

PENGUNAAN PEREDAM GEMPA TIPE *HIGH DUMPING RUBBER BEARING* SEBAGAI UPAYA MENGURANGI DAMPAK GETARAN AKIBAT GEMPA PADA BANGUNAN GEDUNG TINGGI DI JAKARTA

Denny Magni Sundara^{1*}, Rachmad Irwanto¹, Muhamad Junaedi¹, Ahyaudin Sodri²,
¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta
²Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia, Jakarta
*Email: denny.magni@uta45jakarta.ac.id

Abstrak

Letak geografis dan geologis, menjadikan Indonesia memiliki potensi besar terhadap bencana alam. Salah satu potensi terbesar bencana adalah gempa bumi. Sepanjang tahun 2023 terjadi gempa sebanyak 2.205 kejadian. Jakarta menjadi salah satu kota yang memiliki potensi tinggi dengan jumlah Gedung tinggi sebanyak 6.188. Oleh karena itu, penting untuk menerapkan strategi mitigasi risiko gempa yang efektif, terutama pada bangunan gedung tinggi. Bangunan gedung tinggi, dengan struktur yang kompleks, memiliki tantangan tersendiri dalam menghadapi guncangan gempa. Peredam gempa adalah perangkat yang dirancang untuk mengurangi dampak guncangan seismik pada struktur bangunan. Salah satu jenis peredam gempa yang banyak digunakan adalah High Dumping Rubber Bearing (HDRB). Penelitian ini menganalisis bagaimana HDRB dapat berkontribusi dalam meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa serta mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja HDRB. Penelitian ini menggunakan metode pendekatan kualitatif dan kuantitatif untuk menganalisis efektivitas HDRB dalam bangunan gedung tinggi di Jakarta. Pendekatan kualitatif melibatkan wawancara dengan para ahli dan insinyur sipil yang berpengalaman dalam penerapan teknologi peredam gempa sedangkan pendekatan kuantitatif melibatkan pengumpulan data numerik melalui survei dan pengukuran performa bangunan yang menggunakan HDR. Hasil analisis diperoleh: (1) Sebanyak 70% responden telah menggunakan HDRB dalam 50% proyek mereka. (2) Rata-rata penilaian efektivitas HDRB dalam mengurangi getaran akibat gempa adalah 4,2 dari 5. (3) 40% responden melaporkan mengalami masalah dalam pemasangan HDRB. (4) 60% responden merasa biaya pemasangan HDRB sebanding dengan manfaat yang diperoleh. (5) 80% responden merasa puas dengan kinerja HDRB setelah pemasangan. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun ada tantangan dalam pemasangan dan pemeliharaan HDRB, secara keseluruhan, penggunaan HDRB dalam bangunan gedung tinggi di Jakarta terbukti efektif dalam mengurangi dampak gempa dan meningkatkan kepuasan penghuni. Selain itu penelitian ini memberikan dasar yang kuat untuk rekomendasi penggunaan HDRB dalam proyek konstruksi lainnya di Jakarta.

Kata kunci: Peredam Gempa, Bangunan Gedung Tinggi, Mitigasi Bencana.

