

ANALISIS STRUKTUR RUMAH SAKIT DI JALAN SARWO EDHIE KOTA SEMARANG DENGAN SISTEM GANDA

**Talitha Zhafira^{1,*)}, Hani Purwanti¹⁾, Muhammad Azis Arwidiansyah¹⁾,
Muhammad Alfian Rahmansyah¹⁾**

¹Jurusan Teknik Sipil Universitas Semarang
Jl. Soekarno Hatta, RT 7/RW 7, Tlogosari Kulon, Kec. Pedurungan, Kota Semarang,
Jawa Tengah 50196
*)Correspondent Author: thalita@usm.ac.id

Abstract

Semarang City is an area that has the potential to experience earthquakes with a significant level of risk of building damage, including health facilities such as hospitals. This study aims to assess the structural performance of a Hospital in Semarang by combining two systems, namely special moment frames and shear walls. The evaluation was carried out through dynamic response spectrum analysis referring to SNI 1726:2019 by examining parameters such as mass participation, shear force distribution, inter-floor displacement, P-Delta effect, and dual system control. 3D modeling using ETABS v18.1.1 to calculate various loads, including dead load, live load, and earthquake load. According to SNI provisions, the study results revealed that mass participation exceeded 90% in mode 12. The maximum deviation between floors was recorded at 25.16 mm (X direction) and 17.24 mm (Y direction), within the safe limit of 48.46 mm. The P-Delta value (0.0149 and 0.0102) is also below θ maks, indicating structural stability. In conclusion, the design of this dual-system hospital meets the earthquake-resistant criteria and can be a reliable alternative for construction in earthquake-prone areas such as Semarang.

Keywords: dual system, spectrum response, earthquake resistance, inter-story drift, P-Delta.

PENDAHULUAN

Sebagai pusat pemerintahan Provinsi Jawa Tengah, Semarang termasuk dalam lima kota terbesar di Indonesia dan menjadi salah satu wilayah dengan kepadatan penduduk tertinggi di Pulau Jawa (Anang Prakoso, Talitha Zhafira, M Rafi Rangga P, 2024). Pertumbuhan penduduk yang pesat dalam tiga tahun terakhir, dengan laju rata-rata 0,44% per tahun (BPS, 2023), menuntut penyediaan fasilitas publik yang memadai, termasuk institusi kesehatan. Rumah sakit, Menurut Undang-Undang

Nomor 17 Tahun 2023, adalah organisasi kesehatan yang menyediakan layanan rawat inap, rawat jalan, dan gawat darurat. Sebagai infrastruktur vital, rumah sakit memegang peran krusial dalam mengurangi angka kesakitan dan kematian, terutama saat bencana (Kemenkes, 2024).

Kota Semarang terletak di wilayah rawan gempa, berdasarkan dengan zona Subduksi Sunda, sesar aktif Baribis-Kendeng, dan sesar aktif Ungaran (Robiana et al., 2021). Kondisi

ini meningkatkan risiko kerusakan struktural pada bangunan, termasuk rumah sakit. Oleh karena itu, desain struktur rumah sakit harus memenuhi standar ketahanan gempa untuk memastikan keamanan dan kelangsungan operasional pasca bencana (Kemenkes, 2024). Menurut hasil uji tanah *Standard Penetration Test* (SPT), lokasi pembangunan rumah sakit di Jalan Sarwo Edhi memiliki kondisi tanah lunak sedang (SD) dan termasuk dalam kategori desain seismik D, yang berarti perencanaan struktur yang khusus diperlukan.

Sistem struktur ganda yang menggabungkan sistem dinding geser khusus dan sistem rangka pemikul momen, menjadi solusi efektif untuk meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa. Sistem ini dirancang sesuai dengan standar SNI 1726:2019 tentang prosedur rencana ketahanan gempa (Mahmuda, 2023). Di daerah dengan resiko gempa bumi tinggi seperti semarang, sistem ganda sangat dibutuhkan untuk menghindari kerusakan struktur yang parah (Mahmuda, 2023).

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja struktur gedung rumah sakit di Kota Semarang dengan menggunakan sistem ganda melalui metode dinamika respon spektrum. Analisis ini difokuskan pada evaluasi parameter struktural, seperti partisipasi massa (*mass participation*), distribusi gaya geser (*shear force distribution*), simpangan antar tingkat (*inter-story drift*), pengaruh P-Delta (*P-Delta effect*), dan kontrol sistem ganda (*dual system control*). Hasil analisis

diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan desain struktur yang lebih aman dan efisien, serta mendukung upaya mitigasi risiko bencana gempa di wilayah rawan seismik seperti Kota Semarang.

