

Analisis Penggunaan Base Isolation untuk Struktur Mid-Rise Building Tahan Gempa

Faishol Arif*, Lirawati

Universitas Pakuan, Indonesia

Email: faishol.arif@unpak.ac.id*, lirawati.0424057903@unpak.ac.id

Keywords:

Base Isolation, Hospital, SNI
1726-2019, Base Shear Force

Abstract

Indonesian territory is an area prone to earthquakes. Therefore, buildings in Indonesia must be built properly to be earthquake-resistant. With the development of technology in the planning of earthquake-resistant buildings, an alternative design has been developed to reduce the risk of damage to buildings due to earthquakes, and to be able to maintain the integrity of structural and non-structural components against strong earthquakes. An alternative concept to the planning approach that many people have used is to use basic isolation. In this study, we want to find out the advantages of structural systems with basic insulation compared to conventional structural systems and in order to determine the most suitable basic insulation for medium-level building structures of hospitals in Indonesia. The analysis method used was by modeling 4 structure models consisting of 2 models of 5-storey hospital structures with both conventional and isolated systems and 2 models of 7-storey hospital structures both with conventional systems and isolated systems using ETABS 18.1.1 software and based on SNI 1726-2019. From the results of the study, the basic shear force using an isolated system was reduced by 60.51% for the x direction and 57.28% for the y direction of the conventional system in the 5-storey hospital model. As for the 7-storey hospital model, the basic shear force using the basic isolation system was reduced by 58.09% for the x direction and 57.83% for the y direction of the conventional system.

Kata Kunci:

Isolasi Dasar, Rumah Sakit, SNI
1726-2019, Gaya Geser Dasar

Abstrak

Wilayah Indonesia merupakan daerah yang rawan gempa. Karena itu, bangunan gedung di Indonesia harus dibangun dengan baik agar tahan gempa. Dengan perkembangan teknologi dalam perencanaan bangunan tahan gempa, telah dikembangkan suatu alternatif desain untuk mengurangi resiko kerusakan bangunan akibat gempa, dan mampu mempertahankan integritas komponen struktural dan non-struktural terhadap gempa kuat. Alternatif konsep pendekatan perencanaan yang telah digunakan banyak orang adalah dengan menggunakan isolasi dasar. Pada penelitian ini ingin mengetahui keunggulan sistem struktur dengan isolasi dasar dibandingkan dengan sistem struktur konvensional serta dalam rangka menentukan isolasi dasar yang paling cocok untuk struktur bangunan tingkat menengah rumah sakit di Indonesia. Metode analisis yang dipakai yaitu dengan dengan memodelkan 4 model struktur yang terdiri dari 2 model struktur rumah sakit 5 lantai baik dengan sistem konvensional maupun sistem terisolasi dan 2 model struktur rumah sakit 7 lantai baik dengan sistem konvensional maupun sistem terisolasi dengan menggunakan perangkat lunak ETABS 18.1.1 dan berdasarkan SNI 1726-2019. Dari hasil penelitian diperoleh gaya geser dasar menggunakan sistem terisolasi berkurang sebesar 60.51% untuk arah x dan 57.28% untuk arah y dari sistem konvensional pada model rumah sakit 5 lantai. Sedangkan untuk model rumah sakit 7 lantai, diperoleh gaya geser dasar menggunakan sistem isolasi dasar berkurang sebesar 58.09% untuk arah x dan 57.83% untuk arah y dari sistem konvensional.

PENDAHULUAN

Kondisi bangunan dan infrastruktur bangunan Indonesia pada beberapa waktu terakhir ini mengalami kerusakan ringan sampai rusak berat (*collapse*) akibat gempa banyak terjadi pada bangunan seperti rumah tinggal, sekolah dan tempat ibadah serta rumah sakit. Terutama untuk bangunan rumah sakit ini sangat penting untuk memiliki ketahanan terhadap beban gempa karena rumah sakit selain berfungsi sebagai layanan kesehatan pada kondisi normal, juga berfungsi sebagai tempat pengungsian bagi para korban gempa, sehingga pada saat terjadi gempa / pasca gempa bangunan rumah sakit harus tetap berdiri dan beroperasi secara normal.

