

Redesain Struktur Gedung Portal Rangka Terbuka RS. Bhayangkara menjadi Struktur Gedung Sistem Ganda

Totok Andi Prasetyo*, Silta Aliyah Azahra, Karminto

Institut Sains dan Teknologi Nasional, Indonesia

Email: totokandi77@yahoo.com*, siltaaliyah@gmail.com

Keywords:

Hospital, Dual System, Open Frame, ETABS

Abstract

RS. Bhayangkara building, located in South Jakarta, is built on soft soil using an open-frame portal system. However, structural analysis revealed a vibration mode with 24% rotational distortion along the X-axis, which could cause additional distortion and increase the risk of structural damage, especially on soft soil that amplifies seismic responses. Therefore, a redesign is necessary to enhance seismic resilience. This research aims to redesign the RS. Bhayangkara building's structure by converting it into a dual-system structure with shear walls to improve seismic resistance and minimize additional distortion. Structural modeling was carried out using the ETABS program, following the design guidelines from SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, and loadings according to SNI 1727:2019. The redesign involved adding shear walls to improve the seismic resistance of the building. The redesign analysis showed that with the addition of shear walls, the vibration period along the X-direction for mode 1 became $T_x = 0.705$ seconds, and for the Y-direction in mode 2, $T_y = 0.649$ seconds. The dual system with moment-resisting frames was able to resist more than 25% of the seismic forces, with 66% resistance along the X-axis and 61% along the Y-axis. The structural redesign using a dual system with shear walls effectively reduced additional distortion and improved seismic resilience, meeting the requirements of SNI 1726:2019.

Kata Kunci:

Gedung rumah sakit, Sistem ganda, Open frame, Etabs

Abstrak

Gedung RS. Bhayangkara, yang terletak di Jakarta Selatan, dibangun di atas tanah lunak dengan sistem portal rangka terbuka. Namun, analisis struktur menunjukkan adanya ragam getar pada mode 1 dengan translasi arah X dan rotasi sebesar 24%, yang dapat menimbulkan distorsi tambahan dan meningkatkan risiko kerusakan struktural, terutama pada tanah lunak yang dapat memperbesar respons seismik. Oleh karena itu, perlu dilakukan redesign struktur untuk meningkatkan ketahanan seismik. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain ulang struktur gedung RS. Bhayangkara dengan mengubahnya menjadi sistem ganda yang menggunakan dinding geser, guna meningkatkan ketahanan seismik dan meminimalisir distorsi tambahan pada struktur. Pemodelan struktur dilakukan menggunakan program ETABS dengan acuan perancangan berdasarkan SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, dan pembebanan mengacu pada SNI 1727:2019. Redesain dilakukan dengan menambahkan dinding geser pada struktur gedung untuk meningkatkan ketahanan seismik. Hasil analisis redesign menunjukkan bahwa dengan penambahan dinding geser, nilai periode getar pada arah X untuk mode ragam 1 menjadi $T_x = 0,705$ detik dan pada arah Y untuk mode ragam 2 menjadi $T_y = 0,649$ detik. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen mampu menahan lebih dari 25% gaya seismik yang ditetapkan, dengan hasil analisis menunjukkan penahanan gaya seismik sebesar 66% pada arah X dan 61% pada arah Y. Redesain struktur menggunakan sistem ganda

PENDAHULUAN

Teknologi konstruksi terus mengalami peningkatan dan terus berkembang terutama dalam hal desain dan perencanaan struktur gedung yang optimal. Setiap perencanaan bangunan yang optimal memerlukan desain struktur yang memperhatikan berbagai faktor dan selalu berpedoman pada peraturan yang telah ditetapkan. Desain yang berpedoman kepada standar yang berlaku disebut sebagai CBD (Code Based Design). Indonesia yang terletak di kawasan Cincin Api Pasifik merupakan salah satu negara dengan tingkat seismisitas tertinggi di dunia, sehingga setiap perencanaan struktur gedung wajib mempertimbangkan aspek ketahanan gempa secara komprehensif (Kurniawandy & Nakazawa, 2022).

Pada penelitian ini akan membahas tentang perencanaan ulang atau redesain struktur gedung portal rangka terbuka menjadi struktur gedung sistem ganda menggunakan software Etabs2018, dikarenakan pada desain struktur sebelumnya yaitu open frame didapatkan mode ragam 1 dengan nilai periode getar arah x sebesar $T_x = 0,913s$ mode ragam 1 menunjukkan gerak translasi dengan rotasi sebesar 24%, sehingga desain open frame tidak memenuhi syarat praktisi, pada mode ragam 1 rotasi harus $< 10\%$. Maka dilakukan perencanaan ulang dengan sistem ganda. Sistem portal rangka terbuka diketahui memiliki kelemahan dalam menahan gaya lateral akibat gempa, terutama pada bangunan yang berdiri di atas tanah lunak yang cenderung memperbesar amplifikasi respons seismik (Almansouri et al., 2021).