Penelitian sebelumnya milik (Ariq et al., 2024) mengkaji gedung IGD terpadu tanpa menggunakan sistem ganda, berbeda dengan penelitian tersebut, studi ini secara khusus mengevaluasi kinerja sistem ganda pada gedung rumah sakit enam lantai di Semarang dengan tanah kategori SD melalui analisis spektrum respons yang mencakup partisipasi massa, gaya geser dasar, simpangan antar tingkat, pengaruh P-Delta, dan kontrol sistem ganda sekaligus, sehingga memberikan gambaran komprehensif kelayakan desain struktur rumah sakit tahan gempa di wilayah rawan seismik.

METODE PENELITIAN

Proses penelitian ini terdiri dari beberapa tahap. Data dikumpulkan, kemudian dilakukan permodelan struktur, analisis tekanan dan evaluasi kinerja struktur. Sebagai acuan, penelitian ini menggunakan peraturan seperti SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, SNI 2847:2019, dan peta lokasi sumber dan risiko gempa di Indonesia 2017. Model tiga dimensi dari struktur bangunan, yang meliputi kolom, balok, pelat lantai, tangga, dan dinding inti, dibangun menggunakan perangkat lunak ETABS 18.1.1.

Perhitungan beban yang digunakan untuk sistem rumah sakit ini didasarkan pada peraturan SNI

1727:2020 dan SNI 1726:2019. Jenis beban yang dipertimbangkan meliputi beban mati (D), beban hidup (L), beban angin (W), dan beban gempa (E). berat bangunan itu sendiri, serta beban mati tambahan membentuk beban mati. Perhitungan beban gempa menggunakan metode desain respons spektrum gempa. Klasifikasi jenis tanah, periode getaran alami struktur, rasio redaman, dan tingkat duktilitas struktur semuanya memengaruhi nilai spektrum gempa.

Nilai percepatan tanah pundak diperkirakan akan melebihi 2% dalam 50 tahun. Sesuai peraturan SNI pasal 6.2, faktor amplifikasi untuk periode pendek (0,2 detik) dan periode 1 detik ditentukan. Nilai-nilai parameter ini akan digunakan untuk menentukan kurva desain respons spektrum. dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

Keterangan:

S_{D1} = parameter respon spektra desain periode 1 detik

S_{DS} = parameter respon spektra desain periode pendek

T_0 = waktu awal bangunan merespon beban gempa (detik)

T_S = waktu tempuh untuk periode pendek (detik)

Analisis simulasi terhadap model yang telah disesuaikan dengan data perencanaan dilanjutkan dengan evaluasi

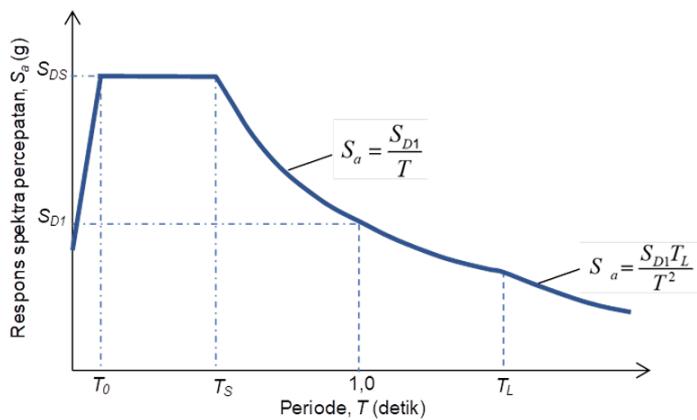
kelayakan struktural. Hasil analisis yang diperoleh termasuk partisipasi massa, waktu vibrasi alami, dan kekuatan tarik. Hasil-hasil ini kemudian dibandingkan dengan syarat-syarat yang sesuai dengan SNI 1726:2019 untuk menentukan apakah struktur bangunan tersebut memenuhi standar perencanaan yang berlaku. Partisipasi massa menggambarkan rasio massa bangunan yang terpengaruh oleh getaran yang dialami oleh struktur tersebut (Nursani & Noor, 2023). Menurut (Badan Standardisasi Nasional, 2019), jumlah mode massa harus cukup untuk mencapai setidaknya 90% dari masa aktual struktur. Setiap struktur memiliki waktu getaran alami,

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (1)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2)$$

atau waktu yang dibutuhkan oleh struktur untuk bergerak saat terjadi gempa bumi atau terkena angin. Dalam analisis dinamik, periode getar ini direpresentasikan melalui bentuk mode mode *shape*.

Jumlah kekuatan gempa yang diterima dari sebuah struktur oleh gempa bumi akan berkurang jika jangka waktu fundamental struktur tersebut diperpanjang (Doni Suhendro Sinaga, Fera Lestari, 2023), seperti yang terlihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Spektrum Respons Desain

Sumber: SNI 1726:2019

Untuk menghindari struktur yang fleksibel, periode getar harus dikontrol. Persamaan 3 dan 4 dapat digunakan untuk menghitung nilai periode minimum dan maksimum.

