

Evaluasi kinerja seismik pada struktur bangunan rumah sakit di wilayah tarakan dengan analisis dinamik respon spektrum

Muhammad Ilham¹, Yunalia Muntafi^{1*}

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Article Info

Available online

Keywords:

Earthquake
Spectrum Response
Dynamic Analysis
Structural Performance
ATC-40

Corresponding Author:

Yunalia Muntafi
yunalia@uii.ac.id

Abstract

Indonesia is a country with a high level of disaster vulnerability due to its unique location at the convergence of four tectonic plates (Indo-Australian Plate, Eurasian Plate, Philippine Sea Plate, and Pacific Plate). This geological setting results in numerous faults across Indonesia, and even Kalimantan the often-considered safest island has a fault called the Tarakan Fault, stretching 100 km, located near the city of Tarakan. Therefore, there is a need to assess the structural performance of buildings in Tarakan City to determine whether they meet earthquake resistance standards. The purpose of this research is to evaluate the structural performance of a specific research subject, a hospital building in the city of Tarakan. The evaluation employs the dynamic response spectrum analysis method with a capacity spectrum based on ATC-40. The analysis results include structural irregularities, inter-story drifts, and diaphragm forces. The analysis results indicate that the building exhibits irregularities in horizontal structure types 1a, 2, and 3, as well as vertical structure types 1a and 2. The largest inter-story displacements are measured at 0.0256 m in the x-direction and 0.0178 m in the y-direction. The structural performance assessment using the performance-based limit state and ultimate limit state methods concludes that the building is secure and complies with the required criteria in both x and y directions. According to ATC-40, the building's performance level based on Maximum Total and Maximum Inelastic Drift Ratio is Immediate Occupancy (IO). In conclusion, the building can withstand earthquakes with minimal risk of casualties and damage.

Copyright © 2024 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

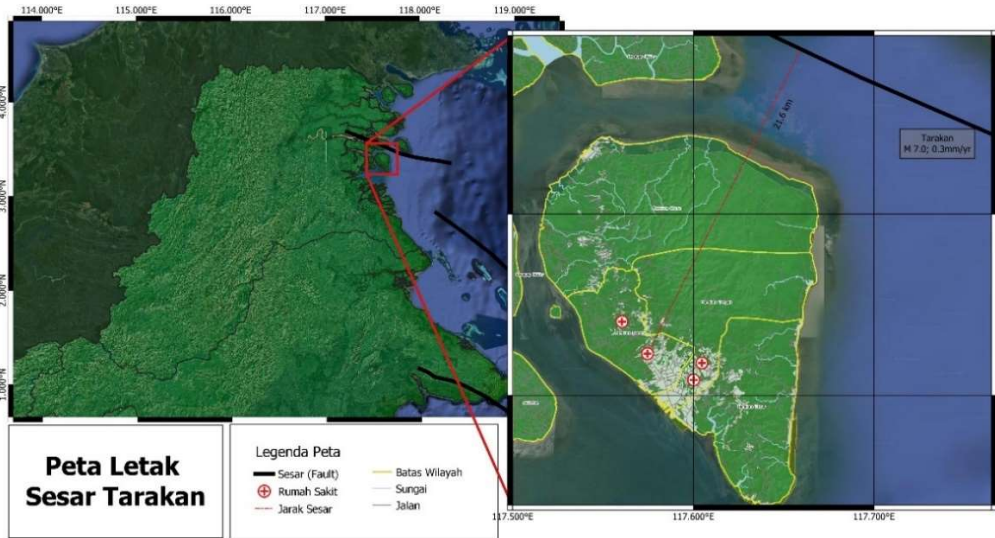
Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki tingkat kerawanan bencana gempa bumi yang tinggi. Letak geografis Indonesia yang berada pada pertemuan lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, lempeng Filipina dan lempeng Pasifik, serta memiliki dua jalur pegunungan yaitu *Circum Pasific Belt* dan *Alpide belt*, menyebabkan aktivitas gempa bumi yang terjadi di negara ini sangat tinggi. Akibat kondisi geografis tersebut, Indonesia memiliki banyak sesar/patahan yang tersebar di hampir seluruh wilayah, termasuk beberapa

sesar yang teridentifikasi di Pulau Kalimantan.

