parameter percepatan respon spektral desain dalam rentang periode 1 detik (g),  $I_e$  = faktor keutamaan gempa, T = periode struktur (detik), dan R = koefisien modifikasi respons.

Nilai  $S_{DS}$  pada lokasi bangunan rumah sakit sebesar 0,7113 g dan  $S_{D1}$  sebesar 0,6349 g. Rumah sakit memiliki kategori resiko IV sehingga dengan nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  tersebut menjadikan rumah sakit memiliki kategori desain seismik D (KDS D). Struktur memiliki nilai  $I_e$  sebesar 1,5 dan nilai R sebesar 8. Sehingga nilai  $C_s$  minimum sebesar 0,05 dan  $C_s$  maksimum untuk arah x 0,151 dan untuk arah y 0,155.

$$C_s \text{ hitung} = \frac{S_{DS}}{R/I_e} \quad (5)$$

Berdasarkan persamaan (5) didapatkan nilai  $C_s$  hitung untuk arah x dan y sebesar 0,15.

### Gaya geser dasar seismik

Parameter penting dalam perencanaan beban gempa adalah gaya geser dasar seismik (V) atau umumnya disebut gaya geser dasar analisis statik ekuivalen yang selanjutnya disebut  $V_{\text{statik}}$ . Gaya geser dasar seismik ditentukan berdasarkan persamaan:

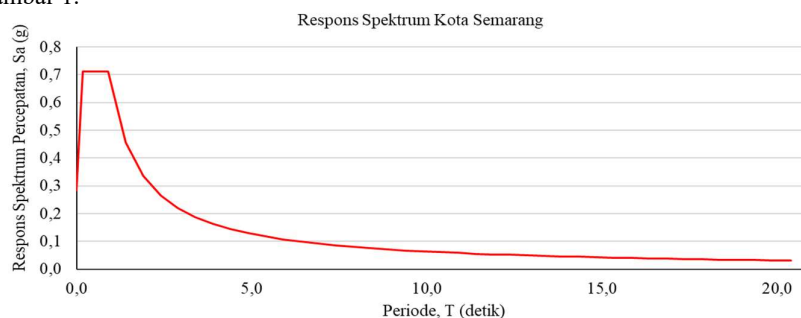
$$V = C_s W \quad (6)$$

dengan  $C_s$  = koefisien respons seismik, W = berat efektif gedung.

Berat efektif gedung yang didapatkan dari *software* ETABS sebesar 224.823,67 kN. Sehingga berdasarkan persamaan (6) didapatkan nilai gaya geser dasar seismik sebesar 33.733,88 kN.

### Grafik respons spektrum

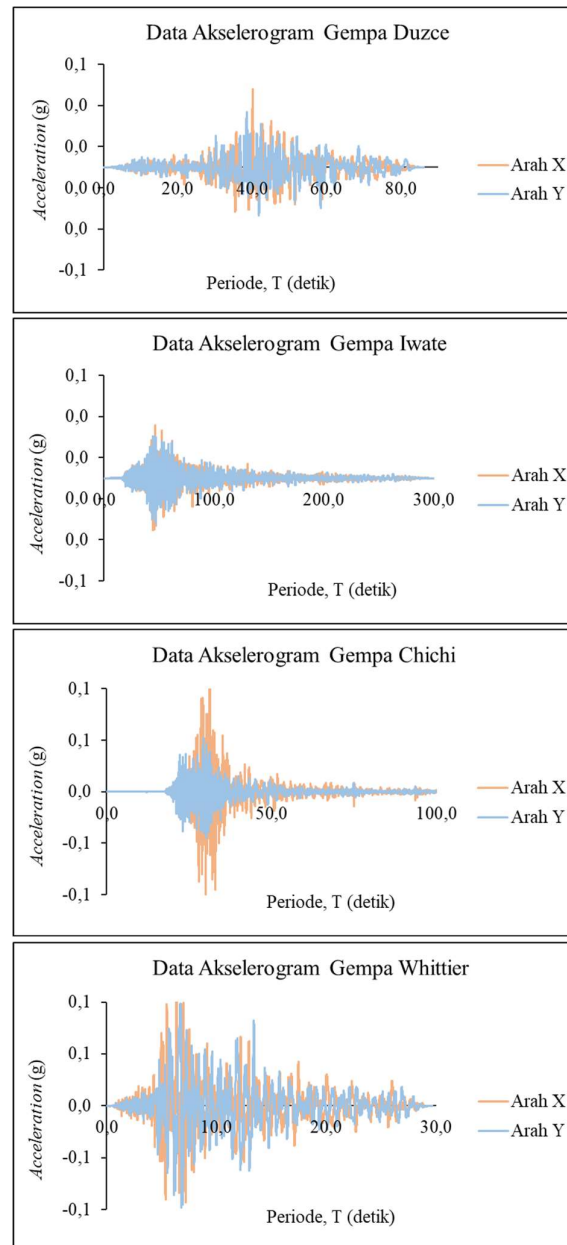
Grafik respon spektrum desain Kota Semarang dengan jenis tanah lunak, memiliki nilai  $S_s$  0,911 g,  $S_1$  0,391 g. Setelah itu, nilai  $F_a$  dan  $F_v$  pada SNI 1726:2019, sehingga didapatkan nilai  $F_a$  1,171 dan  $F_v$  2,436. Berdasarkan SNI 1726:2019 grafik respons spektral desain ditentukan berdasarkan Pasal 6 dan didapatkan grafik seperti yang tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Respons spektrum Kota Semarang