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (3)$$

$$T_{max} = C_u \cdot T_a \quad (4)$$

Keterangan:

h_n = ketinggian struktur dari dasar sampai tingkat tertinggi struktur (meter)

C_t = koefisien periode

C_u = koefisien untuk batas untuk waktu yang dihitung

T_a = batas minimum periode (detik)

T_{max} = batas maksimum periode (detik)

X = koefisien periode fundamental

Gaya geser dapat terjadi di mana massa struktur akan berbanding lurus dengan gaya geser yang bekerja, menghasilkan gaya geser itu sendiri (Nursani & Noor, 2023). Gaya geser dasar statik, perhitungan berat seismik efektif jika dilakukan dengan mempertimbangkan gaya geser dasar seismik (V) total komponen lantai memiliki 25% beban hidup dan beban mati, ditentukan melalui penerapan persamaan 5.

$$V_{statik} = C_s \cdot W \quad (5)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik

V_{statik} = gaya geser dasar

W = berat seismik efektif (kN)

Nilai geser dinamis dikendalikan oleh gaya geser dasar statis (V_{statik}) sesuai (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Nilai geser statik dasar yang diperoleh dari analisis spektrum respons harus setara atau lebih besar dari 100% nilai geser statik. Jika nilai geser dinamis minimum tidak terpenuhi, nilai faktor skala harus dirancang sesuai persamaan 6.

$$\text{faktor skala} = \frac{V_{statik}}{V_{dinamik}} \quad (6)$$

Untuk mengatahui apakah struktur dapat menahan beban tertentu, terutama beban yang disebabkan oleh pergeseran antar lantai dan efek P-Delta yang disebabkan oleh gempa. persyaratan kinerja batas akhir struktur bergantung pada pergeseran lantai yang disebabkan oleh gempa. Ini dilakukan agar struktur gedung tidak mengalami simpangan

antar tingkat yang berlebihan. persamaan 7 dapat digunakan untuk menghitung perbedaan simpangan di pusat massa pada level-x (δ_x)

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \quad (7)$$

Keterangan:

C_d = faktor pembesar defleksi

δ_{xe} = simpangan ditingkat-x yang disyaratkan dan ditentukan sesuai dengan analisis elastis

I_e = faktor keutamaan gempa

Sesuai dengan (Badan Standardisasi Nasional, 2019) simpangan antar lantai yang diizinkan tidak boleh melebihi penyimpangan yang ditunjukkan pada Tabel 1 yang tercantum di bawah ini.

Tabel 1. Simpangan Antar Tingkat Izin

Struktur	Kategori resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	0,025hsx	0,020hsx	0,015hsx

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional, 2019)

P-Delta adalah momen yang dihasilkan tekanan yang dihasilkan oleh berat struktur dan beban aksial yang diberikan (P) dibagi dengan lendutan pertama (Δ) (Mirza, 2022). Menurut (Badan Standardisasi Nasional, 2019), jika koefisien stabilitas (θ) sama dengan atau kurang dari 0,1 maka pengaruh P-Delta terhadap gaya geser yang terjadi dan simpangan antar tingkat dapat diabaikan. Faktor stabilitas ini dapat dihitung menggunakan Persamaan 8.

$$\theta = \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \quad (8)$$

Keterangan:

h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat-x (mm)

C_d = faktor pembesaran defleksi.

I_e = faktor keutamaan gempa

P_x = beban aksial total pada dan di atas tingkat-x (kN)

V_x = gaya geser seismik yang bekerja antar tingkat-x dan x-1 (kN)

Δ = simpangan antar tingkat (mm)

θ = koefisien stabilitas

Koefisien stabilitas tidak boleh melebihi koefisien stabilitas maksimum (θ_{maks}) yang ditetapkan dalam persamaan 9.

$$\theta_{maks} = \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \quad (9)$$

Keterangan:

β = rasio kapasitas geser tingkat antara tingkat dan x-1.

θ_{maks} = koefisien stabilitas maksimum.