Perencanaan gedung ini disesuaikan dengan persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (SNI 2847:2019), Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 1726:2019), dan beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727:2020).

Salah satu solusi yang direkomendasikan dalam SNI 1726:2019 untuk meningkatkan kinerja seismik struktur adalah dengan mengubah sistem struktur menjadi sistem ganda (dual system). Sistem ganda merupakan kombinasi antara rangka pemikul momen dan dinding geser (shear wall) yang bekerja bersama untuk menahan beban lateral akibat gempa (Chen et al., 2023). Dalam sistem ini, rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25% dari total gaya seismik yang bekerja, sementara sisanya ditahan oleh dinding geser. Dinding geser berfungsi untuk meningkatkan kekakuan struktur, mengurangi periode getar, serta meminimalkan rotasi dan simpangan antar tingkat (Farahbakhshzooli & Bhowmick, 2023). Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan efektivitas sistem ganda dalam meningkatkan kinerja seismik bangunan. Hidayati dan Saba (2023) meneliti ketidakberaturan struktur pada gedung beton bertulang dan menekankan pentingnya penempatan elemen penahan gaya lateral yang tepat. Kaontole, Sumajouw, dan Windah (2015) menunjukkan bahwa perkuatan elemen struktur dapat meningkatkan kapasitas dan daktilitas bangunan. Wibowo (2018) dalam studinya mengenai tinggi efektif shear wall pada bangunan di tanah lunak Jakarta menyimpulkan bahwa penggunaan dinding geser secara signifikan dapat memperbaiki respons seismik struktur. Selain itu, penambahan dinding geser pada sistem ganda terbukti secara efektif mengurangi perpindahan antar lantai dan meningkatkan kekakuan lateral bangunan secara keseluruhan (Almohammad-Albakkar et al., 2023). Penelitian yang

dilakukan oleh Sjah et al. (2024) pada gedung rumah sakit pracetak di Indonesia juga menunjukkan bahwa penerapan SNI 1726:2019 memberikan jaminan keamanan struktural yang lebih tinggi dibandingkan standar sebelumnya. Meskipun demikian, penelitian yang secara khusus membahas redesain dari sistem portal rangka terbuka menjadi sistem ganda pada bangunan rumah sakit di atas tanah lunak masih terbatas, sehingga diperlukan kajian lebih lanjut untuk memastikan efektivitas pendekatan ini dalam konteks spesifik tersebut.

Berdasarkan uraian permasalahan di atas, penelitian ini bertujuan untuk merencanakan ulang struktur Gedung RS. Bhayangkara dari sistem portal rangka terbuka menjadi sistem ganda dengan penambahan dinding geser sesuai ketentuan SNI 1726:2019, menganalisis respons struktur berupa ragam getar, periode getar, dan simpangan antar tingkat setelah redesain, serta mengevaluasi efektivitas sistem ganda dalam memenuhi persyaratan ketahanan gempa yang ditetapkan. Secara teoretis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan kajian rekayasa struktur, khususnya terkait penerapan sistem ganda pada bangunan rumah sakit di atas tanah lunak yang memiliki karakteristik respons seismik yang spesifik. Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi para perencana dan insinyur struktur dalam merancang bangunan tahan gempa dengan sistem ganda, serta memberikan rekomendasi teknis bagi pemangku kepentingan dalam memastikan keamanan dan keandalan fasilitas kesehatan terhadap risiko gempa bumi. Selain itu, pendekatan redesain yang digunakan dalam penelitian ini dapat diadopsi untuk mengevaluasi dan memperbaiki kinerja seismik bangunan eksisting lainnya yang memiliki permasalahan serupa.

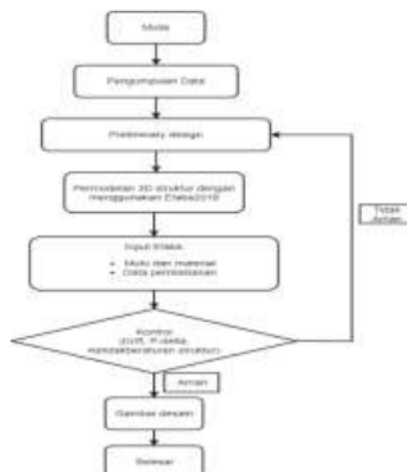
METODE PENELITIAN

Studi Kasus RS. Bhayangkara LEMDIKLAT POLRI

Studi kasus penelitian ini merupakan proyek pembangunan gedung baru RS. Bhayangkara LEMDIKLAT POLRI Jakarta.