## Data akselerogram

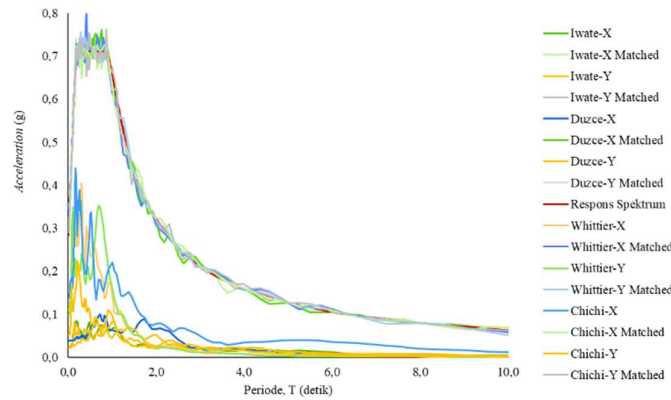
Analisis riwayat waktu menggunakan 4 rekam gempa yaitu gempa Duzce, Iwate, Whittier, dan Chichi seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Data akselerogram gempa Duzce, Iwate, Whittier, dan Chichi

## *Spectral matching*

Pencocokan *ground motion* dilakukan dengan menggunakan *software* ETABS dimana pencocokkan dilakukan berdasarkan "Time Domain" untuk *ground motion* masing-masing arah dicocokkan secara spektral ke dalam spektrum respons desain seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Spectral matching pada gempa Duzce, Iwate, Whittier, dan Chichi

Hasil *spectral matching* dengan menggunakan software ETABS memiliki nilai *error* kurang dari 10%, sehingga rekaman gempa yang sudah dicocokkan secara spektral bisa dijadikan sebagai beban gempa rencana untuk analisis dinamik riwayat waktu.

**Gaya geser analisis dinamik respons ragam**

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, didapatkan nilai  $V_x$  sebesar 21.642,54 kN dan  $V_y$  sebesar 20.699,52 kN. Nilai gaya geser dasar dinamik respons ragam dari dua arah lebih kecil dari nilai gaya geser dasar seismik ( $V$ ). Sehingga perlu dilakukan penyesuaian skala terhadap analisis dinamik respon ragam yang ditentukan berdasarkan:

$$SF = \frac{V_{Statik}}{V_{Dinamik}} \tag{7}$$

Setelah dilakukan penskalaan ulang berdasarkan persamaan (7) pada beban gempa respons ragam, didapatkan nilai:

$$V_{RG-X} = 33.734,19 \text{ kN}$$

$$V_{RG-Y} = 33.733,59 \text{ kN}$$

Kedua nilai gaya geser analisis dinamik repons ragam sudah memenuhi persyaratan untuk kontrol  $V_d > 100\%V_s$ .