Pulau Kalimantan merupakan pulau yang sering dikatakan pulau paling aman dari gempa bumi. Namun, faktanya menurut Pusgen (2017) Pulau Kalimantan memiliki tiga zona sesar utama yaitu sesar Tarakan, Sesar Mangkalihat, dan sesar Meratus. Ketiga sesar tersebut memiliki panjang yang lebih dari 100 km yang berpotensi menimbulkan gempa dengan magnitudo 7. Gedung Rumah Sakit Pertamina dibangun di Kota Tarakan pada tahun 2018 dan selesai pada tahun 2019

dengan menggunakan SNI 1726 – 2012 dalam perencanaan ketahanan gempa untuk strukturnya. Oleh karena Gedung tersebut berlokasi di dekat sesar Tarakan (21,6 km) seperti yang ditampilkan pada Gambar 1 dan didesain dengan peraturan terdahulu (SNI 1726-2012), maka diperlukan evaluasi kinerja seismik untuk mengetahui kapasitas dan

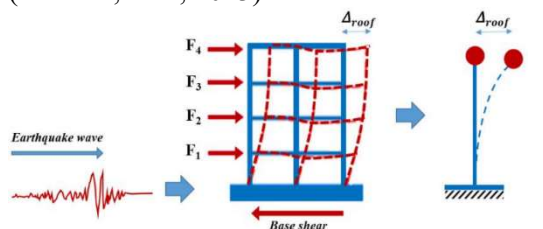
kinerja struktur akibat beban gempa dengan standar tahan gempa terbaru yaitu SNI 1726-2019. Evaluasi kinerja struktur berdasarkan ATC-40 pernah dilakukan oleh Muntafi, (2012), Utama (2021), dan Pangestu, dkk. (2021) dengan analisis pushover. Pada penelitian ini, analisis yang digunakan adalah analisis dinamik respon spektrum.



Gambar 1. Letak Sesar dan Rumah Sakit

Gempa Bumi dan Respon Struktur

Gempa bumi merupakan getaran asli dari dalam bumi, lalu merambat ke permukaan bumi akibat rekahan bumi pecah dan bergeser dengan keras (Nur, 2010). Bangunan tahan gempa adalah bangunan yang dapat bertahan jika terjadi bencana gempa dalam artian bangunan tersebut tidak runtuh dengan gempa berskala kecil maupun besar. Getaran tanah diterima pondasi dan diteruskan ke struktur atasnya. Ilustrasi perilaku struktur akibat dari beban gempa disajikan pada Gambar 2 (Muntafi, dkk., 2023).



Gambar 2. Ilustrasi perilaku struktur akibat gelombang gempa dan konversinya ke single degree of freedom (SDOF)

Menurut Pawirodikromo (2012), filosofi bangunan tahan gempa ialah pada gempa kecil (*light* atau *minor earthquake*) yang sering terjadi, maka struktur utama bangunan harus tidak rusak dan berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil yang masih dapat ditoleransi pada elemen non struktur masih dibolehkan dan pada gempa menengah (*moderate earthquake*) yang relatif jarang terjadi, maka struktur utama bangunan boleh rusak/retak ringan tapi masih dapat diperbaiki. Elemen non struktur dapat saja rusak tetapi masih dapat diganti yang baru, serta Pada gempa kuat (*strong earthquake*) yang jarang terjadi, maka bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total (*totally collapse*). Kondisi seperti ini juga diharapkan pada gempa besar (*great earthquake*), yang tujuannya adalah melindungi manusia/penghuni bangunan secara maksimum.

Analisis dinamik adalah analisis struktur dengan distribusi gaya geser seismik pada tiap-tiap lapisan didapatkan dengan

memperhitungkan pengaruh dinamik gerak tanah terhadap struktur. Pada analisis dinamik terdapat 2 (dua) metode yaitu Analisis ragam respon spektrum (*Response Spectrum*) dan Analisis riwayat waktu (*time history*).

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan mengevaluasi kinerja struktur sebuah bangunan Rumah Sakit di wilayah Tarakan menggunakan metode analisis dinamik respon spektrum berdasarkan SNI 1726-2019 dengan bantuan *software* ETABS, termasuk melakukan analisis batas layan maupun batas ultimit serta mencari level kinerja berdasarkan parameter kriteria dalam dokumen ATC-40 (1996).

Objek penelitian

Pada penelitian ini objek yang digunakan adalah bangunan yang berfungsi sebagai rumah sakit yang berlokasi di Kota Tarakan, Kalimantan Utara, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3. Gedung tersebut memiliki total 11 lantai dengan tinggi total bangunan sebesar 29,85 m.

Tabel 1. Daftar Lantai

Lantai	Tinggi Lantai (m)
Lantai 1	2,65
Lantai P1	1,55
Lantai 2	1,45
Lantai P2	2,40
Lantai Mezzanine	0,60
Lantai P3	3,25
Lantai 3	3,85
Lantai 4	3,85
Lantai 5	3,85
Lantai 6	3,85
Lantai Atap	2,55



Gambar 3. Lokasi Objek Penelitian

Data bangunan

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data dari dokumen *As-Built Drawing*. Berdasarkan data yang diperoleh, didapat bahwa mutu beton yang digunakan adalah 30 MPa dan mutu baja ulir dan baja polos yang digunakan adalah masing-masing 400 MPa dan 240 MPa. Selain itu, dimensi pada elemen-elemen struktur juga didapatkan sebagaimana yang disajikan pada tabel-tabel berikut.