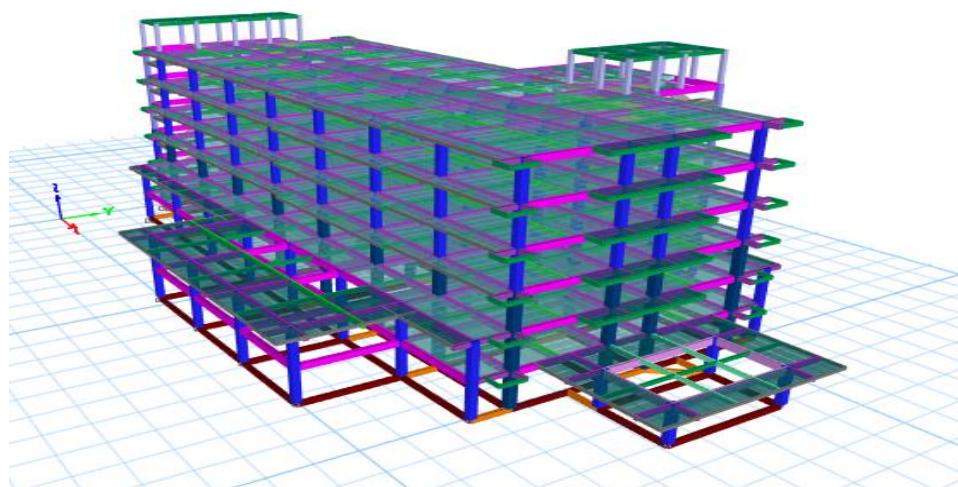
Sistem Ganda, juga dikenal sebagai Sistem Dua, adalah sistem struktur di mana rangka ruang (rangka) memikul beban gravitasi sepenuhnya, sementara

rangka ruang dan dinding geser (dinding geser) memikul beban lateral. Rangka momen sistem harus mampu menahan setidaknya 25% kekuatan gempa yang dirancang menurut (Badan Standardisasi Nasional, 2019) pasal 7.2.5.1

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Struktur Gedung

Rumah sakit memiliki total luas +825 m² dengan enam lantai dan satu lantai atap. Komponen struktur kolom, balok, pelat lantai, dan pelat lantai dibangun dengan mutu beton $f_c = 30$ MPa dan mutu tulangan $f_y = 420$ Mpa. Program ETABS digunakan untuk memodelkan struktur versi 18.1.1. Gambar 2 menunjukkan hasil pemodelan struktur gedung.



Gambar 2. Pemodelan Struktur *Software ETABS*

Pembebanan Struktur Gedung

Beban mati, beban hidup, dan beban hujan adalah semua jenis beban gravitasi. Untuk menghitung beban gravitasi. Selain itu, ada beban lateral yang mencakup beban angin dan beban gempa. Beban ultimit (state batas terakhir) adalah salah satu dari banyak kombinasi ini.

Beban Mati

Perangkat lunak ETABS versi 18.1.1 dapat digunakan untuk menghitung beban mati struktur secara otomatis. Selain beban mati struktur, ada beban mati tambahan, atau beban lebih dengan

menghitung volume elemen struktur berdasarkan berat jenis material itu sendiri.

Berdasarkan sumber terlihat beban mati tambahan tiap pelat lantai sebesar 2,69 kN/m², dan beban mati tambahan pelat atap yang merata sebesar 1,6 kN/m². Karena struktur balok menopang beban statis, maka beban statis tambahan yang ada pada balok juga di perhitungkan, misalnya beban garis seperti dinding bata ringan sebesar 10,5 kN/m, *curtain wall* kaca sebesar 2,52 kN/m, dan *Cladding metal sheet* sebesar 0,84 kN/m.

Beban Hidup

Seperti yang ditunjukkan dibawah ini, bangunan rumah sakit ini menggunakan

beban hidup (Badan Standardisasi Indonesia, 2020).

Tabel 2. Beban Hidup Merata

Fungsi ruangan	Beban hidup merata (kN/m ²)
Ruang pasien	1,92
Koridor	3,83
Ruang operasi	2,87
Laboratorium	2,87
Ruang arsip	4,79

Sumber: (Badan Standardisasi Indonesia, 2020)

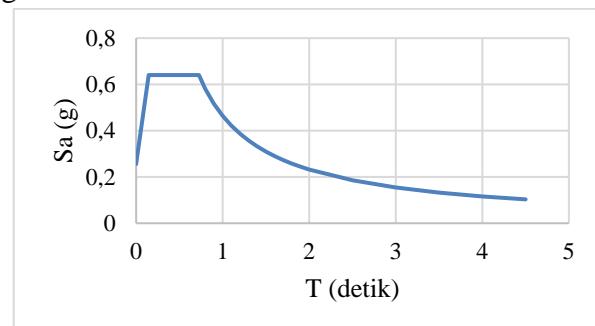
Beban reaksi yang berhubungan dengan mesin *lift* juga penting untuk mempertimbangkan beban hidup yang dihasilkan oleh *lift*. *lift* penumpang dengan kapasitas 15 orang total beban maksimum 1.000 kg, berdasarkan katalog brosur *Hyundai Lift* didapat reaksi akibat ruang mesin lift sebesar R1 12.030 kg dan R2 6.650 kg, kedua beban terpusat ditempatkan pada balok yang menopang mesin *lift*.