**Gaya geser analisis dinamik riwayat waktu**

Gaya geser elastik analisis dinamik riwayat waktu didapatkan dari *output software* ETABS seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Gaya geser elastik

Load Case	$V_{EX}$ (kN)	$V_{EY}$ (kN)
Duzce	100727,613	85697,07
Iwate	109381,751	92338,82
Whittier	102124,045	88999,05
Chichi	110710,139	88095,89

Penentuan gaya geser dasar inelastik untuk analisis dinamik riwayat waktu tertera pada SNI 1726:2019 pasal 7.9.2.5.1. Gaya geser dasar inelastik maksimum untuk arah x dan y ditentukan dengan persamaan:

$$V_I = \frac{V_E I_e}{R} \tag{8}$$

**Tabel 2.** Gaya geser inelastik

Load Case	$V_{EX}$ (kN)	$V_{EY}$ (kN)
Duzce	21584,49	18363,66
Iwate	23438,95	19786,89
Whittier	21883,72	19071,22
Chichi	23723,60	18877,69

Gaya geser inelastik yang dihasilkan harus memenuhi persyaratakan dimana harus lebih dari 100% gaya geser dasar seismik ( $V$ ). Oleh karena itu, harus diskalakan dengan faktor skala yang ditentukan berdasarkan persamaan dibawah ini:

$$\eta = \frac{V}{V_i} \quad (9)$$

Setelah faktor skala ditentukan, kemudian dihasilkan gaya geser baru seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Kontrol gaya geser analisis dinamik riwayat waktu skala baru

Load Case	V <sub>EX</sub> (kN)	V <sub>EY</sub> (kN)	V <sub>statik</sub> (kN)	Kontrol
Duzce-X	33740,13	-	33733,88	Memenuhi
Duzce-Y	-	33751,50	33733,88	Memenuhi
Iwate-X	33749,50	-	33733,88	Memenuhi
Iwate-Y	-	33750,11	33733,88	Memenuhi
Whittier-X	33735,20	-	33733,88	Memenuhi
Whittier-Y	-	33735,68	33733,88	Memenuhi
Chichi-X	33734,37	-	33733,88	Memenuhi
Chichi-Y	-	33782,38	33733,88	Memenuhi

### Ketidakteraturan struktur

Penentuan analisis yang diizinkan untuk evaluasi struktur gedung ditentukan berdasarkan kategori desain seismik (KDS) dan karakteristik struktur. Karakteristik struktur seperti tinggi gedung, kategori risiko dan jenis ketidakteraturan struktur menjadi salah satu aspek untuk menentukan prosedur analisis yang diizinkan. Struktur gedung rumah sakit 7 lantai 1 *basement* memiliki kategori desain seismik D, tinggi 36,8 m dan memiliki ketidakteraturan struktur yang tertera pada Tabel 4. Hal ini menjadikan rumah sakit ini tidak diizinkan untuk dievaluasi dengan analisis statik ekuivalen. Oleh sebab itu, penerapan evaluasi kinerja struktur dengan analisis respon ragam dan riwayat waktu sudah memenuhi persyaratan SNI.

**Tabel 4.** Ketidakteraturan struktur

Ketidakteraturan	Cek
<u>Ketidakteraturan Horizontal</u>	
Kategori 1.a	Tergolong
Kategori 1.b	Tidak Tergolong
Kategori 2	Tergolong
Kategori 3	Tidak Tergolong
Kategori 4	Tergolong
Kategori 5	Tidak Tergolong
<u>Ketidakteraturan Vertikal</u>	
Kategori 1.a	Tidak Tergolong
Kategori 1.b	Tidak Tergolong
Kategori 2	Tergolong
Kategori 3	Tidak Tergolong
Kategori 4	Tidak Tergolong
Kategori 5.a	Tidak Tergolong

### Simpangan antar tingkat analisis dinamik respons ragam

Simpangan pada analisis dinamik reespons ragam ditentukan berdasarkan persamaan:

$$\Delta = \frac{C_d \delta_{xc}}{I_e} \quad (10)$$

Berdasarkan persamaan tersebut didapatkan simpangan antar tingkat seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5. SNI mensyaratkan simpangan antar tingkat untuk kategori resiko IV sebesar 0,01 dari tinggi tingkat di bawahnya. Simpangan antar tingkat mulai lantai 3 terlihat memiliki nilai rasio simpangan antar tingkat lebih dari 0,01 baik arah x maupun arah y. Simpangan yang dihasilkan pada analisis dinamik respons spektrum melebihi simpangan antar tingkat izin sehingga struktur belum memenuhi syarat simpangan antar tingkat izin oleh SNI 1726:2019 untuk kategori resiko IV.