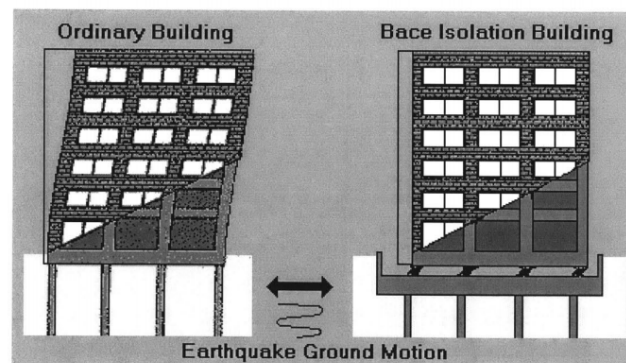
Bangunan rumah sakit di Indonesia mengalami pertumbuhan yang cukup pesat seiring dengan kebutuhan layanan kesehatan untuk masyarakat yang terus meningkat, sehingga saat ini bangunan rumah sakit tidak hanya berupa bangunan *low rise* seperti zaman dahulu, tetapi sudah banyak berupa bangunan *mid-rise building* (5 hingga 8 lantai) bahkan *high-rise building* (lebih dari 8 lantai).

Dengan begitu pentingnya bangunan rumah sakit tersebut yang mana sudah didominasi dengan bangunan tingkat sedang (*mid-rise building*), untuk itu perlu dilakukan perencanaan bangunan tahan gempa pada struktur bangunan tingkat sedang khususnya bangunan rumah sakit. Perencanaan bangunan tahan gempa dengan konsep konvensional (*fixed base*) tentu akan membutuhkan biaya yang relatif mahal untuk ukuran bangunan rumah sakit (Hastari, 2024; Jamal et al., 2024; Widiyanto & Adam, 2022). Untuk itu diperlukan perencanaan bangunan tahan gempa dengan konsep modern (*base isolation*) dimana struktur bawah (fondasi) dipisah dengan struktur atas. Wu, 2001 menyimpulkan bahwa sistem *base isolation* lebih efektif diterapkan pada bangunan rendah sampai sedang dengan kekakuan yang relatif masih tinggi. Untuk itu sistem *base isolation* ini sangat cocok diterapkan pada bangunan tingkat rendah berupa bangunan rumah sakit.

Dalam beberapa periode dekade terakhir, perencanaan struktur bangunan tahan gempa kebanyakan masih didasarkan pada konsep daktilitas (Manga & Tanijaya, n.d.; Pratama & ArRasyid, 2026; Rangan, 2023; Sila et al., 2023; Sonata et al., 2026). Daktilitas diharapkan dimiliki oleh struktur, misalnya, dengan mengandalkan mekanisme kolom kuat – balok lemah (*strong column weak beam*) (Faraswati R, 2019; Ir Totok Andi Prasetyo & Naufal Yasir, 2024; Panjaitan, 2024; Ulum & Adriasyah, 2025). Namun kinerja struktur bangunan gedung yang secara desain sudah memenuhi konsep daktilitas tersebut seringkali tidak menghasilkan performa yang memuaskan ketika dikenai beban gempa kuat karena pada kenyataannya yang terjadi belum tentu sesuai dengan yang direncanakan. Struktur yang direncanakan dengan konsep ini apabila terkena beban gempa kuat akan mengalami plastisitas yang mengakibatkan simpangan antar lantai yang besar. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan yang signifikan pada struktur, bahkan sampai pada keruntuhan struktur. Untuk meningkatkan performa struktur terhadap gempa kuat, dikembangkan suatu teknik yang lebih efektif dan dapat digunakan untuk desain seismik struktur sehingga kerusakan struktur dapat diminimalkan secara signifikan atau dapat dihindari (Budiono dan Adelia 2015).