Abstract

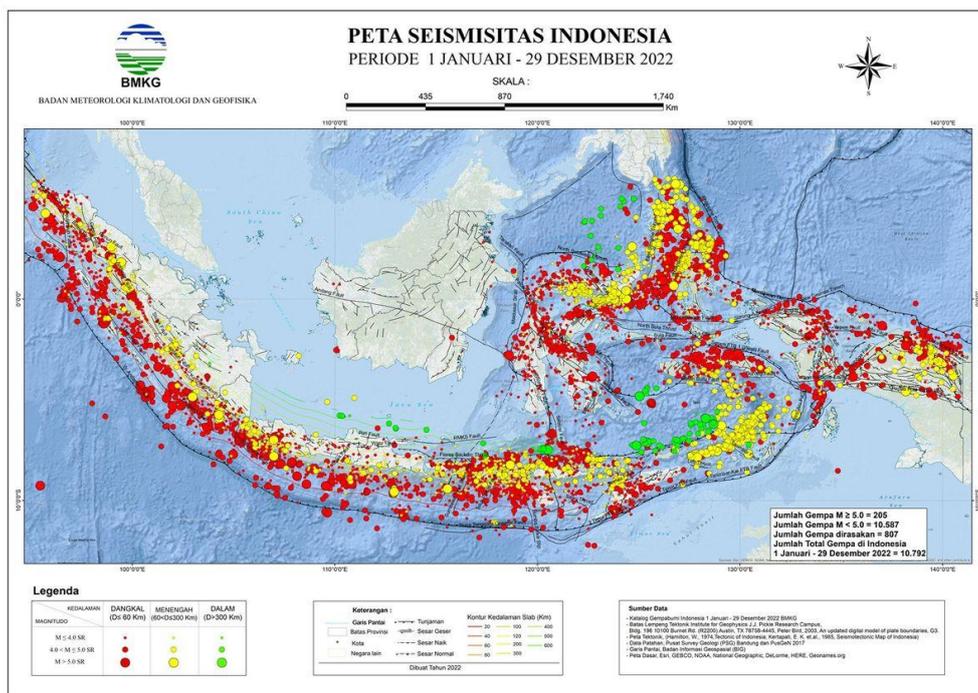
Geographical and geological locations make Indonesia have great potential for natural disasters. One of the greatest potential disasters is earthquakes. Throughout 2023, there were 2,205 earthquakes. Jakarta is one of the cities with high potential with 6,188 tall buildings. Therefore, it is important to implement effective earthquake risk mitigation strategies, especially in tall buildings. Tall buildings, with complex structures, have their own challenges in dealing with earthquake shocks. Earthquake dampers are devices designed to reduce the impact of seismic shocks on building structures. One type of earthquake damper that is widely used is the High Dumping Rubber Bearing (HDRB). This study analyzes how HDRB can contribute to increasing the earthquake resistance of buildings and identifies factors that affect HDRB performance. This study uses qualitative and quantitative approaches to analyze the effectiveness of HDRB in tall buildings in Jakarta. The qualitative approach involves interviews with experts and civil engineers who are experienced in the application of earthquake damping technology while the quantitative approach involves collecting numerical data through surveys and measuring the performance of buildings using HDR. The results of the analysis obtained: (1) As many as 70% of respondents have used HDRB in 50% of their projects. (2) The average assessment of the effectiveness of HDRB in reducing earthquake vibrations is 4.2 out of 5. (3) 40% of respondents reported experiencing problems in installing HDRB. (4) 60% of respondents felt that the cost of installing HDRB was comparable to the benefits obtained. (5) 80% of respondents were satisfied with the

performance of HDRB after installation. The conclusion of this study shows that although there are challenges in installing and maintaining HDRB, overall, the use of HDRB in high-rise buildings in Jakarta has proven effective in reducing the impact of earthquakes and increasing occupant satisfaction. In addition, this study provides a strong basis for recommendations for the use of HDRB in other construction projects in Jakarta.

Keywords: Earthquake Dampers, High-rise Buildings, Disaster Mitigation.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan luas wilayah 1.904.569 km² dan 17.504 pulau. Berdasarkan letak geografisnya, Indonesia berada pada posisi di antara Benua Asia dan Benua Australia, serta di antara Samudera Hindia dan Samudera Pasifik (Achmed dkk, 2024). Letak geologis Indonesia berada di pertemuan tiga lempeng aktif dunia yaitu lempeng Eurasia, Indo-australia dan lempeng Pasifik (Ramadhanty, 2024). Letak geografis dan geologis, menjadikan Indonesia memiliki potensi besar terhadap bencana alam. Salah satu potensi terbesar bencana adalah gempa bumi. Sepanjang tahun 2023 terjadi gempa sebanyak 2.205 kejadian (Wibowo, 2024). Sebaran gempa seperti yang ditunjukkan pada gambar 01, memiliki potensi tinggi pada kota-kota besar, seperti Jakarta, Bandung, Lampung, Padang, Aceh, Palu dan lainnya. Khusus di Jakarta dengan jumlah Gedung tinggi sebanyak 6.188, maka ini adalah kondisi yang cukup rawan jika terjadi gempa dengan skala besar (Farah, 2021). Berdasarkan standar pembangunan Gedung tinggi di Indonesia melalui kementerian PUPR Gedung harus direncanakan tahan terhadap gempa, walaupun telah menerapkan standar bangunan tahan gempa akan tetapi sedikit sekali Gedung-gedung di Jakarta yang telah mengaplikasikan teknologi peredam gempa, selain dianggap mahal dan proses pemasangan yang rumit, juga dianggap tidak efektif.