**Tabel 5.** Simpangan antar tingkat akibat beban dinamik respons ragam

Lantai	Displacement		Displacement		h	Story Drift		Story Drift Limit	Rasio Simpangan antar Tingkat		Rasio Batas	Cek
	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$	$\delta_x$	$\delta_y$		$\Delta_x$	$\Delta_y$		Arah X	Arah Y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)				
Rumah Lift	93,87	113,44	344,19	415,94	2700	31,06	38,13	93,87	0,0115	0,0141	0,01	NOT OK
Atap	85,40	103,04	313,13	377,82	4500	52,21	66,44	85,40	0,0116	0,0148	0,01	NOT OK
6	71,16	84,92	260,92	311,38	4500	56,43	69,42	71,16	0,0125	0,0154	0,01	NOT OK
5	55,77	65,99	204,49	241,96	4500	55,51	67,58	55,77	0,0123	0,0150	0,01	NOT OK
4	40,63	47,56	148,98	174,38	4200	47,85	57,16	40,63	0,0114	0,0136	0,01	NOT OK
3	27,58	31,97	101,13	117,22	4200	42,17	49,69	27,58	0,0100	0,0118	0,01	NOT OK
2	16,08	18,42	58,96	67,53	4200	34,69	40,01	16,08	0,0083	0,0095	0,01	OK
1	6,62	7,51	24,27	27,52	4500	24,27	27,52	6,62	0,0054	0,0061	0,01	OK
Dasar	0,00	0,00	0,00	0,00	3500	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,01	OK

**Simpangan antar tingkat analisis dinamik riwayat waktu**

Perhitungan simpangan antar tingkat pada prosedur analisis dinamik riwayat waktu memperhitungkan pengaruh torsi tak terduga. Hal ini sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 7.9.2.5.4 yang ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe} \eta}{R} \tag{11}$$

Berdasarkan persamaan 11 didapatkan nilai simpangan untuk seluruh beban gempa dinamik riwayat waktu seperti pada Tabel 6 sampai Tabel 9.

**Tabel 6.** Simpangan antar tingkat akibat rekam gempa Duzce

Lantai	Displacement		Displacement		h	Story Drift		Drift Limit	Rasio Simpangan antar Tingkat		Rasio Batas	Cek
	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$	$\delta_x$	$\delta_y$		$\Delta_x$	$\Delta_y$		Arah X	Arah Y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)				
Rumah Lift	61,99	101,03	76,12	145,83	2700	7,04	15,69	20,77	0,0026	0,0058	0,01	OK
Atap	56,26	90,16	69,08	130,13	4500	11,90	23,98	34,62	0,0026	0,0053	0,01	OK
6	46,56	73,55	57,18	106,16	4500	12,79	24,69	34,62	0,0028	0,0055	0,01	OK
5	36,15	56,44	44,39	81,47	4500	12,45	23,52	34,62	0,0028	0,0052	0,01	OK
4	26,01	40,15	31,94	57,95	4200	10,56	19,45	32,31	0,0025	0,0046	0,01	OK
3	17,41	26,68	21,38	38,50	4200	9,06	16,55	32,31	0,0022	0,0039	0,01	OK
2	10,04	15,21	12,32	21,96	4200	7,29	13,10	32,31	0,0017	0,0031	0,01	OK
1	4,10	6,14	5,03	8,86	4500	5,03	8,86	34,62	0,0011	0,0020	0,01	OK
Dasar	0,00	0,00	0,00	0,00	3500	0,00	0,00	26,92	0,0000	0,0000	0,01	OK

**Tabel 7.** Simpangan antar tingkat akibat rekam gempa Iwate

Lantai	Displacement		Displacement		h	Story Drift		Drift Limit	Rasio Simpangan antar Tingkat		Rasio Batas	Cek
	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$	$\delta_x$	$\delta_y$		$\Delta_x$	$\Delta_y$		Arah X	Arah Y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)				
Rumah Lift	64,20	86,64	72,10	116,06	2700	6,63	13,01	20,77	0,0025	0,0048	0,01	OK
Atap	58,34	76,929	65,97	103,05	4500	11,18	18,92	34,62	0,0025	0,0042	0,01	OK
6	48,45	62,808	54,80	84,13	4500	12,05	19,60	34,62	0,0027	0,0044	0,01	OK
5	37,80	48,177	42,75	64,54	4500	11,82	18,83	34,62	0,0026	0,0042	0,01	OK
4	27,35	34,117	30,93	45,70	4200	10,12	15,57	32,31	0,0024	0,0037	0,01	OK
3	18,41	22,494	20,81	30,13	4200	8,78	13,12	32,31	0,0021	0,0031	0,01	OK
2	10,65	12,701	12,04	17,01	4200	7,14	10,23	32,31	0,0017	0,0024	0,01	OK
1	4,33	5,066	4,90	6,79	4500	4,90	6,79	34,62	0,0011	0,0015	0,01	OK
Dasar	0,00	0	0,00	0,00	3500	0,00	0,00	26,92	0,0000	0,0000	0,01	OK