Alternatif konsep desain yang menjanjikan adalah penggunaan sistem isolasi dasar yang merupakan sistem kontrol pasif yang dapat menjaga integritas struktur. Sistem ini dapat digunakan untuk mendesain struktur baru, maupun perkuatan dari struktur eksisting. Strategi dari sistem isolasi dasar memberikan fleksibilitas lateral yang membantu mengurangi gaya gempa dengan mengubah perioda alami (*natural period*) struktur untuk menghindari resonansi

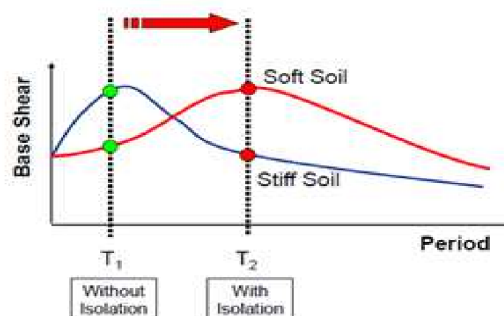
dengan frekuensi utama yang terkandung pada gempa yang terjadi. Selain itu, sistem isolasi dasar juga memberikan tambahan redaman pada struktur yang akan mengabsorbsi energi gempa pada saat terjadinya pergerakan pada sistem isolasi.



Gambar 1. Prilaku Bangunan Tanpa *Base Isolation* dan dengan *Base Isolation* Sumber: Wu, (2001)

Pengaplikasian sistem isolasi dasar sangat efektif untuk bangunan *low to mid-rise building* yang berlokasi di tanah keras. Adanya sistem isolasi dasar pada bangunan tingkat tinggi menjadi tidak efektif karena perioda natural yang tinggi membuat percepatan gempa kecil walaupun tidak menggunakan sistem isolasi dasar. Namun dengan adanya pertimbangan lain seperti kenyamanan pengguna, bangunan penting yang harus tetap berfungsi pada saat dan setelah gempa, elemen non-struktural yang tidak boleh rusak membuat adanya dorongan untuk mengembangkan penggunaan sistem isolasi dasar pada bangunan tingkat tinggi (Budiono dan Adelia 2015).

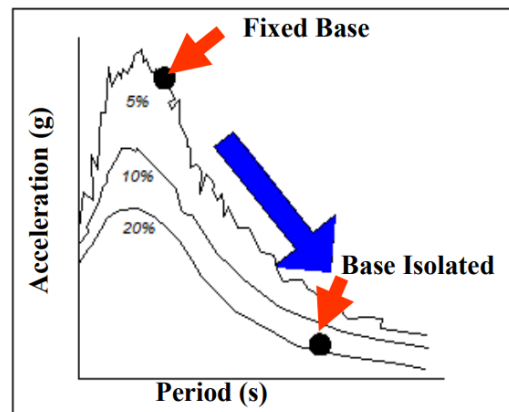
Pengaplikasian sistem isolasi dasar juga dihindari pada kondisi tanah lunak karena kecenderungan gerakan tanah yang memiliki perioda lebih tinggi sehingga beramplifikasi dengan strukturnya. Oleh karena itu, sistem pengaplikasian isolasi dasar yang memiliki perioda fundamental tinggi tidak sesuai untuk kondisi tanah lunak (lihat Gambar 2).



Gambar 2. Gambaran Penggunaan Sistem Isolasi Kondisi Tanah Lunak Sumber: Kircher, (2006)

Struktur bangunan dengan sistem isolasi dasar mempunyai frekuensi yang jauh lebih kecil dari bangunan konvensional dan frekuensi dominan dari gerakan tanah. Akibatnya percepatan gempa yang bekerja pada bangunan menjadi lebih kecil. Ragam getar pertama bangunan hanya menimbulkan deformasi lateral pada sistem *isolator*, sedangkan bagian atas

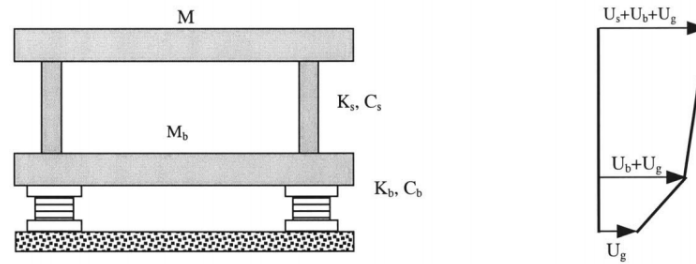
akan berperilaku sebagai *rigid body motion*. Ragam-ragam getar yang lebih tinggi yang menimbulkan deformasi pada struktur adalah orthogonal terhadap ragam pertama dan gerakan tanah sehingga ragam-ragam getar ini tidak ikut berpartisipasi di dalam respons struktur, atau dengan kata lain energi gempa tidak disalurkan ke struktur bangunan. Pada gambar 3 dapat dilihat reduksi percepatan gempa dapat dilakukan dengan memperpanjang periode getar struktur atau memperkecil frekuensi struktur.