Metode Pengumpulan Data

Adapun tahapan bagan alir penelitian merupakan suatu kerangka dasar yang membentuk alur kerja dan berfungsi sebagai pedoman umum untuk membantu proses penelitian:



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Sumber: Dikembangkan oleh peneliti (2026)

Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder, yaitu data yang diperoleh secara tidak langsung seperti :

1. Deksripsi umum bangunan RS. Bhayangkara.
2. Denah serta sistem strukturnya.
3. Data gempa dan data pembebanan.
4. Mutu dan material yang digunakan.
5. Metode Analisa dan desain struktur.
6. Standar referensi yang digunakan dalam proses perencanaan.

Analisa Struktur

Analisa struktur dilakukan menggunakan Software Etabs2018. Analisa ini berfungsi untuk mendapatkan respon struktur berupa ragam getar, periode getar, dan simpangan antar tingkat setelah dirancang menggunakan dinding geser dengan dua sistem.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Pembebanan

Beban Mati (dead load)

Beban mati merupakan beban yang berasal dari elemen-elemen struktur bangunan, seperti kolom, balok, dan pelat. Pada perencanaan ulang Gedung RS Bhayangkara, material yang digunakan adalah beton bertulang dengan berat jenis $2,4 \text{ kN/m}^3$. Perhitungan beban ini dilakukan secara otomatis menggunakan perangkat lunak ETABS18, sesuai dengan luas penampang dan beban yang dimodelkan dalam program tersebut. Pembebanan pada struktur gedung harus mengacu pada ketentuan minimum yang ditetapkan oleh standar beban, termasuk beban mati, beban hidup, dan beban gempa yang dikombinasikan sesuai persyaratan SNI 1727:2020 (Subramani & Sakthibalan, 2023). Selain beban dari elemen struktur, terdapat pula beban tambahan berdasarkan elemen arsitektural yaitu sebagai berikut:

Table 1. Tabel Beban Mati Tambahan Untuk LT. 1-6

No	Jenis Beban Mati	Berat jenis (kN/m^3)	Beban Merata (kN/m^2)
1	Pasir	18	0,18
2	Spesi setebal 3cm	22	0,66
3	Keramik	22	0,22
4	Plafon & penggantung		0,2
5	Dinding hebel		1,2
6	Dinding Partisi		0,2
7	ME		0,25
Total			2,91

Sumber: SNI 1727:2020, diolah oleh peneliti (2026)

Table 2. Beban Mati Tambahan untuk LT. Atap

No	Jenis Beban Mati	Berat jenis (kN/m^3)	Beban Merata (kN/m^2)
1	Plafon & penggantung		0,20
2	ME		0,25
Total			0,45

Sumber: SNI 1727:2020, diolah oleh peneliti (2026)

Beban Hidup (live load)

Beban hidup adalah beban yang dihasilkan oleh aktivitas pengguna dan penghuni bangunan atau struktur lainnya, yang tidak termasuk dalam kategori beban konstruksi maupun beban dari lingkungan sekitar. Penentuan nilai beban hidup yang tepat sangat penting dalam perencanaan struktur, khususnya untuk bangunan dengan fungsi khusus seperti rumah sakit yang memiliki beban operasional yang bervariasi (Prasetia et al., 2024).

No	Jenis Ruangan	Beban Merata (kN/m ²)
1	Lobby	3,83
2	Rumah sakit (R. Rawat inap)	1,92
3	R. Parkir	2,5
4	R. ICU	2,87
5	Dak atap	1

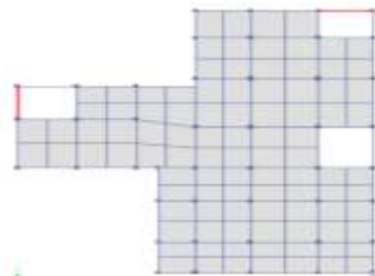
Sumber: SNI 1727:2020, diolah oleh peneliti (2026)

Analisis Perhitungan Gempa

Lokasi	: Jakarta
Fungsi Bangunan	: Rumah Sakit
Kategori Resiko	: IV
Jenis Tanah	: Tanah Lunak (SE)
Struktur Bangunan	: Beton
Jumlah Lantai	: 6 lantai + 1 lantai atap
Tinggi bangunan	: 24 m
Sistem penahan gaya seismic	: Sistem Ganda / <i>Dual System</i>
Faktor keutamaan bangunan (I)	: 1,5
Kategori Desain Seismik	: D
Koefisien Reduksi Gempa (R)	: 7
Nilai Koefisien C_u	: 1,4
Nilai Parameter Periode	: $C_t = 0,0488$, $x = 0,75$
Pendekatan C_t dan x	