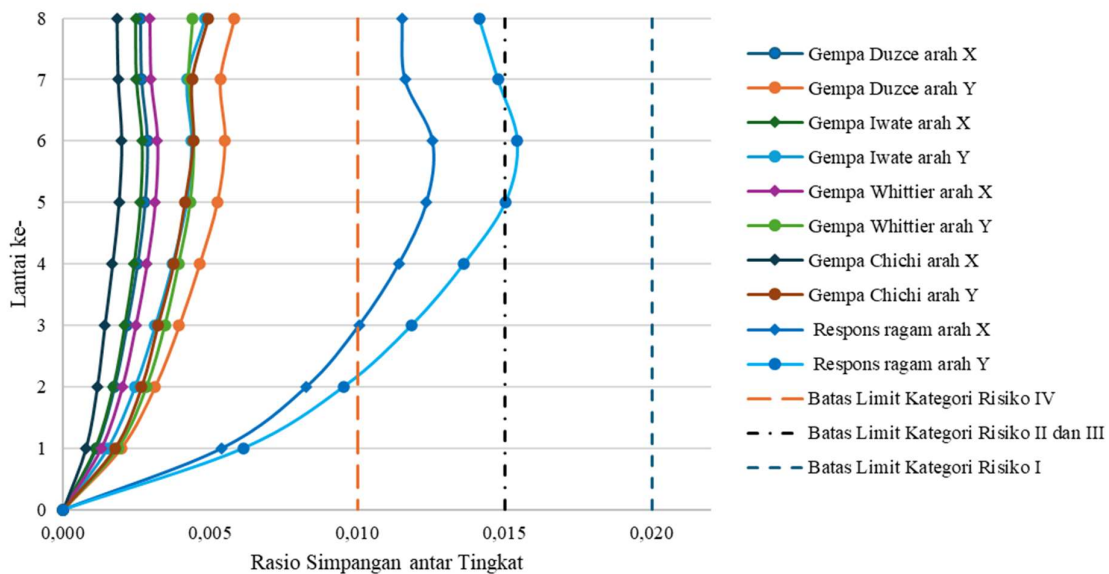
**Tabel 8.** Simpangan antar tingkat akibat rekam gempa Whittier

Lantai	Displacement		Displacement		h	Story Drift		Drift Limit	Rasio Simpangan antar Tingkat		Rasio Batas	Cek
	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$	$\delta_x$	$\delta_y$		$\Delta_x$	$\Delta_y$		Arah X	Arah Y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)					
Rumah Lift	71,04	87,48	86,04	121,57	2700	7,90	11,88	20,77	0,0029	0,0044	0,01	OK
Atap	64,51	78,93	78,14	109,69	4500	13,35	19,18	34,62	0,0030	0,0043	0,01	OK
6	53,49	65,13	64,78	90,51	4500	14,36	19,95	34,62	0,0032	0,0044	0,01	OK
5	41,63	50,77	50,42	70,57	4500	14,00	19,40	34,62	0,0031	0,0043	0,01	OK
4	30,07	36,82	36,42	51,17	4200	11,91	16,46	32,31	0,0028	0,0039	0,01	OK
3	20,24	24,97	24,51	34,71	4200	10,31	14,48	32,31	0,0025	0,0034	0,01	OK
2	11,72	14,56	14,20	20,23	4200	8,40	11,88	11,72	0,0020	0,0028	0,01	OK
1	4,79	6,01	5,80	8,35	4500	5,80	8,35	4,79	0,0013	0,0019	0,01	OK
Dasar	0,00	0,00	0,00	0,00	3500	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,01	OK