Gambar 3. Pengaruh Pergeseran Periode Getar Pada Percepatan Gempa
Sumber: Farissi & Budiono, (2013)

Pada saat terjadi gempa kuat, *isolator* dengan kekakuan horizontal yang relatif kecil, akan menyebabkan periode alami (*natural period*) bangunan lebih besar, (umumnya antara 2 s/d 3,5 detik). Pada periode alami ini, percepatan gempa relatif kecil, khususnya pada tanah keras. Namun, sebaliknya akan menyebabkan peningkatan perpindahan pada bangunan. Untuk membatasi perpindahan sampai pada batas yang dapat diterima, sistem isolasi juga dilengkapi dengan elemen-elemen pendissipasi energi. Selain itu, sistem isolasi dasar juga mempunyai kemampuan untuk kembali pada posisi semula setelah terjadinya gerakan seismik. Sedangkan pada saat terjadi gempa kecil atau akibat angin kekakuan horizontal dari sistem *isolator* harus memadai, agar tidak menimbulkan getaran yang menyebabkan ketidak-nyamanan penghuninya (Teruna, 2007)

Dengan menggunakan lapisan yang fleksibel antara fondasi dengan struktur atas, bagian bangunan struktur atas akan berperilaku sebagai *rigid body* dan bisa diprediksi dengan teori linear untuk sistem *2-degrees of freedom*. Untuk memperoleh perilaku sistem isolasi dasar, *linear spring* dan *linear viscous damping* akan diimplementasikan ke dalam model sistem 2-DOF. Pada gambar 4 terlihat sebuah *rigid body* menumpu pada lapisan tumpuan yang fleksibel.



Gambar 4. Idealisasi Model Isolasi Dasar 2-DOF
Sumber: Wu, (2001)

dalam hal ini,

M_b = massa pada lantai dasar

M = massa pada lantai atas

C_b = redaman *base isolation*

C_s = redaman struktur atas

K_b = kekakuan *base isolation*

K_s = kekakuan struktur atas

U_g = perpindahan tanah

U_b = perpindahan lantai dasar di atas lapisan *base isolation*

U_s = perpindahan lantai atas

Maka persamaan gerak sistem adalah :

$$m\ddot{u}_s + c\dot{u}_s + ku_s = -m(\ddot{u}_g + \ddot{u}_b)$$

Untuk bangunan dengan sistem tanpa isolasi dasar, kita dapat memperoleh frekuensi dan periode getar alami dengan rumus berikut :

$$w_f = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad T_f = \frac{2\pi}{w_f} \quad \zeta_f = \frac{c}{2mw_f}$$

Dimana w_f dan T_f adalah frekuensi dan periode getar alami, sedangkan ζ_f adalah rasio redaman. Dengan mengubah kekakuan dan redaman pada lapisan isolasi dasar ke bangunan tanpa isolasi dasar, kita akan mendapatkan frekuensi dan periode getar baru dari bangunan dengan isolasi dasar sebagai berikut :

$$w_b = \sqrt{\frac{k_b}{m + m_b}} \quad T_b = \frac{2\pi}{w_b} \quad \zeta_b = \frac{c_b}{2(m + m_b)w_b}$$

Dengan menggunakan isolasi dasar akan menghasilkan kekakuan yang lebih kecil dan periode getar T_b yang lebih panjang dari periode getar alami bangunan T_f .