Permodelan Dinding Geser (Shear wall)

Dinding geser berfungsi untuk memperkuat struktur, detail dinding geser dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2. Permodelan Dinding Geser (Shear Wall)

Sumber: Output ETABS v18, diolah oleh peneliti (2026)

Analisa Periode Getar

Setelah dilakukan permodelan dengan software etabs lalu dilakukan pengecekan periode getar maka didapatkan nilai periode getar pada mode 1 sebelum ditambahkan dengan shearwall atau struktur rangka terbuka, yaitu rotasi pada mode ragam 1 sebesar 24% sedangkan didapatkan nilai periode getar pada mode 1 setelah menjadi struktur sistem ganda sebesar 6%. Periode getar fundamental merupakan parameter kritis dalam analisis seismik karena menentukan besarnya gaya gempa yang diterima struktur; penambahan dinding geser secara signifikan memperpendek periode getar dan meningkatkan kekakuan lateral bangunan (Almansouri et al., 2021; Chen et al., 2023).

Tabel 4. Periode Getar Open Frame

Mode	Period	UX	UY	RZ	SumRZ
	sec	%	%	%	%
1	0,83	56%	0%	24%	22%
2	0,721	0%	74%	0%	22%
3	0,694	19%	0%	54%	76%
4	0,281	12%	0%	0%	76%
5	0,272	0%	14%	0%	76%
6	0,254	0%	0%	11%	87%
7	0,161	0%	2%	1%	88%
8	0,153	4%	0%	0%	88%
9	0,141	0%	2%	0%	89%
10	0,137	0%	1%	2%	91%
11	0,115	0%	0%	2%	92%
12	0,111	0%	0%	0%	92%

Sumber: Output ETABS v18, diolah oleh peneliti (2026)

Tabel 5. Periode Getar Sistem Ganda

Mode	Period	UX	UY	RZ	SumRZ
	sec	%	%	%	%
1	0,705	56%	18%	6%	6%
2	0,649	22%	53%	2%	7%
3	0,48	2%	5%	67%	74%
4	0,273	5%	7%	2%	76%
5	0,221	8%	8%	0%	76%
6	0,145	2%	2%	0%	76%
7	0,134	1%	1%	17%	93%
8	0,116	2%	2%	0%	93%
9	0,098	0%	1%	0%	93%
10	0,082	1%	1%	0%	93%
11	0,08	0%	0%	1%	95%
12	0,076	0%	0%	0%	95%

Sumber: Output ETABS v18, diolah oleh peneliti (2026)

Analisa Gaya Geser Statik dan Dinamik

Menurut SNI 1726:2019 hasil dari gaya geser dinamik struktur pada beban gempa pada arah tertentu tidak boleh diambil kurang dari 100% dari nilai respon ragam yang peretama, atau

dapat dirumuskan sebagai berikut. Persyaratan ini konsisten dengan ketentuan internasional yang mewajibkan gaya geser dasar dinamis tidak boleh lebih kecil dari gaya geser dasar statik, guna memastikan keamanan struktural bangunan terhadap beban gempa desain (Idham et al., 2024).

$$V_{\text{dinamik}} \geq 100\% V_{\text{statik}}$$

Tabel 6. Perbandingan Gaya Geser Statik Dan Dinamik

Base Shear	Geser Dasar Statik (V _s) kN	Geser Dasar Dinamik (V _d) kN	Keterangan
Arah X	12045,91	13235,79	OKE
Arah Y	12045,91	12380,04	OKE

Sumber: Output ETABS v18, diolah oleh peneliti (2026)

Berdasarkan tabel diatas gaya geser dinamik pada struktur sistem ganda mempunyai nilai lebih besar daripada gaya geser seismik, sehingga gaya geser dinamik sudah memenuhi syarat sesuai dengan SNI 1726: 2019 yaitu hasil dari gaya geser dinamik struktur pada beban gempa pada arah tertentu tidak boleh diambil kurang dari 100% dari nilai respon ragam yang pertama, atau gaya geser dinamik $\geq 100\%$ gaya geser statik, sehingga gaya geser dinamik tidak perlu dilakukan penskalaan gaya. Hasil ini sejalan dengan temuan Prasetia et al. (2024) yang menyatakan bahwa gedung yang dirancang dengan sistem ganda umumnya menghasilkan gaya geser dinamis yang lebih besar dari gaya geser statik ekivalen, menunjukkan bahwa bangunan memiliki kekakuan yang memadai.