Beban Gempa Metode Desain Spektrum

Spektrum respons terdiri dari plot periode getaran struktur T dan respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan seismik (Tuwanakota & Banten, 2021). Software ETABS digunakan untuk menghitung analisis dinamik

spektrum respons struktur. Sesuai SNI 1726:2019, beban gempa diberikan kepada struktur untuk melakukan analisis.

Geografisnya, gedung rumah sakit terletak pada $7^{\circ}02'87,3''$ Lintang Selatan dan $110^{\circ}48'83,8''$ Bujur Timur. Hasil analisis website *Design Response Spectrum* Indonesia 2021 menunjukkan nilai percepatan batuan dasar 1 detik adalah 0,3586 g, S1 sebesar 0,3586 g, dan SS sebesar 0,8194 g. Akibatnya, nilai percepatan spektral periode pendek SD1 sebesar 0,47 g dan nilai percepatan spektral periode pendek SDS sebesar 0,64 g. Gambar 3 menunjukkan kurva yang menunjukkan besarnya percepatan gempa sebelum T_0 , di antara T_0 dan T_s , dan setelah T_s .



Gambar 3. Grafik Spektrum Gempa

Sistem Ganda

Sistem yang dirancang untuk menahan kekuatan gempa lateral terdiri dari dua sistem yang masing-masing dilengkapi dengan rangka pemikul momen yang dirancang khusus. Penentuan ini didasarkan pada kategori desai sismik (KDS), yang membantu dalam memilih tujuan sistem penahanan gaya seismik adalah untuk memastikan bahwa spesifikasi struktur memenuhi persyaratan berdasarkan kekuatan gempa diprediksi. Menurut SNI 1726:2019, bagian 7.2.2, struktur dinding geser beton bertulang khusus memiliki nilai faktor kekuatan sistem (Ω_0) sebesar 2,5, dan nilai faktor pembesaran lendutan (C_d) sebesar 5,5, dan koefisien modifikasi respons (R) adalah 7.

Partisipasi Massa

Menurut partisipasi massa sebesar 90% menunjukkan bahwa hampir semua komponen dalam struktur bangunan mengalami getaran saat terjadi gempa, yang berpotensi menyebabkan kerusakan signifikan. Jika jumlah ragam harus ditingkatkan maka partisipasi massa yang dihasilkan masih di bawah 90%. Berdasarkan data dari program perangkat lunak *ETABS* versi 18.1.1 yang tercantum pada Tabel 3, yang dimana partisipasi massa memperoleh hasil yang melebihi 90% untuk arah X dan Y pada mode ke-12 dengan hasil sebesar 97,81% dan 98,36%. Oleh karena itu, struktur ini memenuhi persyaratan SNI 1726:2019.

Tabel 3. Nilai Partisipasi Massa

Mode	Periode (detik)	UX	UY	Sum UX	Sum UY
1	0,988	0,879	0,003	0,6071	0,0016
2	0,809	0,01	0,975	0,6137	0,6678
3	0,709	0,113	0,023	0,6837	0,6846
4	0,248	0,785	0,001	0,8527	0,6847
5	0,193	0,001	0,997	0,8528	0,9079
6	0,169	0,221	0,004	0,8949	0,9080
7	0,116	0,721	0,016	0,9428	0,9083
8	0,092	0,042	0,939	0,9448	0,9625
9	0,091	0,398	0,453	0,9448	0,9639
10	0,077	0,244	0,063	0,9540	0,9657
11	0,074	0,617	0,045	0,9781	0,9664
12	0,061	0,252	0,601	0,9781	0,9836

Pada mode ke-12 sejalan dengan rekomendasi SNI 1726:2019 bahwa jumlah mode harus cukup untuk menangkap $\geq 90\%$ massa struktur, dan hasil ini konsisten dengan studi Nursani & Noor (2023) serta Mirza (2022) yang

juga mendapatkan partisipasi massa di atas 90% pada struktur dengan sistem ganda.