Tabel 2. Jenis Pelat dan Dimensi

Jenis Pelat	Dimensi
S1	120 mm
S1A	120 mm
S2	150 mm
S3	200 mm

Sumber: As-Built Drawing

Tabel 3. Jenis Balok dan Dimensi

Jenis Balok	Dimensi
B1	300 × 600 mm
B1A	300 × 600 mm
B2	300 × 600 mm
B3	250 × 500 mm
BL1	300 × 600 mm
BL4	200 × 650 mm
BP	150 × 300 mm
BT1	200 × 400 mm
CB1	300 × 600 mm
CB3	300 × 500 mm
CG1	300 × 600 mm
CG1A	300 × 600 mm
CG1B	300 × 600 mm
CG2	300 × 650 mm
G1	300 × 650 mm
G1A	300 × 650 mm
G1B	300 × 650 mm
G1C	300 × 650 mm
G1D	300 × 650 mm
G1E	300 × 650 mm
G2	300 × 600 mm
G2A	300 × 600 mm
G2B	300 × 600 mm
G2C	300 × 600 mm
G3	250 × 500 mm
G4	550 × 800 mm
G6	400 × 850 mm

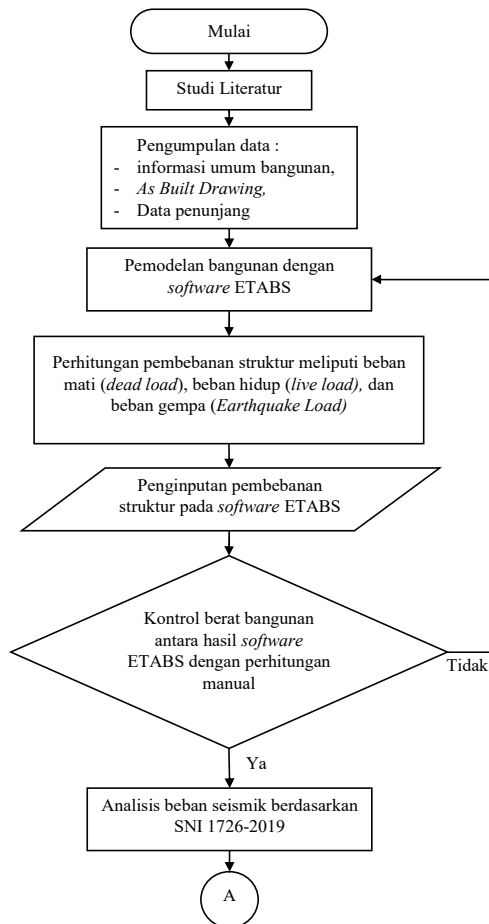
Sumber: As-Built Drawing

Tabel 4. Jenis Kolom dan Dimensi

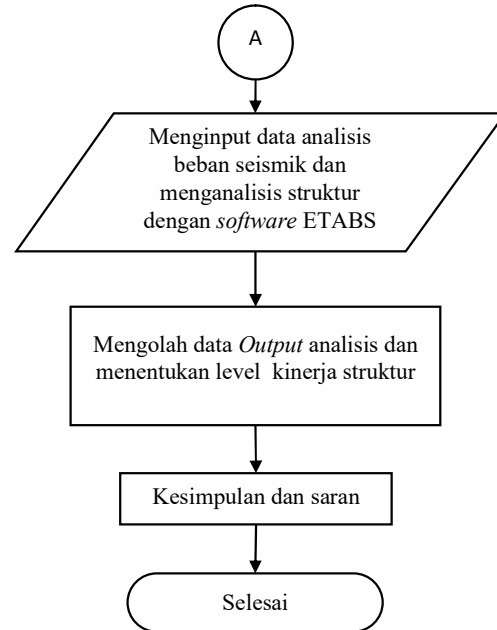
Jenis Balok	Dimensi
K1	700 × 700 mm
K1A	700 × 700 mm
K1B	700 × 700 mm
K1C	700 × 700 mm
K1D	700 × 700 mm
K1E	700 × 700 mm
K1F	700 × 700 mm
K2	400 × 800 mm
K2A	350 × 700 mm
K2B	350 × 700 mm
K2C	350 × 700 mm
K2D	350 × 700 mm
KT.1	200 × 400 mm
K.P	200 × 200 mm
K.P1	200 × 200 mm
K. 25×25	250 × 250 mm