Kontrol Simpangan Antar Tingkat

Faktor – faktor kontrol yang mengacu pada pasal 7.12.1 dan 7.8.7 SNI 1726 : 2019 adalah sebagai berikut. Simpangan antar tingkat (inter-story drift) merupakan salah satu parameter kritis dalam evaluasi kinerja seismik bangunan, karena nilainya yang melebihi batas izin dapat mengindikasikan potensi kerusakan struktural maupun non-struktural pada bangunan (Abbasi et al., 2022).

Faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk sistem ganda yaitu 5,5

Faktor keutaman gempa (I_e) = 1,5

Faktor redudansi untuk gedung dengan kategori seismik E adalah $\rho = 1,3$

Simpangan antar lantai tingkat izin untuk gedung dengan kategori resiko bangunan IV adalah 0,010h_{sx}. Dimana h_{sx} merupakan tinggi tingkat di bawah tingkat (mm).

Berdasarkan analisis software ETABS, didapat simpangan antar lantai adalah sebagai berikut Agar tercapai simpangan antar lantai berdasarkan SNI 1726 : 2019 pasal 7.8.6 maka harus dilakukan peerhitungan seperti dibawah :

Contoh perhitungan simpangan antar lantai, lantai P1A

$$\begin{aligned} \Delta_x &= (C_d \delta_{ex}) / I_e \\ &= (5,5 \cdot 3,355) / 1,5 = 12,302 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis software ETABS didapatkan tabel nilai simpangan arah X dan Y seperti dibawah ini.

Tabel 7. Kontrol Simpangan Antar Tingkat

<i>Displacement</i>		<i>Elastic Drift</i>		<i>h</i>	<i>Inelastic Drift</i>		<i>Drift Limit</i>	<i>Cek</i>
δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y	(mm)	
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
32,291	29,868	3,355	3,747	4000	12,302	13,739	40,000	OK
28,936	26,121	5,481	5,632	4000	20,097	20,651	40,000	OK
23,455	20,489	1,922	3,614	2850	7,047	13,251	28,500	OK
21,533	16,875	1,578	1,167	1150	5,786	4,279	11,500	OK
19,955	15,708	2,715	1,543	1500	9,955	5,658	15,000	OK
17,24	14,165	1,309	1,587	1500	4,800	5,819	15,000	OK
15,931	12,578	2,442	1,614	1500	8,954	5,918	15,000	OK
13,489	10,964	2,335	1,898	1500	8,562	6,959	15,000	OK
11,154	9,066	2,267	1,670	1500	8,312	6,123	15,000	OK
8,887	7,396	2,186	2,877	1500	8,015	10,549	15,000	OK
6,701	4,519	2,682	1,681	1500	9,834	6,164	15,000	OK
4,019	2,838	4,019	2,838	1500	14,736	10,406	15,000	OK

Sumber: Output ETABS v18, diolah oleh peneliti (2026)

Kontrol P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.7 Pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10

$$\theta_x = (P_x \Delta I_e) / (V_x h_{sx} C_d)$$

$$= (21883,8 \times 12,302 \times 1,5) / (2360 \times 4000 \times 5,5) = 0,0078$$

Keterangan:

- P_x = beban desain vertikal total
 Δ = simpangan antar tingkat desain
 I_e = faktor keutamaan gempa
 V_x = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat
 h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat , (mm)
 C_d = faktor pembesaran defleksi.

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi θ_{max} yang ditentukan sebagai berikut:

$$\theta_{max} = 0,5 / (\beta C_d) \leq 0,25$$

$$= 0,5 / (1 \times 5,5) \leq 0,25 = 0,090$$

β = rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan x – 1.
Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0