Periode fundamental menunjukkan bahwa didapatkan 0,988 detik yang dapat dilihat pada Tabel 3. Periode

tersebut lalu dikontrol sesuai ketentuan SNI 1726:2019 pada Persamaan 1 dan 2 sehingga didapatkan nilai

$$T_a = 0,971 \text{ detik}$$

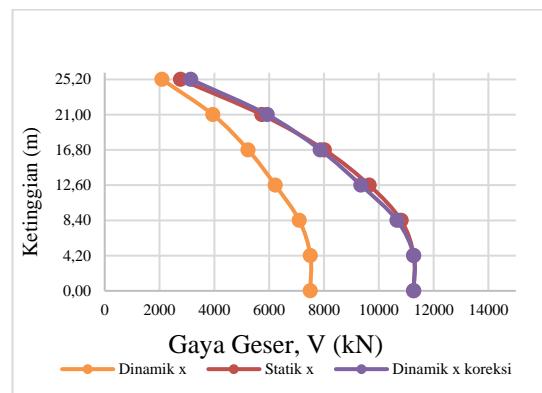
$$T_c = 0,988 \text{ detik}$$

$$T_{maks} = 1,3594 \text{ detik}$$

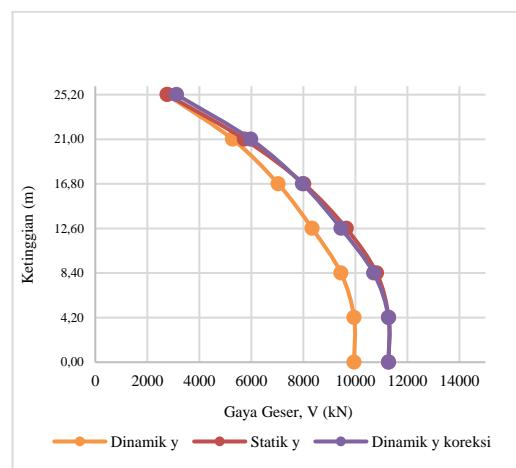
Didapatkan hasil bahwa $T_a > T_c > T_{maks}$, oleh karena itu, periode dasar pendekatan, yang merupakan batas minimum periode, yaitu detik, adalah periode struktur desain yang digunakan.

Gaya Geser

Arah gempa X memiliki nilai gaya dasar dinamik ($V_{dinamik}$) sebesar 7.505,85 kN dan arah gempa Y memiliki nilai gaya geser dasar statik sebesar 9.951,37 kN. Nilai gaya geser dasar dinamik ini lebih rendah dari 100% nilai gaya geser dasar statik, menurut hasil analisis yang dilakukan pada program ETABS versi 18.1.1 dengan metode analisis respons spektrum. Oleh karena itu, faktor skala untuk arah gempa X dan Y harus memenuhi nilai gaya geser dasar dinamik minimum adalah 1,5024 dan 1,1332, dan nilai gaya geser dinamik ($V_{dinamik}$) masing-masing adalah 11.276,80 kN dan 11.276,90 kN. Distribusi gaya geser tingkat statis, dinamik, dan terkoreksi ditunjukkan pada gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Gaya Geser Tingkat Pada Arah X



Gambar 5. Gaya Geser Tingkat Pada Arah Y

Nilai persentase V_{statik} yang dikoreksi dan $V_{dinamik}$ pada arah X dan Y adalah 100,002% dan 100,0011%, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 dan 5. Nilai-nilai ini memenuhi persyaratan SNI 1726:2019, yang menetapkan bahwa $V_{dinamik}$ harus memiliki nilai minimal 100% dari V_{statik} .

Simpangan Antar Tingkat

Gaya lateral dapat menyebabkan simpangan antar tingkat, gaya lateral harus dihilangkan. Jika sebuah gedung semakin tinggi, simpangan antar tingkatnya akan semakin besar,

terutama di lantai paling atas. Karena memiliki nilai batas deviasi antar level 0,15 h_{sx} yang tinggi untuk setiap lantai, tabel 4 dan 5 menunjukkan bahwa

bangunan rumah sakit ini termasuk dalam kategori IV menunjukkan hasil perhitungan program ETABS 18.1.1.

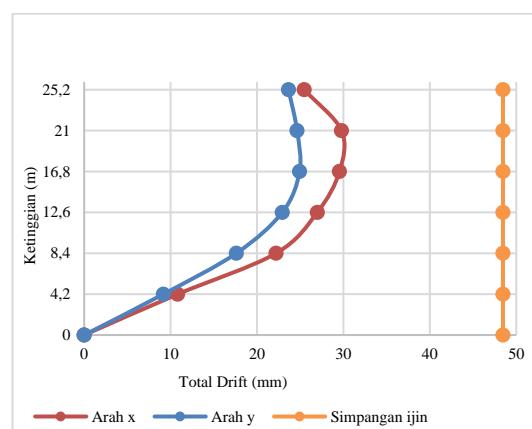
Tabel 4. Perhitungan *Story Drift* Arah X