Sumber: As-Built Drawing

Diagram Alir Tahapan Penelitian



Gambar 4. Diagram Alir Tahapan Penelitian

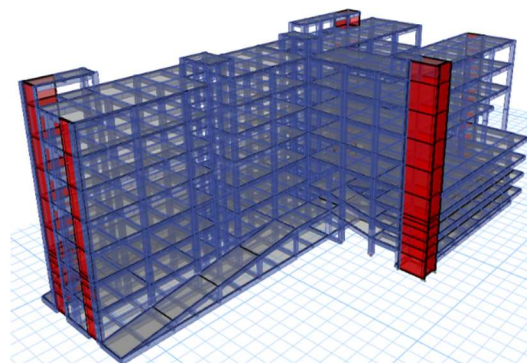


Lanjutan Gambar 4. Diagram Alir Tahapan Penelitian

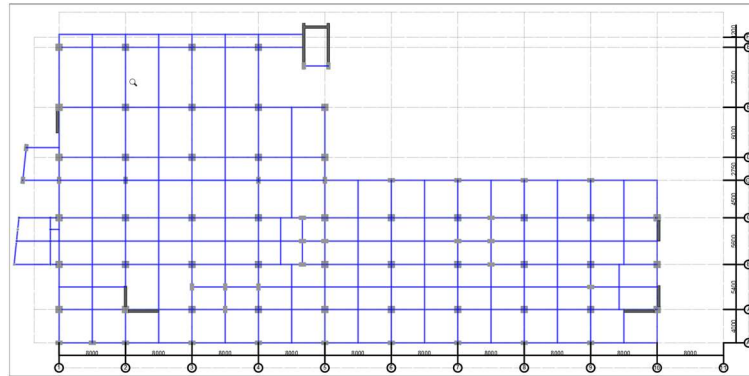
Analisis dan Hasil

Pemodelan struktur

Pemodelan dilakukan secara 3D dengan software ETABS dengan memodelkan setiap elemen struktur beserta tulangnya pada objek penelitian dengan acuan *As-Built Drawing*. Hasil pemodelan 3D struktur bangunan ditampilkan pada Gambar 5, sedangkan gambar denah objek penelitian disajikan pada Gambar 6.



Gambar 5. Pemodelan 3D pada ETABS



Gambar 6. Pemodelan Denah Salah Satu Lantai Objek Penelitian pada ETABS

Pembebanan struktur

Struktur yang ditinjau adalah struktur beton bertulang yang mengacu pada peraturan SNI 2847-2019 SNI 1727-2020. Beban-beban yang diperhitungkan, yaitu: beban mati (*dead load*), beban mati tambahan (*super imposed dead load*), beban hidup (*live load*) dan beban gempa (*earthquake*). Rekapitulasi beban total bangunan setiap lantai disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Contoh tabel dengan satu kolom

Lantai	Tinggi Lantai (m)	Berat Total (kN)
Lantai 1	2,65	5951,557
Lantai P1	1,55	9087,238
Lantai 2	1,45	4056,646
Lantai P2	2,40	7459,662
Lantai Mezzanine	0,60	3309,193
Lantai P3	3,25	10205,922
Lantai 3	3,85	9650,661
Lantai 4	3,85	10550,896
Lantai 5	3,85	9212,886
Lantai 6	3,85	9840,536
Lantai Atap	2,55	1819,313

Kategori risiko bangunan

Berdasarkan SNI 1726-2019, maka objek penelitian yang berupa bangunan gedung yang berfungsi sebagai rumah sakit termasuk kedalam kategori risiko IV.

Faktor keutamaan gempa

Oleh karena objek penelitian ini tergolong pada kategori risiko IV, sehingga berdasarkan SNI 1726-2019, didapatkan nilai faktor keutamaan gempa (*I_e*) sebesar 1,50.

Klasifikasi situs

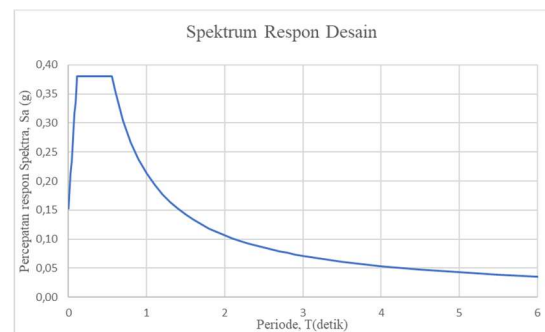
Lokasi objek penelitian memiliki nilai *V_s* sebesar 281 m/s sehingga jika berdasarkan SNI 1726-2019 maka termasuk kedalam kelas situs SD (tanah sedang).

Parameter percepatan gempa

Berdasarkan peta parameter percepatan respons spektral pada periode pendek dan periode 1,0 detik yang terdapat pada SNI 1726-2019, maka objek penelitian memiliki nilai *S_s* dan *S₁* secara berurutan adalah 0,3819 g dan 0,1375 g.

Spektrum respons desain

Grafik kurva spektrum respon desain dapat dibuat berdasarkan parameter-parameter pada SNI 1726-2019 dengan hasil seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva Spektrum Respon Desain

Kategori desain seismik

Pada SNI 1726-2019, kategori desain seismik dapat ditentukan dengan mengacu pada kategori risiko serta nilai *S_{DS}* dan *S_{D1}*. Berdasarkan hal tersebut, maka kategori desain seismik berdasarkan parameter respon

percepatan pada periode pendek dan periode 1 detik untuk objek penelitian ialah Kategori D.