**Tabel 9.** Simpangan antar tingkat akibat rekam gempa Chichi

Lantai	Displacement		Displacement		h	Story Drift		Drift Limit	Rasio Simpangan antar Tingkat		Rasio Batas	Cek
	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$	$\delta_x$	$\delta_y$		$\Delta_x$	$\Delta_y$		Arah X	Arah Y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)					
Rumah Lift	46,43	85,39	51,88	119,89	2700	4,90	13,32	20,77	0,0018	0,0049	0,01	OK
Atap	42,05	75,90	46,98	106,57	4500	8,34	19,70	34,62	0,0019	0,0044	0,01	OK
6	34,59	61,87	38,64	86,87	4500	8,89	19,87	34,62	0,0020	0,0044	0,01	OK
5	26,62	47,72	29,75	67,00	4500	8,49	18,58	34,62	0,0019	0,0041	0,01	OK
4	19,02	34,49	21,25	48,42	4200	7,02	15,79	32,31	0,0017	0,0038	0,01	OK
3	12,74	23,24	14,23	32,63	4200	5,92	13,51	32,31	0,0014	0,0032	0,01	OK
2	7,44	13,61	8,32	19,11	4200	4,84	11,19	32,31	0,0012	0,0027	0,01	OK
1	3,11	5,65	3,47	7,93	4500	3,47	7,93	34,62	0,0008	0,0018	0,01	OK
Dasar	0,00	0,00	0,00	0,00	3500	0,00	0,00	26,92	0,0000	0,0000	0,01	OK

Hasil analisis dinamik riwayat waktu dengan pengaruh beban gempa Duzce, Iwate, Whittier, dan Chi Chi seluruhnya memenuhi persyaratan batasan simpangan antar tingkat izin oleh SNI 1726:2019 dikarenakan nilai simpangan yang dihasilkan kurang dari simpangan izin. SNI mensyaratkan simpangan antar tingkat untuk kategori resiko IV sebesar 0,01 dari tinggi tingkat di bawahnya.



**Gambar 4.** Simpangan antar tingkat analisis dinamik

Perbandingan simpangan antar tingkat berdasarkan beberapa prosedur analisis dinamik disajikan pada Gambar 4. Berdasarkan kedua analisis yang dilakukan, nilai simpangan antar tingkat yang dihasilkan pada analisis dinamik



linear respons ragam dan riwayat waktu mengalami perbedaan hasil yang signifikan. Simpangan antar tingkat yang dihasilkan oleh analisis dinamik respons ragam lebih besar dibandingkan analisis riwayat waktu. Nilai simpangan antar tingkat hasil analisis respons ragam maksimum berada pada lantai 6 dengan arah X sebesar 56,41 mm dan arah Y 69,50 mm. Sedangkan pada analisis riwayat waktu, nilai simpangan antar tingkat maksimum akibat beban gempa Duzce arah X sebesar 12,79 mm dan arah Y 24,69 mm, akibat beban gempa Iwate arah X sebesar 12,05 mm dan arah Y 19,60 mm, akibat beban gempa Whittier arah X 14,00 mm dan arah Y 19,95 mm, akibat beban gempa Chichi arah X 8,89 mm dan arah Y 19,87 mm. Perbedaan nilai tersebut dikarenakan pada analisis riwayat waktu penentuan nilai simpangan antar tingkat berdasarkan respons perpindahan terkomposisi dengan memperhitungkan torsi tidak terduga.

### Level kinerja struktur

SNI 1726:2019 tidak mengatur terkait level kinerja gedung, oleh sebab itu penentuan level kinerja struktur mengacu pada ATC-40 (Applied Technology Council, 1996). Penentuan level kinerja ditentukan berdasarkan nilai *maximum total drift* dan *maximum total inelastic drift*. ATC-40 menggolongkan level kinerja berdasarkan *maximum total drift* menjadi 4 level kinerja berdasarkan nilai limit rasio simpangan antar tingkatnya, yaitu *Immediate Occupancy* (0,01); *Damage Control* (0,01-0,02); *Life Safety* (0,02) dan *Structural Stability* (0,33  $V_i/P_i$ ). Penentuan level kinerja berdasarkan *maximum total inelastic drift* dibagi menjadi 4 level kinerja berdasarkan nilai limit rasio simpangan antar tingkatnya, yaitu *Immediate Occupancy* (0,005); *Damage Control* (0,005-0,015); *Life Safety* (tidak ada batas) dan *Structural Stability* (tidak ada batas). Level kinerja struktur gedung rumah sakit 7 lantai 1 *basement* tertera pada Tabel 10. Hasil analisis menunjukkan bahwa level kinerja berdasarkan analisis respon spektrum menghasilkan kinerja gedung *Damage Control*, sedangkan level kinerja berdasarkan analisis riwayat waktu pada rekaman gempa Duzce, Iwate, Whittier, dan Chi Chi seluruhnya menunjukkan level kinerja *Immediate Occupancy*.