Keterbaruan pada penelitian ini adalah penggunaan isolasi dasar pada bangunan tingkat menengah rumah sakit berdasarkan SNI 1726-2019. Berdasarkan dasar teoretis yang telah dikemukakan sebelumnya, dapat dirumuskan hipotesis sebagai berikut ini : “*Struktur bangunan gedung yang dilengkapi dengan sistem isolasi dasar akan mengalami peningkatan periode pada mode-mode fundamental sehingga percepatan gempa yang akan diterima struktur di atasnya akan berkurang secara signifikan. Konsep sistem isolasi dasar ini*

diharapkan efektif digunakan pada struktur bangunan tingkat menengah rumah sakit 5 hingga 8 lantai karena umumnya bangunan rumah sakit (bangunan tingkat menengah) dengan menggunakan sistem konvensional (fixed base) mempunyai periode getar yang cukup rendah, sehingga masih sangat efektif untuk dilakukan perpanjangan periode getar dengan penggunaan base isolation agar percepatan gempa bisa berkurang". Efektifitas penggunaan base isolation bisa dicapai apabila penggunaan base isolation bisa mengurangi beban gempa horizontal sehingga struktur atas tidak perlu dibuat tahan gempa tetapi harus tetap tahan terhadap beban gravitasi.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis jenis *base isolation* dalam rangka menentukan *base isolation* yang paling cocok untuk struktur bangunan tingkat menengah rumah sakit di Indonesia. Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat teoritis berupa pengayaan kajian rekayasa gempa dan dinamika struktur, khususnya dalam penerapan sistem isolasi dasar pada bangunan dengan fungsi strategis, serta manfaat praktis sebagai bahan pertimbangan bagi perencana struktur, kontraktor, dan pembuat kebijakan dalam memilih sistem struktur yang tepat untuk bangunan rumah sakit tahan gempa di Indonesia. Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi acuan bagi pengembangan standar perencanaan bangunan tahan gempa berbasis kinerja (*performance-based seismic design*) untuk fasilitas kesehatan di wilayah rawan gempa.

METODE PENELITIAN

Tahap perencanaan awal (preliminaries) dilakukan dengan membuat model struktur 3D bangunan rumah sakit 5 dan 7 lantai baik dengan sistem struktur konvensional (fixed base) maupun sistem struktur terisolasi (isolated base) dengan menggunakan type base isolation yaitu high damping rubber bearing. Proses penelitian ini dilakukan dengan bantuan software ETABS versi 18.1.1. Sedangkan untuk eksitasi gempa, pada penelitian ini akan memakai prosedur analisis spektrum respons yang merupakan prosedur analisis dinamik yang diizinkan dalam SNI 1726-2019 untuk analisis base isolation. Pemilihan penggunaan prosedur analisis spektrum respons ini dikarenakan dalam penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan perilaku dinamik dan gaya geser struktur bangunan tanpa isolasi dasar dan dengan isolasi dasar akibat eksitasi gempa yang bekerja. Selain hal itu, pemilihan penggunaan prosedur analisis spektrum respons karena ketersediaan data yang cukup lengkap baik berupa peta percepatan gempa maupun data respons spektra dari Pusgen-Puskim PUPR. Analisis dilakukan untuk mendapatkan perbandingan periode getar struktur dan gaya geser dasar antara struktur bangunan dengan sistem struktur konvensional (fixed base) dan struktur bangunan dengan sistem struktur terisolasi (isolated base).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan penelitian dengan pemodelan dengan 2 model bangunan rumah sakit, maka diperoleh data sebagai berikut:

1. Periode Getar Struktur

Tabel 1. Periode Getar Struktur Model Rumah Sakit 5 Lantai Sistem Struktur Konvensional
(fixed base)

<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i>	<i>Frequency</i>	<i>CircFreq</i>	<i>Eigenvalue</i>
		sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
Modal	1	1.094	0.914	5.741	32.968
Modal	2	1.001	0.999	6.275	39.379

Tabel 2. Periode Getar Struktur Model Rumah Sakit 5 Lantai Sistem Struktur Terisolasi
(isolated base)

<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i>	<i>Frequency</i>	<i>CircFreq</i>	<i>Eigenvalue</i>
		sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
Modal	1	3.488	0.287	1.801	3.245
Modal	2	3.406	0.294	1.844	3.402