Periode fundamental struktur

Waktu Getar Struktur (T_a)

$$T_a = C_t h_n^x$$

$$= 0,0466 \times 29,85^{0,9}$$

$$= 0,9949 \text{ detik}$$

Nilai Periode Maksimum (T_{max})

$$T_{max} = C_u \times T_a$$

$$= 1,4 \times 0,9949$$

$$= 1,3866 \text{ detik}$$

Periode Hasil ETABS

$$T_c = 1,6919 \text{ detik}$$

Maka periode struktur pakai ialah T_{max} sebesar 1,3866 detik.

Gaya geser dasar statik

$$\text{Nilai } C_s = \frac{SD_s}{R}$$

$$= \frac{0,3424}{1,5}$$

$$= 0,0642$$

Gaya geser dasar

$$V_{statik} = C_s \times W_t$$

$$= 0,0361 \times 90410,5$$

$$= 3268,15 \text{ kN}$$

Kontrol mass participant ratio

Modal mass participant ratio sebagaimana pada Tabel berikut.

Tabel 6. Modal Mass Participant Ratio

Mode Shape	Period	SumUX	SumUY
5	0,219	0,8376	0,8378
6	0,167	0,8453	0,8523
7	0,141	0,9134	0,8536
8	0,108	0,9189	0,9370
9	0,089	0,9647	0,9403
10	0,082	0,9651	0,9404
11	0,081	0,9653	0,9405
12	0,080	0,9687	0,9427

Setelah dilakukan analisis diperoleh hasil modal participant ratio yaitu pada arah X sebesar 96,87% dan 94,27% untuk arah Y pada Mode Shape 12, sehingga, telah memenuhi syarat paling minimal adalah 90%

Nilai gaya geser dasar (base shear)

Berdasarkan syarat pada SNI 1726-2019 gaya geser dasar dinamik harus lebih besar dibanding gaya geser dasar statik.

Tabel 7. Gaya Geser Dasar Awal

	V_{statik} (kN)	$V_{dinamik}$ (kN)	Cek
Arah X	3268,1501	2882,4838	Belum Ok
Arah Y	3268,1501	3235,1534	Belum Ok

Oleh karena nilai gaya geser dasar dinamik lebih kecil dibandingkan dengan gaya geser dasar statik, maka perlu dilakukan penskalaan gaya untuk memenuhi syarat.

Tabel 8. Gaya Geser Dasar Hasil Penskalaan

	V_{statik} (kN)	$V_{dinamik}$ (kN)	Cek
Arah X	3268,1501	3268,1671	Ok
Arah Y	3268,1501	3269,1560	Ok

Ketidakteraturan struktur

Sebuah Struktur bangunan perlu diklasifikasikan berdasarkan kriteria ketidakteraturan (SNI 1726-2019 pasal 7.3.2). Adapun klasifikasi ketidakteraturan tersebut dibagi menjadi 2 tipe konfigurasi yaitu horizontal dan vertikal. Pada penelitian ini didapatkan bahwa objek penelitian memiliki dua macam ketidakteraturan struktur tersebut, baik vertikal maupun horizontal.

Tabel 9. Ketidakteraturan Horizontal

Tipe	Status	Keterangan
1a	Ada	Arah Y pada Lantai P1
1b	Tidak	-
2	Ada	Seluruh Lantai
3	Ada	Lantai P1, P2 dan P3
4	Tidak	-
5	Tidak	-

Objek penelitian memiliki 3 ketidakteraturan horizontal yaitu tipe 1a (ketidakteraturan torsi) untuk arah Y pada lantai P1, tipe 2 (ketidakteraturan sudut dalam) pada seluruh

lantai dan tipe 3 (ketidakberaturan diskontinuitas diafragma) pada lantai P1, P2 dan P3.

Tabel 10. Ketidakberaturan Vertikal

Tipe	Status	Keterangan
1a	Ada	Arah Y pada Lantai P1
1b	Tidak	-
2	Ada	Seluruh Lantai
3	Tidak	-
4	Tidak	-
5	Tidak	-

Objek penelitian juga memiliki 2 (dua) ketidakberaturan vertikal yaitu tipe 1a (ketidakberaturan torsi) untuk lantai mezzanine dan tipe 2 (ketidakberaturan sudut dalam) untuk seluruh lantai.