Lantai	Tinggi lantai, h_{sx}	Perpindahan elastis, δ_x	$\frac{\text{Perpindahan diperbesar, } \delta_x \text{ Cd}}{I_e}$	Story drift, Δ_x	Story drift limit, Δ_a	Cek $\Delta_x < \Delta_a$
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Rooftop	4200	32,64	119,68	22,69	48,46	Aman
Lantai 6	4200	26,45	96,99	25,16	48,46	Aman
Lantai 5	4200	19,59	71,83	24,84	48,46	Aman
Lantai 4	4200	12,82	46,99	21,33	48,46	Aman
Lantai 3	4200	7,00	25,66	17,61	48,46	Aman
Lantai 2	4200	2,20	8,05	8,05	48,46	Aman
Lantai 1	4200	0,00	0,00	0,00	48,46	Aman

Tabel 5. Perhitungan *Story Drift* Arah Y

Lantai	Tinggi lantai, h_{sx}	Perpindahan elastis, δ_y	$\frac{\text{Perpindahan diperbesar, } \delta_y \text{ Cd}}{I_e}$	Story drift, Δ_y	Story drift limit, Δ_a	Cek $\Delta_x < \Delta_a$
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Rooftop	4200	22,54	82,64	17,20	48,46	Aman
Lantai 6	4200	17,85	65,45	17,24	48,46	Aman
Lantai 5	4200	13,15	48,21	16,81	48,46	Aman
Lantai 4	4200	8,56	31,40	14,75	48,46	Aman
Lantai 3	4200	4,54	16,65	11,10	48,46	Aman
Lantai 2	4200	1,52	5,56	5,56	48,46	Aman
Lantai 1	4200	0,00	0,00	0,00	48,46	Aman

Nilai *story drift* maksimum dapat diperoleh arah X dan Y memiliki hasil sebesar 25,16 mm dan 17,24 mm pada lantai 6. Nilai simpangan antar lantai pada gedung rumah sakit dinyatakan aman karena nilai *story drift* tidak melebihi *story drift limit* sebesar 48,46 mm. Hasilnya menunjukkan bahwa gedung rumah sakit memenuhi persyaratan keamanan kinerja batas atas sesuai SNI 1726:2019. Gambar 6 menunjukkan diagram perbandingan simpang antar tingkat.



Gambar 6. Diagram Simpangan Antara Tingkat

Pengaruh P-Delta

Menurut persamaan 9, nilai maksimum θ adalah 0,0909. Tabel 6 dan 7

menunjukkan kalkulasi nilai P-Delta pengaruh dalam arah X dan Y.

Tabel 6. Perhitungan Nilai Pengaruh P-Delta Arah X

Lantai	P (kN)	Vx (kN)	θ_x (radian)	θ_{maks} (radian)	Cek $\theta_x < \theta_{maks}$
Rooftop	12.345,88	2.103,24	0,0086	0,0909	Aman
Lantai 6	30.428,14	3.973,34	0,0125	0,0909	Aman
Lantai 5	48.798,11	5.269,02	0,0149	0,0909	Aman
Lantai 4	67.272,71	6.264,14	0,0149	0,0909	Aman
Lantai 3	89.050,31	7.146,21	0,0142	0,0909	Aman
Lantai 2	109.451,70	7.555,46	0,0076	0,0909	Aman
Lantai 1	109.451,70	7.555,46	0,0000	0,0909	Aman

Tabel 7. Perhitungan Nilai Pengaruh P-Delta Arah Y

Lantai	P (kN)	Vy (kN)	θ_y (radian)	θ_{maks} (radian)	Cek $\theta_x < \theta_{maks}$
Rooftop	12.345,88	2.095,74	0,0066	0,0909	Aman
Lantai 6	30.428,14	4.006,95	0,0085	0,0909	Aman
Lantai 5	48.798,11	5.338,20	0,0100	0,0909	Aman
Lantai 4	67.272,71	6.330,95	0,0102	0,0909	Aman
Lantai 3	89.050,31	7.171,27	0,0089	0,0909	Aman
Lantai 2	109.451,70	7.555,53	0,0052	0,0909	Aman
Lantai 1	109.451,70	7.555,53	0,0000	0,0909	Aman

Menurut Tabel 6 dan 7, hasil pemeriksaan terhadap pengaruh P-Delta pada struktur gedung rumah sakit Sakit sesuai dengan persyaratan dan penelitian yang dilakukan oleh Zhafira (2023). Nilai θ tidak boleh lebih besar dari θ_{maks} sebesar 0,0909. Pola ini sejalan dengan temuan Mirza (2022), yang juga melaporkan nilai θ jauh di bawah batas untuk gedung rumah sakit dengan sistem ganda Akibatnya, *story drift* dan *story shear* yang disebabkan oleh pengaruh P-Delta harus dipertimbangkan. Oleh karena itu, struktur rumah sakit dapat dianggap

tahan terhadap tekanan gempa dan tidak diperlukan perbaikan.