Sumber: Hasil Analisis ETABS 18.1.1, 2024

Tabel 3. Periode Getar Struktur Model Rumah Sakit 7 Lantai Sistem Struktur Konvensional
(fixed base)

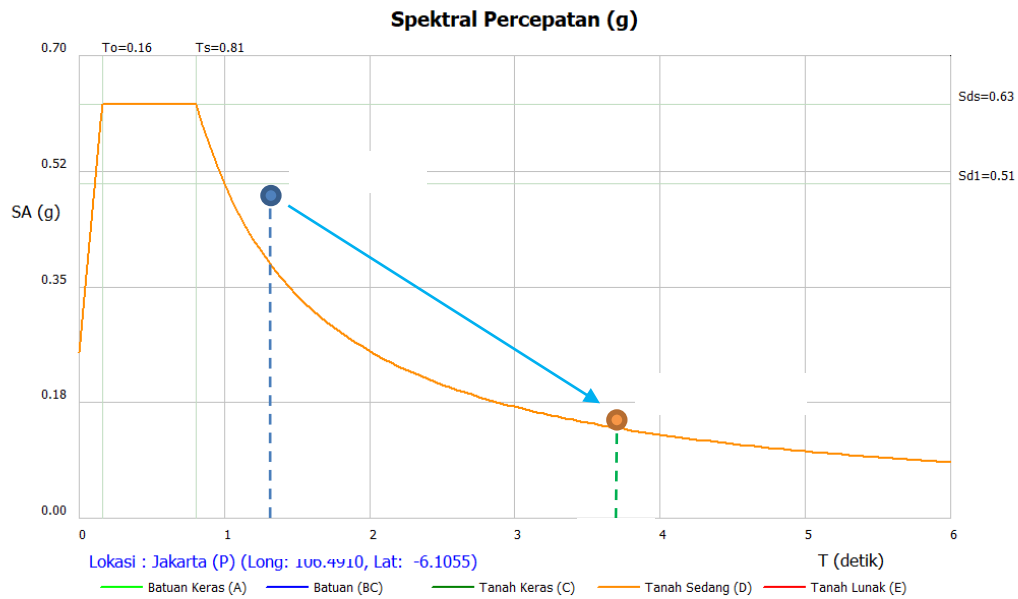
<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i>	<i>Frequency</i>	<i>CircFreq</i>	<i>Eigenvalue</i>
		sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
Modal	1	1.470	0.680	4.272	18.257
Modal	2	1.431	0.699	4.391	19.282

Sumber: Hasil Analisis ETABS 18.1.1, 2024

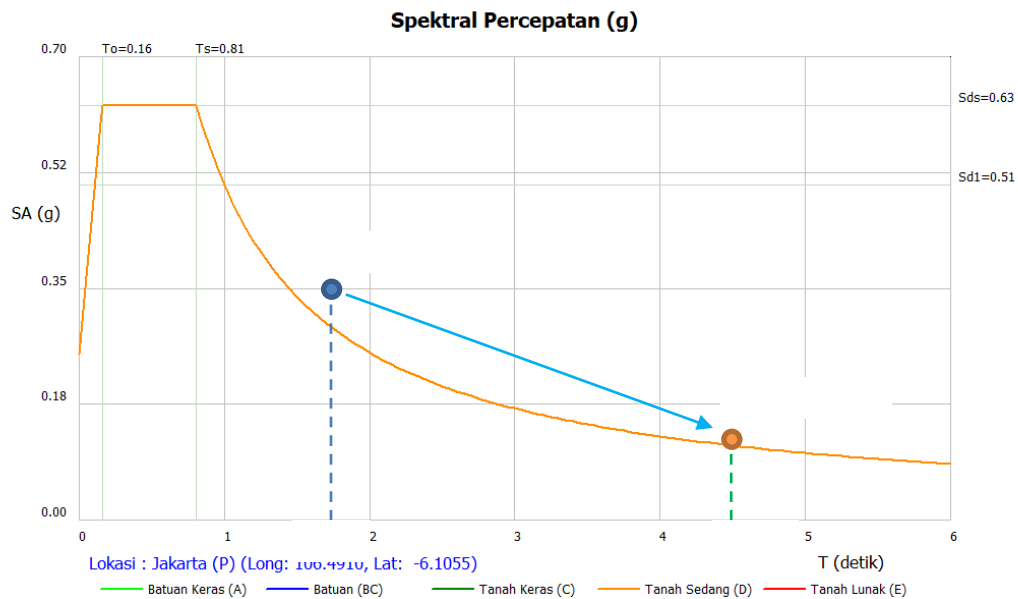
Tabel 4. Periode Getar Struktur Model Rumah Sakit 7 Lantai Sistem Struktur Terisolasi
(isolated base)