Simpangan antar lantai

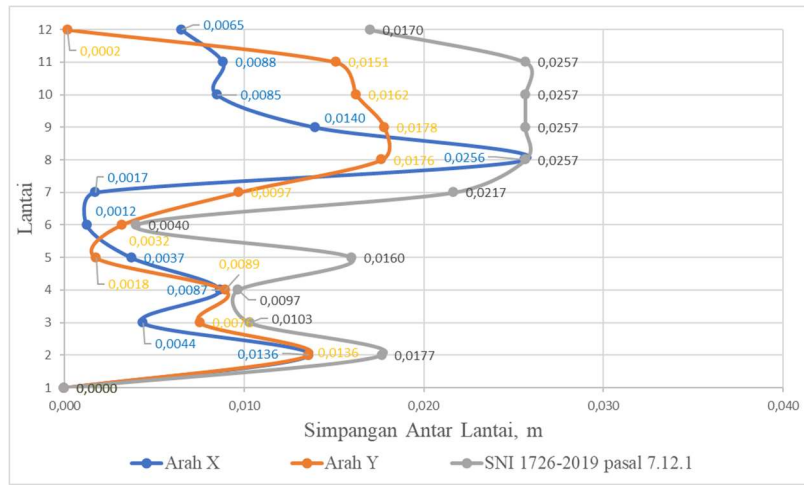
Simpangan antar lantai desain tidak boleh melebihi simpangan antar lantai izin (Δa). Pada penelitian ini fungsi bangunan yang digunakan ialah rumah sakit, maka batas izin simpangan antar lantai yaitu $0,010h_{sx}$. Berdasarkan pemeriksaan faktor redundansi, maka $\rho = 1$.

Tabel 11. Simpangan Antar Lantai Arah X

Lantai	δ (m)	δ_e (m)	Cd	Ie	Δx (m)	Tinggi (m)	Δ_{izin} (m)	Cek
Lantai Atap 2	0,0127	0,0018	5,5	1,5	0,0065	2,55	0,0170	Aman
Lantai Atap	0,0110	0,0024	5,5	1,5	0,0088	3,85	0,0257	Aman
Lantai 6	0,0086	0,0023	5,5	1,5	0,0085	3,85	0,0257	Aman
Lantai 5	0,0062	0,0038	5,5	1,5	0,0140	3,85	0,0257	Aman
Lantai 4	0,0100	0,0070	5,5	1,5	0,0256	3,85	0,0257	Aman
Lantai 3	0,0031	0,0005	5,5	1,5	0,0017	3,25	0,0217	Aman
Lantai P3	0,0035	0,0003	5,5	1,5	0,0012	0,6	0,0040	Aman
Mezzanine	0,0039	0,0010	5,5	1,5	0,0037	2,4	0,0160	Aman
Lantai P2	0,0049	0,0024	5,5	1,5	0,0087	1,45	0,0097	Aman
Lantai 2	0,0025	0,0020	5,5	1,5	0,0073	1,55	0,0103	Aman
Lantai P1	0,0045	0,0045	5,5	1,5	0,0165	2,65	0,0177	Aman
Lantai 1	0,0000	0,0000	5,5	1,5	0,0000	0	0,0000	Aman

Tabel 12. Simpangan Antar Lantai Arah Y

Lantai	δ (m)	δ_e (m)	Cd	Ie	Δx (m)	Tinggi (m)	Δ_{izin} (m)	Cek
Lantai Atap 2	0,0264	0,0001	5,5	1,5	0,0002	2,55	0,0170	Aman
Lantai Atap	0,0263	0,0041	5,5	1,5	0,0151	3,85	0,0257	Aman
Lantai 6	0,0222	0,0044	5,5	1,5	0,0162	3,85	0,0257	Aman
Lantai 5	0,0178	0,0049	5,5	1,5	0,0178	3,85	0,0257	Aman
Lantai 4	0,0129	0,0048	5,5	1,5	0,0176	3,85	0,0257	Aman
Lantai 3	0,0081	0,0027	5,5	1,5	0,0097	3,25	0,0217	Aman
Lantai P3	0,0054	0,0009	5,5	1,5	0,0032	0,6	0,0040	Aman
Mezzanine	0,0046	0,0005	5,5	1,5	0,0018	2,4	0,0160	Aman
Lantai P2	0,0041	0,0024	5,5	1,5	0,0089	1,45	0,0097	Aman
Lantai 2	0,0017	0,0021	5,5	1,5	0,0076	1,55	0,0103	Aman
Lantai P1	0,0037	0,0037	5,5	1,5	0,0136	2,65	0,0177	Aman
Lantai 1	0,0000	0,0000	5,5	1,5	0,0000	0	0,0000	Aman



Gambar 8. Grafik Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan Tabel 11 dan 12 serta Gambar 8 di atas, bahwa simpangan antar lantai yang dimiliki oleh objek penelitian tidak melebihi simpangan izin pada setiap lantainya, sehingga dapat disimpulkan bahwa objek penelitian masih memenuhi asesmen SNI 1726-2019 jika meninjau dari simpangan antar lantainya.