**Tabel 10.** Level kinerja struktur

Gempa Rencana	$D_t$ (mm)	$D_1$ (mm)	$H_n$ (mm)	<i>Maximum Total Drift</i>	<i>Maximum Inelastic Drift</i>	Level Kinerja <i>Drift</i>	Level Kinerja <i>In-Elastic Drift</i>
RS Arah X	344,19	0,00	36800	0,009	0,009	<i>Damage Control</i>	<i>Damage Control</i>
RS Arah Y	415,94	0,00	36800	0,011	0,011	<i>Damage Control</i>	<i>Damage Control</i>
TH Duzce	76,12	0,00	36800	0,002	0,002	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>
TH Iwate	72,60	0,00	36800	0,002	0,002	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>
TH Whittier	86,04	0,00	36800	0,002	0,002	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>
TH Chichi	51,88	0,00	36800	0,001	0,001	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa gedung rumah sakit 7 lantai 1 *basement* termasuk dalam ketidakberaturan horizontal kategori 1.a untuk kedua arahnya, ketidakberaturan horizontal sudut dalam, Ketidakberaturan vertikal berat, ketidakberaturan vertikal kuat lateral tingkat kategori 5.b. Gedung memiliki ketinggian 36,8 meter, maka sesuai SNI 1726 analisis statik ekuivalen tidak diperkenankan untuk digunakan dalam analisis struktur pada gedung ini. Oleh sebab itu, penelitian dengan analisis dinamik respons ragam dan riwayat waktu memenuhi persyaratan prosedur analisis yang diizinkan oleh SNI.

Simpangan yang dihasilkan pada analisis dinamik respons spektrum melebihi simpangan antar tingkat izin sehingga struktur belum memenuhi syarat simpangan antar tingkat izin oleh SNI untuk kategori resiko IV. Sedangkan pada analisis dinamik riwayat waktu dengan pengaruh beban gempa Duzce, Iwate, Whittier, dan Chi Chi seluruhnya memenuhi persyaratan dikarenakan nilai simpangan antar tingkat yang dihasilkan kurang dari simpangan izin. Berdasarkan kedua analisis yang dilakukan, nilai simpangan antar tingkat yang dihasilkan pada analisis dinamik linear respons ragam dan riwayat waktu mengalami perbedaan hasil yang signifikan. Simpangan antar tingkat yang dihasilkan oleh analisis dinamik respons ragam lebih besar dibandingkan analisis riwayat waktu. Perbedaan nilai tersebut dikarenakan pada analisis riwayat waktu penentuan nilai simpangan antar tingkat berdasarkan respons perpindahan terkomposisi dengan memperhitungkan torsi tidak terduga.

## DAFTAR PUSTAKA

Anggen, W. S., Setiya Budi, A., & Gunawan, P. (2014). *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Analisis Dinamik Time History Menggunakan ETABS (Studi Kasus: Hotel di Daerah Karanganyar)*.

- Applied Technology Council. (1996). *ATC 40: Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Standar Nasional Indonesia 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung* (Issue 8).
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). *Standar Nasional Indonesia 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*.
- Hidayah, Wi. S., & Mughni, H. (2018). Studi Analisis Simpangan pada Konstruksi dengan Titik Pusat Massa Berada di Luar Bangunan Akibat Respons Spektrum Berdasarkan SNI 03-1726-2012. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*.
- Noor, D. (2006). *Geologi Lingkungan* (1st ed.). Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Patil, A. S., & Kumbhar, P. D. (2013). Time History Analysis of Multistoried RCC Buildings for Different Seismic Intensities. In *Int. J. Struct. & Civil Engg. Res* (Vol. 2, Issue 3). [www.ijscer.com](http://www.ijscer.com)
- Ramadhan, R. A., & Warsito, W. (2021). Studi Perencanaan Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (RSIA Lombok Dua Dua Surabaya). *JURNAL REKAYASA SIPIL*, 9(4).