Table 8. Kontrol P-Delta

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh h 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)						
12	12,302	13,739	21883,8	2360	2307,5	4000	0,0078	0,0089	0,1	0,0909	OK
11	20,097	20,651	51129,7	4551,5	4390,9	4000	0,0154	0,0164	0,1	0,0909	OK
10	7,047	13,251	81627,9	6298,2	5981,3	2850	0,0087	0,0173	0,1	0,0909	OK
9	5,786	4,279	88626,4	6658,6	6259,2	1150	0,0183	0,0144	0,1	0,0909	OK
8	9,955	5,658	110799,7	7665,4	7170,9	1500	0,0262	0,0159	0,1	0,0909	OK
7	4,8	5,819	117125,7	7983,8	7420,4	1500	0,0128	0,0167	0,1	0,0909	OK
6	8,954	5,918	142202,6	8885,6	8243,7	1500	0,0261	0,0186	0,1	0,0909	OK
5	8,562	6,959	148640,9	9145,6	8456,2	1500	0,0253	0,0222	0,1	0,0909	OK
4	8,312	6,123	155533	9361,5	8648,5	1500	0,0251	0,02	0,1	0,0909	OK
3	8,015	10,549	179904	9901,5	9131,9	1500	0,0265	0,0378	0,1	0,0909	OK
2	9,834	6,164	186447,2	10030,8	9230,8	1500	0,0332	0,0226	0,1	0,0909	OK
1	14,736	10,406	192914,4	10105,6	9290,2	1500	0,0511	0,0393	0,1	0,0909	OK

Sumber: Output ETABS v18, diolah oleh peneliti (2026)

Berdasarkan hasil analisis P-Delta di atas dapat diketahui bahwa $\theta < 0,10$ dan tidak melebihi $\theta < \theta_{max}$, Sehingga analisis P-delta untuk gedung RS. Bhayangkara pada arah X dan arah Y dapat disimpulkan efek P-Deltanya dapat diabaikan. Kondisi ini sesuai dengan ketentuan bahwa efek P-Delta dapat diabaikan apabila koefisien stabilitas θ tidak melebihi batas yang dipersyaratkan, yang menunjukkan bahwa struktur tidak rentan terhadap ketidakstabilan geometri akibat beban gravitasi (Huseyin & Yilmaz, 2022).

Kontrol Ketidakberaturan Struktur

Ketidakberaturan struktur terbagi menjadi dua ketidakberaturan vertikal dan horizontal, Sesuai dengan ketentuan pada Tabel 10 dan Tabel 11 dalam SNI 1726-2012 Pasal 7.3.2, dilakukan pengecekan terhadap ketidakberaturan struktur horizontal dan vertikal pada bangunan. Ketidakberaturan torsi horizontal terjadi ketika simpangan antar tingkat maksimum pada sisi bangunan melebihi 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata, yang dapat memicu konsentrasi tegangan dan memperbesar risiko kerusakan struktural selama gempa (Gokdemir et al., 2020). Setiap ketidakberaturan struktur yang teridentifikasi memiliki pasal referensi masing-masing sebagai acuan untuk desain.

Setelah dilakukan analisis diketahui bahwa dari 5 point ketidakberaturan horizontal struktur bangunan ini memiliki 3 tipe ketidakberaturan horizontal, seperti pada tabel 9 dibawah.

Table 9. Tabel Daftar Ketidakberaturan Horizontal

No	Tipe Ketidakberaturan Horizontal	Ya	Tidak
1a	Ketidakberaturan Torsi	✓	
1b	Ketidakberaturan Torsi berlebihan	✓	
2	Ketidakberaturan Sudut Dalam	✓	
3	Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma		✓
4	Ketidakberaturan akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang		✓

No	Tipe Ketidakberaturan Horizontal	Ya	Tidak
5	Ketidakberaturan Sistem Nonparalel		✓

Sumber: Hasil analisis berdasarkan SNI 1726:2019 (2026)

Setelah dilakukan analisis diketahui bahwa dari 5 point ketidakberaturan vertikal struktur bangunan ini memiliki 2 tipe ketidakberaturan vertikal, seperti pada tabel 10 dibawah.

No	Tipe Ketidakberaturan Vertikal	Ya	Tidak
1a	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak		✓
1b	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak berlebihan		✓
2	Ketidakberaturan Berat (Massa)	✓	
3	Ketidakberaturan Geometri Vertikal	✓	
4	Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal		✓
5	Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat		✓

Sumber: Hasil analisis berdasarkan SNI 1726:2019 (2026)

Analisis Dual Sistem

Rangka pemikul momen harus direncanakan untuk mampu menahan paling sedikit 25% dari total gaya lateral yang bekerja. Seluruh gaya gempa harus ditanggung oleh rangka pemikul momen, dinding geser, atau rangka bresing. Persyaratan kontribusi minimum rangka pemikul momen sebesar 25% dalam sistem ganda ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa struktur tetap memiliki kapasitas cadangan dalam menahan gaya lateral meskipun terjadi degradasi kekakuan pada komponen dinding geser (Farahbakhshooli & Bhowmick, 2023).