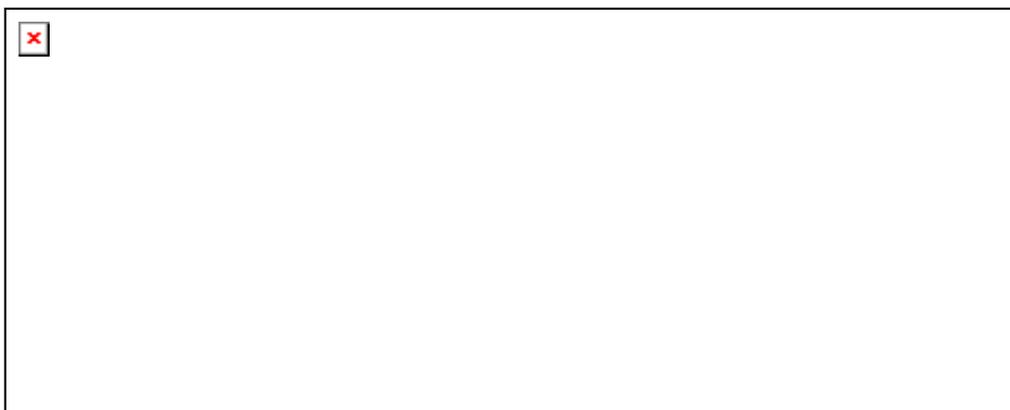


Gambar 1. Sebaran Gempa Periode Januari -Desember 2022 [3]

Jakarta terletak di kawasan yang rawan gempa akibat posisi geografisnya yang berada di Cincin Api Pasifik. Sejarah mencatat bahwa Jakarta pernah mengalami beberapa gempa bumi besar, di antaranya adalah gempa bumi tahun 2004 yang menyebabkan kerusakan signifikan pada infrastruktur kota (Tjokrodinuljo dkk., 2020). Dampak dari gempa bumi tidak hanya mengakibatkan kerugian material, tetapi juga mengancam keselamatan jiwa. Oleh karena itu, penting untuk menerapkan strategi mitigasi risiko gempa yang efektif, terutama pada bangunan gedung tinggi yang menjadi simbol perkembangan urbanisasi Jakarta. Bangunan gedung tinggi, dengan struktur yang kompleks dan tinggi, memiliki

tantangan tersendiri dalam menghadapi guncangan gempa. Struktur yang tidak dirancang dengan baik dapat mengalami kerusakan parah, bahkan kolaps, saat terjadi gempa (Sutanto dkk, 2021). Hal ini menegaskan perlunya peningkatan ketahanan bangunan melalui inovasi teknologi, salah satunya dengan penggunaan peredam gempa. Peredam gempa merupakan alat yang dirancang untuk mengurangi dampak getaran yang ditimbulkan oleh gempa, sehingga dapat meningkatkan daya tahan bangunan. Peredam gempa adalah perangkat yang dirancang untuk mengurangi dampak guncangan seismik pada struktur bangunan. Prinsip kerja peredam gempa umumnya melibatkan penyerap energi yang dihasilkan oleh getaran, sehingga mengurangi amplitudo gerakan bangunan (Fahmi dkk, 2019). Terdapat berbagai jenis peredam gempa, seperti peredam viskoelastik, peredam massa, dan peredam elastomerik.