<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i>	<i>Frequency</i>	<i>CircFreq</i>	<i>Eigenvalue</i>
		sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
Modal	1	4.289	0.233	1.464	2.145
Modal	2	4.144	0.241	1.516	2.298

Sumber: Hasil Analisis ETABS 18.1.1, 2024



Gambar 5. Periode Struktur Sistem Konvensional dan Sistem Terisolasi Struktur Model Sakit 5 Lantai
Sumber: Hasil Analisis ETABS 18.1.1, 2024



Gambar 6 Periode Struktur Sistem Konvensional dan Sistem Terisolasi Struktur Model Rumah Sakit 7 Lantai
Sumber: Hasil Analisis ETABS 18.1.1, 2024

Dari gambar 5 dan gambar 6, terlihat bahwa dengan sistem *isolated base*, periode struktur menjadi lebih panjang sehingga percepatan gempa menjadi lebih kecil.

2. Gaya Geser Dasar

Dari hasil analisa diperoleh gaya geser dasar seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 5. Gaya Geser Dasar dengan Variasi Jumlah Lantai dan Sistem Tumpuan Struktur

Jumlah Lantai	<i>Fixed Base</i>		<i>Isolated Base</i>	
	Arah x	Arah y	Arah x	Arah y
	kN	kN	kN	kN
5 lantai	2727.19	2455.47	1076.71	1048.75
7 lantai	2959.44	2830.60	1240.04	1193.47

Sumber: Hasil Analisis ETABS 18.1.1, 2024

Dari tabel 5 terlihat bahwa gaya geser dasar menggunakan sistem *isolated base* berkurang sebesar 60.51% untuk arah x dan 57.28% untuk arah y dari sistem *fixed base* pada model rumah sakit 5 lantai. Sedangkan untuk model rumah sakit 7 lantai, gaya geser dasar menggunakan sistem *isolated base* berkurang sebesar 58.09% untuk arah x dan 57.83% untuk arah y dari sistem *fixed base*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa penggunaan base isolation sangat efektif dalam memperpanjang periode struktur sehingga mampu memperkecil percepatan gempa yang bekerja pada bangunan. Pada model rumah sakit 5 lantai, periode struktur dengan sistem fixed base sebesar 1,094 detik meningkat menjadi 3,488 detik setelah menggunakan sistem isolated base. Sementara itu, pada model rumah sakit 7 lantai, periode struktur dengan sistem fixed base sebesar 1,470 detik meningkat menjadi 4,289 detik dengan sistem isolated base. Hal ini menunjukkan bahwa sistem base isolation mampu meningkatkan fleksibilitas struktur secara signifikan, terutama pada bangunan tingkat menengah yang memiliki periode getar relatif pendek.