Kontrol Sistem Ganda

SNI 1726:2019 menetapkan bahwa sistem Rangka Pemikul Momen harus dapat menahan geser searah gempa sebesar 25% dari total beban geser nominal. Respon yang lengkap dari penempatan SRPMK dan dinding geser ditunjukkan di sini. Tabel 8 menunjukkan reaksi pengendapan dan persentase gaya geser gempa yang dipikul pada arah X dan Y.

Tabel 8. Kontrol Sistem Ganda

Gaya Geser	Sistem Ganda (kN)	SRPM (kN)	Persentase (%)
Vx	8.735,6	2.771,2	31,7
Vy	8.926,9	2.027,3	26,7

Dibandingkan dengan SRPM, dua sistem memiliki kekuatan tarik yang lebih besar dengan perbedaan persentase yang signifikan pada kedua arah (Vx dan Vy). Hasil Nursani & Noor (2023) atau studi lain tentang sistem ganda yang menemukan bahwa proporsi geser pada rangka di atas 25% berkontribusi pada kinerja seismik yang lebih duktial.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis struktur gedung rumah sakit di Jalan Sarwo Edhie, Kota Semarang, dengan sistem ganda yang terdiri dari dinding geser dan rangka penahan momen khusus dapat disimpulkan bahwa struktur tersebut memenuhi standar ketahanan gempa sesuai SNI 1726:2019. Partisipasi massa mencapai lebih dari 90%, simpangan antar tingkat maksimum (25,16 mm arah X dan 17,24 mm arah Y) berada dibawah batas izin 48,46 mm dan pengaruh P-Delta menunjukkan nilai aman dengan koefisien stabilitas (θ) di bawah batas maksimum. Sistem ganda efektif menahan beban gempa, dengan frame tahan momen khusus yang dapat menahan lebih dari 25% tegangan tarik nominal. Gaya geser dasar dinamik juga memenuhi syarat minimal 100% dari gaya geser statik setelah dikoreksi. Struktur gedung ini aman, stabil, dan cocok untuk wilayah rawan gempa

seperti Semarang, mendukung kelangsungan operasional rumah sakit pasca bencana.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat membantu memajukan ilmu pengetahuan dan teknologi teknik sipil, khususnya dalam membangun struktur yang tahan gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Anang Prakoso, Talitha Zhafira, M Rafi Rangga P.H.P., 2024, *Tembalang Planning of A 5 Story Lecture Building in The Tembalang Area*. 10(02), 76–82.
- Ariq, I.S., Zhafira, T., Eryan, D., Mawada, S., & Widorini, T., 2024, *Analisis Kinerja Struktur Gedung IGD Terpadu K.R.M.T Wongsonegoro Kota Semarang*. 25(1), 21–28.
- Badan Standardisasi Indonesia, 2020, SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. *SNI 1727:2020*, 8, 1–336.
- Badan Standardisasi Nasional, 2019, Tata cara perencanaan ketahanan

- gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung. *SNI 1726:2019*, 8.
- BPS, 2023, Kota Semarang Dalam Angka 2023. *Kota Semarang Dalam Rangka Municipality in Figures*, 51, 358.
- Doni Suhendro Sinaga, Fera Lestari, V.K.Y.R.O.S., 2023, Jurnal Teknik Sipil 1 Jurnal Teknik Sipil. *Jurnal Sendi Teknik Sipil*, 4(1), 1–8.
- Kemenkes, 2024, *Buku Pedoman Rumah Sakit Aman Bencana (Kemenkes)*. 1–82.
- Mahmuda, D.I., 2023, *Analisis Gedung Mall Cipto Center Town Semarang*. 10(2), 100–111. <https://doi.org/10.21063/JTS.2023.V1002.100-111>
- Mirza, I., 2022, *Analisis Kinerja Struktur Gedung Rumah Sakit Berdasarkan SNI Gempa 1726-2019 (Studi Kasus: RSIA Bunda Aliyah Depok-Jawa Barat)*. 4(11), 177–184.
- Nursani, R., & Noor, D.E., 2023, Analisis Pengaruh Penambahan Dinding Geser terhadap Perilaku Struktur Gedung Sistem Ganda. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 8(02), 105–114. <https://doi.org/10.29244/jsil.8.02.105-114>
- Robiana, R., Afif, H., Cipta, A., Omang, A., & Solikhin, A., 2021, Simplifikasi Pembagian Kelas Batuan Berdasarkan Nilai Periode Dominan : Studi Kasus Kota Semarang. *Bulletin Vulkanologi Dan Bencana Geologi*, 15(1), 11–20.
- Tuwanakota, E., & Banten, C.P., 2021, Analisis Kekuatan Struktur Berdasarkan Respon Spektrum Terhadap Gaya Gempa Yang AKan Datang di Kota Sorong. *Jurnal Karkasa*, 7(2), 62–71.