Kinerja batas layan

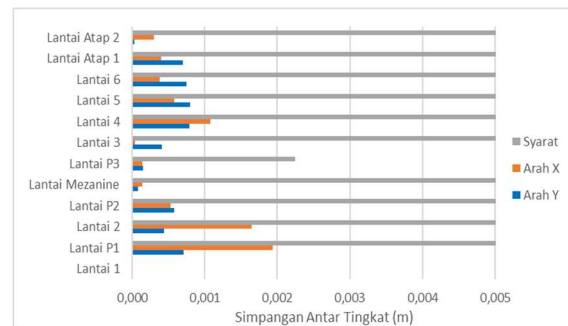
Kinerja batas layan adalah evaluasi kinerja bangunan yang didasarkan dengan SNI 1726-2002. Kinerja batas layan dimaksudkan untuk menjaga kenyamanan penghuni, meminimalisir kerusakan non-struktur dan membatasi peretakan beton berlebihan. Dengan persyaratan sebagai berikut: $\frac{\Delta}{FS} \leq \frac{0,03}{R} \times h_i \leq 30 \text{ mm}$.

Tabel 13. Kinerja Batas Layan Arah X

Lantai	Tinggi	Δ_{se}	Syarat	Cek
Atap 2	2,55	0,0003	0,0096	Aman
Atap	3,85	0,0004	0,0144	Aman
6	3,85	0,0004	0,0144	Aman
5	3,85	0,0006	0,0144	Aman
4	3,85	0,0011	0,0144	Aman
3	3,25	0,0000	0,0122	Aman
P3	0,60	0,0001	0,0023	Aman
Mezza	2,40	0,0001	0,0090	Aman
P2	1,45	0,0005	0,0054	Aman
2	1,55	0,0016	0,0058	Aman
P1	2,65	0,0019	0,0099	Aman
1	2,55	0,0000	0,1119	Aman

Tabel 14. Kinerja Batas Layan Arah Y

Lantai	Tinggi	Δ_{se}	Syarat	Cek
Atap 2	2,55	0,0000	0,0096	Aman
Atap	3,85	0,0007	0,0144	Aman
6	3,85	0,0007	0,0144	Aman
5	3,85	0,0008	0,0144	Aman
4	3,85	0,0008	0,0144	Aman
3	3,25	0,0004	0,0122	Aman
P3	0,60	0,0002	0,0023	Aman
Mezza	2,40	0,0001	0,0090	Aman
P2	1,45	0,0006	0,0054	Aman
2	1,55	0,0004	0,0058	Aman
P1	2,65	0,0007	0,0099	Aman
1	2,55	0,0000	0,1119	Aman



Gambar 9. Grafik Kontrol Kinerja Batas Layan

Melihat pada Tabel 13 dan 14 serta Gambar 9 di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa objek penelitian masih memenuhi batas layan yang disyaratkan.

Kinerja batas ultimit

Kinerja batas ultimit adalah evaluasi kinerja bangunan yang juga didasarkan pada SNI

1726-2002. Kinerja batas ultimit dimaksudkan untuk meminimalisir kemungkinan struktur gedung runtuh dan benturan dengan bangunan disekitarnya. Dengan persyaratan sebagai berikut:

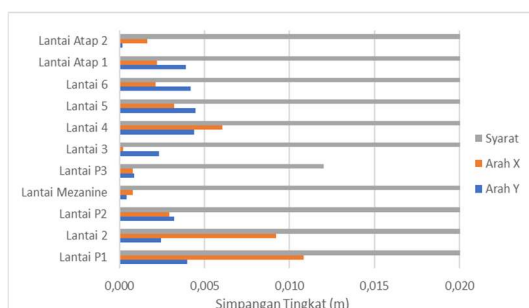
$$\xi \times \Delta \leq 0,02 \times h_i$$

Tabel 15. Kinerja Batas Ultimit Arah X

Lantai	Tinggi	Δ_{me}	Syarat	Cek
Atap 2	2,55	0,0017	0,0510	Aman
Atap	3,85	0,0022	0,0770	Aman
6	3,85	0,0021	0,0770	Aman
5	3,85	0,0032	0,0770	Aman
4	3,85	0,0061	0,0770	Aman
3	3,25	0,0002	0,0650	Aman
P3	0,60	0,0008	0,0120	Aman
Mezza	2,40	0,0008	0,0480	Aman
P2	1,45	0,0029	0,0290	Aman
2	1,55	0,0092	0,0310	Aman
P1	2,65	0,0108	0,0530	Aman
1	2,55	0,0000	0,0000	Aman

Tabel 16. Kinerja Batas Ultimit Arah Y

Lantai	Tinggi	Δ_{me}	Syarat	Cek
Atap 2	2,55	0,0002	0,0510	Aman
Atap	3,85	0,0039	0,0770	Aman
6	3,85	0,0042	0,0770	Aman
5	3,85	0,0045	0,0770	Aman
4	3,85	0,0044	0,0770	Aman
3	3,25	0,0023	0,0650	Aman
P3	0,60	0,0009	0,0120	Aman
Mezza	2,40	0,0004	0,0480	Aman
P2	1,45	0,0032	0,0290	Aman
2	1,55	0,0024	0,0310	Aman
P1	2,65	0,0040	0,0530	Aman
1	2,55	0,0000	0,0000	Aman



Gambar 10. Grafik Kontrol Kinerja Batas Ultimit

Berdasarkan Tabel 15 dan 16 serta Gambar 10 di atas didapat bahwa objek penelitian masih memenuhi batas ultimit yang disyaratkan.