Table 11. Presentase Kontrol Dual sistem

Sumbu	V Desain kN	V Rangka kN	V SW kN	%V SW	%V Rangka	cek
Arah X	12453,63	8269,6303	4184,0035	34%	66%	Oke
Arah Y	10836,16	6652,161	4184,0035	39%	61%	Oke

Sumber: Output ETABS v18, diolah oleh peneliti (2026)

Dari tabel 5 diketahui bahwa Rangka pemikul momen struktur sistem ganda mampu menahan beban lateral sebesar 66% untuk arah X dan 61% untuk arah Y. Sehingga pada analisis ini rangka pemikul momen telah memenuhi syarat SNI 1726:2019 tabel 12 untuk mampu menahan paling sedikit 25% dari gaya lateral yang bekerja. Distribusi gaya lateral antara rangka pemikul momen dan dinding geser yang proporsional pada sistem ganda

merupakan indikator kinerja seismik yang baik, mengingat kedua komponen saling melengkapi dalam menahan beban gempa sepanjang respons struktur (Setiawan et al., 2025).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan adalah sebagai berikut: Struktur sistem ganda telah direncanakan sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019, dengan mengintegrasikan rangka kaku dan elemen penahan gaya lateral seperti dinding geser. Maka didapatkan hasil nilai $SDS = 0,6693$ dan $SDI = 0,6493$ yang masuk dalam kategori resiko bangunan IV dan kategori desain seismik (KDS) D. Kategori Desain Seismik D menunjukkan bahwa bangunan berada dalam zona seismik tinggi yang memerlukan detail penulangan khusus serta sistem penahan gaya seismik yang lebih ketat sesuai persyaratan SNI 1726:2019 (Larasati et al., 2023).

Berdasarkan analisis redesain dengan menambahkan dinding geser didapatkan ragam getar (mode shape) 1 terdapat translasi arah X sebesar 56% dan rotasi sebesar 6%, sedangkan ragam getar 2 terdapat translasi arah Y sebesar 53% dan ragam getar 3 memiliki rotasi sebesar 67%. Nilai periode getar pada arah x untuk mode ragam 1 sebesar $T_x = 0,705s$ dan arah y untuk mode ragam 2 sebesar $T_y = 0,649s$, mode ragam 1 dan 2 menunjukkan gerak translasi normal. Pengurangan rotasi dari 24% menjadi 6% pada mode ragam 1 menunjukkan bahwa sistem ganda berhasil memperbaiki distribusi kekakuan secara lateral, sehingga bangunan memiliki perilaku getar yang lebih dominan translasional dan mengurangi risiko kegagalan torsi (Mohammadi et al., 2020). Sedangkan sebelum dilakukan redesain dengan menambahkan dinding geser atau struktur open frame didapatkan mode ragam 1 dan 2 dengan nilai periode getar arah x sebesar $T_x = 0,83s$ dan $T_y = 0,721$. Berdasarkan nilai periode getar maka struktur sistem ganda memiliki kekakuan yang lebih tinggi. Dalam analisis respon simpangan antar tingkat telah diperoleh, hasil analisis menunjukkan bahwa pergerakan antar lantai tetap dalam batas aman sesuai dengan standar perancangan yang berlaku.

Analisis hasil perancangan struktur gedung dengan sistem ganda menunjukkan bahwa pendekatan ini efektif dalam meningkatkan kekuatan bangunan terhadap beban gempa. Kontrol sistem ganda dalam perancangan struktur gedung, yang melibatkan rangka pemikul momen dan elemen penahan gaya lateral, telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019. Berdasarkan analisis, sistem ganda yang dirancang dapat menahan paling sedikit 25% dari gaya gempa yang diterapkan, sesuai dengan standar yang berlaku dengan shearwall dan rangka arah x menahan 34% dan 66% sedangkan shearwall dan rangka arah y menahan 39% dan 61% gaya seismik. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya yang membuktikan bahwa sistem ganda dengan dinding geser mampu meningkatkan kinerja seismik bangunan secara signifikan dibandingkan sistem rangka terbuka, terutama pada bangunan yang berdiri di atas tanah lunak (Suwondo et al., 2021).