Selain itu, penggunaan base isolation terbukti sangat efektif dalam mengurangi gaya geser dasar akibat gempa pada bangunan rumah sakit 5 hingga 7 lantai. Pada model rumah sakit 5 lantai, gaya geser dasar dengan sistem isolated base mengalami penurunan sebesar 60,51% pada arah X dan 57,28% pada arah Y dibandingkan dengan sistem fixed base. Adapun pada model rumah sakit 7 lantai, gaya geser dasar berkurang sebesar 58,09% pada arah X dan 57,83% pada arah Y. Meskipun penggunaan base isolation dapat meningkatkan total displacement pada lantai puncak bangunan, sistem ini sangat efektif dalam memperkecil simpangan antar lantai. Kondisi tersebut sangat menguntungkan bagi bangunan rumah sakit yang memiliki batasan simpangan izin antar lantai secara ketat, sehingga penggunaan base isolation dapat menjadi solusi yang tepat untuk meningkatkan kinerja seismik bangunan rumah sakit.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrian, W., Faimun, & Wahyuni, E. (2017). Evaluasi kinerja gedung menggunakan base isolation tipe high damping rubber bearing (HDRB) pada modifikasi Gedung J-Tos Jogjakarta dengan perencanaan analisis pushover. *Jurnal Teknik ITS*. ISSN 2337-3539.
- Budiono, B., & Adelia, C. (2015). Penggunaan isolasi dasar single friction pendulum dan triple friction pendulum pada bangunan beton bertulang. *Jurnal Teknik Sipil*. ISSN 0853-2982.
- Faraswati R, N. (2019). *Studi nilai daktilitas sambungan takik lurus rangkap joint balok-kolom eksterior akibat beban siklik lateral* (Skripsi). Universitas Hasanuddin.
- Farissi, M. A., & Budiono, R. B. (2013). *Design and analysis of base isolated structures*. WIT

- Press.
- Ginting, T. J. (2019). *Studi parametrik efektifitas lead rubber bearing (LRB) pada jembatan beton bentang menerus* (Tesis). Institut Teknologi Bandung.
- Hastari, A. T. (2024). *Analisis perbandingan penggunaan single friction pendulum system (SFPS) dan non SFPS pada bangunan beton bertulang (Studi kasus: Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro)*. [Skripsi].
- Ir Totok Andi Prasetyo, M. T., & Naufal Yasir, S. T. (2024). *Perencanaan struktur baja bangunan bertingkat: Special moment frames dan sambungan terprakualifikasi*. Nas Media Pustaka.
- Jamal, M., Ahmad, S. N., Ampangallo, B. A., Serang, R., & Rachman, R. M. (2024). *Beton pracetak: Teknologi, produksi dan aplikasi*. Tohar Media.
- Kircher, C. A. (2013). *Seismically isolated structures* (FEMA P-751). Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- Manga, J., & Tanijaya, J. (n.d.). *Struktur gedung tahan gempa dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK)*. Al Arsy Media.
- Panjaitan, M. R. (2024). *Evaluasi perhitungan struktur gedung bertingkat pada pembangunan rumah susun Tower C (Sukaramai Medan)*. [Skripsi].
- Pratama, A. D. C., & ArRasyid, M. N. (2026). Re-desain struktur atas tahan gempa gedung apartemen berdasarkan SNI 1726:2019 di Kota Semarang. *Journal of Science, Technology, and Innovation*, 1(3), 393–400.
- Rangan, P. R. (2023). *Kapasitas elemen struktur terhadap beban gempa*. Tohar Media.
- Sila, A. A., Isdyanto, A., La Ola, M. N., Hamdi, F., Masgode, M. B., Aryadi, A., Dzakir, L. O., Astari, M. D., & Buarlele, L. (2023). *Dinamika dan struktur tahan gempa*. Tohar Media.
- Standar Nasional Indonesia. (2019). *SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- Sonata, H., Driptufany, D. M., Fajrin, M. S., Medriosa, H., Haryati, I. N., Ridwan, E. I. M., Honesti, I. L., & Octavia, D. M. (2026). *Mitigasi gempa bumi: Pendekatan struktural dan non-struktural dalam pengurangan risiko bencana*. PT Bukuloka Literasi Bangsa.
- Teruna, D. R. (2007). *Perencanaan bangunan tahan gempa dengan menggunakan base isolator (LRB): Contoh kasus Gedung Auditorium Universitas Cenderawasih Papua*. Prosiding Seminar dan Pameran HAKI.
- Ulum, M. N. N., & Adriasyah, M. (2025). *Perbandingan hasil analisis pushover pada struktur baja moment resisting frame dan eccentrically braced frame*. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Widiyanto, E., & Adam, A. B. (2022). *Desain struktur gedung 8 lantai Rumah Sakit Wahidin Sudirohusodo dan tinjauan level kinerja struktur dengan performance based design*. Universitas Islam Sultan Agung.
- Wu, T. C. (2001). *Design of base isolation system for buildings*. Chung-Yuan Christian University.