Level kinerja berdasarkan ATC-40

ATC-40 (1996) membagi konsisi kerusakan (*damage states*) dan kategori level kinerja struktur dengan melihat nilai dari *Maximum Total Drift* dan *Maximum Inelastic Drift*.

Maximum Total Drift

$$\text{Arah X} = \frac{0,0127}{29,85} = 0,0004 < 0,01 \text{ (IO)}$$

$$\text{Arah Y} = \frac{0,0264}{29,85} = 0,0009 < 0,005 \text{ (IO)}$$

Maximum Inelastic Drift

$$\text{Arah X} = \frac{0,0127 - 0,0045}{29,85} = 0,0003 < 0,01 \text{ (IO)}$$

$$\text{Arah Y} = \frac{0,0264 - 0,0045}{29,85} = 0,0007 < 0,005 \text{ (IO)}$$

Berdasarkan hasil dari perhitungan *drift ratio* maka objek penelitian termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa ketidakberaturan struktur yang terjadi pada objek penelitian yaitu ketidakberaturan horizontal tipe 1a, 2 dan 3 serta ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 2. Adanya ketidakberaturan tersebut mengharuskan gaya desain ditingkatkan sebesar 25 % untuk elemen-elemen sistem pemikul gaya seismik sesuai SNI 1726-2019. Elemen-elemen yang dimaksud yaitu sambungan antara diafragma dengan elemen-elemen vertikal dan dengan elemen-elemen kolektor, serta elemen kolektor dan sambungannya, termasuk sambungan-sambungan ke elemen vertikal dari sistem pemikul gaya seismik.

Nilai gaya geser dasar (*base shear*) pada arah X sebesar 3268,167 kN dan pada arah Y sebesar 3269,156 kN, sedangkan nilai simpangan antar tingkat maksimum berada pada lantai 4 arah X sebesar 0,0256 m dan untuk arah Y sebesar 0,0178 m. Dari hasil analisis, simpangan antar lantai pada objek penelitian tidak melebihi simpangan izin

pada setiap lantainya, sehingga dapat disimpulkan bahwa objek penelitian masih memenuhi asesmen SNI 1726-2019.

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja struktur dengan metode kinerja batas layan dan batas ultimit struktur bangunan yang diteliti pada arah-x dan arah-y aman dan memenuhi dari batas yang disyaratkan, sedangkan dengan menggunakan metode ATC-40 didapatkan bahwa struktur bangunan tersebut masuk kedalam kategori level kinerja *Immediate Occupancy (IO)* yang berarti bahwa jika terjadi gempa, kerusakan yang terjadi pada bidang struktural sangat kecil/minim dan terjadi kerusakan ringan pada bidang nonstruktural.

Daftar Pustaka

- Applied Technology Council. (1996). *ATC-40 Seismic Evaluation dan Retrofit of Concrete Buildings Volume 1*. California: Seismic Safety Commission State of California.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung. (SNI 1726-2002)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. (SNI 1726-2019)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. (SNI 2847-2019)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. (SNI 1727-2020)*. Jakarta: BSN.
- Hutama, B. P. (2021). Evaluasi Kinerja Bangunan Rumah Sakit Maria Pernalang dengan Non-linier Static Pushover Analysis Metode ATC-40 dan FEMA 440. *Inertia* Vol. 17, No. 2, Desember 2021.
- Muntafi, Y., Nojima, N., & Ikramullah, I. (2023). Study of Ground Motion Models Selection to the Concrete Frame Building Damage Probability using the 2006 Yogyakarta Earthquake Scenario. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 1173, 012016
- Muntafi, Y. (2012). Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung DPU Wilayah Kabupaten Wonogiri dengan Analisis Pushover. *Prosiding Simposium Nasional RAPI XI FT UMS. 2012*. Surakarta.
- Nur, A. M. (2010). Gempa Bumi, Tsunami dan Mitigasinya. *Jurnal Geografi* Vol. 7 No. 1 Januari 2010. Universitas Negeri Semarang. Semarang
- Pangestu, S. F., & Pratama, M. M. A. (2021). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Pendekatan Desan Berbasis Kinerja. *Cantilever* Vol. 10, No. 2, Oktober 2021.
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Pusat Studi Gempa Nasional (Pusgen). (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.