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, M., Mirtaheri, M., & Salkhordeh, M. (2022). Seismic response and collapse capacity assessment of dual RC buildings with vertical irregularities in shear walls. *Scientific Reports*, Article 10057. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-94328-z>
- Almansouri, A., Al-Salloum, Y., Siddiqui, N., & Abbas, H. (2021). Analytical study of irregular reinforced concrete building with shear wall and dual framed-shear wall system

- by using equivalent static and response spectrum method. *Materials Today: Proceedings*, 42, 2745–2752. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.661>
- Almohammad-Albakkar, M., Hajirasouliha, I., & Pilakoutas, K. (2023). Optimal placement and floor area ratio of shear walls in reinforced concrete buildings using performance-based seismic design. *Asian Journal of Civil Engineering*, 24, 2671–2684. <https://doi.org/10.1007/s42107-023-00824-w>
- Chen, Y., Liu, X., Ye, L., & Liang, S. (2023). Seismic performance of RC frame-shear wall dual structural systems. *Structures*, 58, Article 105716. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105716>
- Farahbakhshtooli, A., & Bhowmick, A. K. (2023). Case studies on the seismic resilience of reinforced concrete shear wall buildings and steel dual concentrically braced buildings. *Structures*, 58, Article 105669. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105669>
- Gokdemir, H., Ozbasaran, H., Dogan, M., Unluoglu, E., & Albayrak, U. (2020). Determination of torsional irregularity in response spectrum analysis of building structures. *Structural Engineering and Mechanics*, 74(5), 637–648. <https://doi.org/10.12989/sem.2020.74.5.637>
- Hidayati, N., & Sabâ, M. R. (2023). Analisa ketidakberaturan horizontal dan vertikal pada struktur gedung beton bertulang. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 12(2), 235–243.
- Huseyin, G., & Yilmaz, C. (2022). Effects of reinforced concrete shear wall on the earthquake behaviour of buildings with various column sections. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 24(3), 1011–1026. <https://doi.org/10.1080/13467581.2025.2467252>
- Idham, N. C., Darmawan, H., & Purnomo, H. (2024). Comparative seismic analysis of multi-story RC buildings under the Indonesian seismic code using static equivalent and response spectrum methods. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 14(5), 16721–16726. <https://doi.org/10.48084/etasr.11865>
- Kaontole, J. T., Sumajouw, M. D. J., & Windah, R. S. (2015). Evaluasi kapasitas kolom beton bertulang yang diperkuat dengan metode concrete jacketing. *Jurnal Sipil Statik*, 3(3), 167–174.
- Kurniawandy, A., & Nakazawa, S. (2022). A study of the dynamic seismic performance index of building in Indonesia. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 21(6), 2388–2398. <https://doi.org/10.1080/13467581.2021.1972806>
- Larasati, F. D., Santoso, E., & Wibowo, A. (2025). Seismic stiffness evaluation of RC dual systems in varying geometries: A pushover-based study using Indonesian codes. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 27(1), 14–27. <https://doi.org/10.15294/jtsp.v25i2.25494>
- Mohammadi, R. K., Sharghi, A. H., & Yousefi, A. (2020). Torsional sensitivity criteria in seismic codes. *Earthquakes and Structures*, 21(1), 1–15. <https://doi.org/10.12989/eas.2021.21.1.001>
- Prasetya, R., Hidayat, I., & Suangga, M. (2024). Analysis of base shear and story drift in low-rise RC buildings under SNI 1726:2019. *PRESUNIVE Civil Engineering Journal*, 2(1), 18–27. <https://doi.org/10.61214/pcej.v2i1.5256>
- Setiawan, F., Wibowo, A., & Suharno, A. (2025). Seismic performance of torsionally irregular multistorey RC buildings with optimised shear wall configurations. *Infrastructures*, 10(11), 296. <https://doi.org/10.3390/infrastructures10110296>
- Sjah, J., Sulistian, R., Rarasati, A. D., & Trigunarsyah, B. (2024). Seismic assessment of precast concrete hospital structures integrated with building information modeling (BIM) in Indonesia. *Journal of Civil Engineering Research & Technology*, 6(1), 163. [https://doi.org/10.47363/JCERT/2024\(6\)161](https://doi.org/10.47363/JCERT/2024(6)161)

- Subramani, T., & Sakthibalan, M. (2023). A study of seismic analysis of building using ETABS. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 10(6), 1–6. <https://doi.org/10.17577/IJERTV10IS060291>
- Suwondo, R., Gillie, M., Cunningham, L., & Bailey, C. (2021). Non-linear analysis of seismic performance of low-rise concrete buildings in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 794, 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/794/1/012024>
- Waryanto, B., Adiputra, R., & Rosi, M. (2023). Seismic damage assessment and retrofitting of a hospital building in West Pasaman, Indonesia. *GEOMATE Journal*, 24(106), 122–129. <https://doi.org/10.21660/2023.106.3978>
- Wibowo, A. (2018). *Analisis tinggi efektif shear wall dengan sistem ganda pada pembangunan gedung beton bertulang berlantai banyak pada tanah lunak di Kota Jakarta studi kasus denah persegi panjang* (Doctoral dissertation, Universitas Mercu Buana Jakarta).