Salah satu jenis peredam gempa yang banyak digunakan adalah *High Damping Rubber Bearing* (HDRB). HDRB berfungsi untuk menyerap energi seismik dan mengurangi pergerakan lateral pada bangunan. Dengan penggunaan HDRB, diharapkan bangunan gedung tinggi di Jakarta dapat lebih tahan terhadap guncangan gempa, sehingga mengurangi risiko kerusakan dan meningkatkan keselamatan penghuni. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan HDRB dalam konteks bangunan tinggi di Jakarta. HDRB adalah salah satu isolator seismik memiliki jenis karet yang lebih baik untuk meredam gaya gempa sehingga jenis ini lebih unggul dibanding jenis yang lain, dengan parameter analisis modulus geser dan rasio redaman yang dihasilkan karet. Material utama yang digunakan untuk HDRB adalah karet dan pelat baja (Arifin dkk, 2021). Campuran senyawa karet tersebut memiliki nilai rasio redaman yang tinggi dengan nilai kekakuan awal yang tinggi sehingga mampu mengakomodasi gaya angin dan gempa ringan tanpa berdeformasi secara signifikan. Dengan meningkatnya eksitasi gempa maka deformasi lateral akan meningkat dan modulus geser dari rubber akan menurun dan menghasilkan sistem isolasi dasar yang efektif, cukup fleksibel untuk memperpanjang periode struktur (Budiono dan Setiawan, 2014).



Gambar 2. Material Utama HDRB, Plat Besi dan Karet

Dalam upaya meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa, pemerintah Indonesia telah mengeluarkan berbagai kebijakan dan regulasi terkait konstruksi bangunan tahan gempa. Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk bangunan gedung tinggi mencakup ketentuan mengenai desain struktur yang mampu bertahan terhadap guncangan seismik (SNI 1726:2019). Penggunaan HDRB dalam konstruksi bangunan tinggi di Jakarta diharapkan dapat sesuai dengan standar ini, sehingga memberikan jaminan keamanan bagi penghuni. Penerapan regulasi yang ketat dalam desain bangunan tahan gempa, termasuk penggunaan HDRB, dapat mengurangi risiko kerusakan akibat gempa secara signifikan (Kusuma dkk, 2021). Namun, tantangan dalam implementasi regulasi ini masih ada terdapat kendala.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menilai efektivitas peredam gempa tipe HDRB dalam konteks bangunan gedung tinggi di Jakarta. Penelitian ini menganalisis bagaimana HDRB dapat berkontribusi dalam meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa serta mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja HDRB. Dengan memahami efektivitas HDRB, dapat memberikan rekomendasi yang berguna bagi pengembang dan insinyur sipil dalam merancang bangunan yang lebih aman. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk membandingkan performa bangunan yang menggunakan HDRB dengan bangunan konvensional yang tidak dilengkapi dengan peredam gempa.

Data yang diperoleh dari analisis ini memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai keuntungan dan tantangan yang dihadapi dalam penerapan HDRB di Jakarta. Dengan demikian, penelitian ini dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan kebijakan dan regulasi terkait mitigasi risiko gempa di Indonesia pada umumnya dan di Jakarta pada khususnya.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dan kuantitatif untuk menganalisis efektivitas HDRB dalam bangunan gedung tinggi di Jakarta. Pendekatan kualitatif melibatkan wawancara dengan para ahli dan insinyur sipil yang berpengalaman dalam penerapan teknologi peredam gempa sedangkan pendekatan kuantitatif melibatkan pengumpulan data numerik melalui survei dan pengukuran performa bangunan yang menggunakan HDRB. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer akan diperoleh melalui survei lapangan dan wawancara dengan pengembang dan insinyur yang telah menerapkan HDRB pada proyek bangunan tinggi. Data sekunder akan diambil dari literatur, laporan penelitian, dan dokumen resmi terkait peredam gempa dan bangunan tahan gempa di Jakarta. Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi analisis statistik untuk menilai efektivitas HDRB dalam mengurangi dampak gempa. Perbandingan akan dilakukan antara bangunan yang menggunakan HDRB dan yang tidak, dengan fokus pada parameter seperti pergerakan lateral, kerusakan struktural, dan biaya pemeliharaan. Hasil analisis diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai keunggulan dan tantangan penggunaan HDRB dalam konteks bangunan gedung tinggi di Jakarta.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian telah dilakukan secara mendalam pada 10 lokasi bangunan gedung yang menggunakan HDRB dengan melibatkan responden yang terdiri dari pengelola gedung, penghuni gedung dan tenaga ahli yang memiliki pengalaman langsung dalam proyek gedung tinggi yang menggunakan HDRB. Pertanyaan wawancara terbuka akan dirancang untuk mengeksplorasi tingkat kerusakan bangunan. Berikut adalah contoh pertanyaan yang akan digunakan: (1) Ceritakan pengalaman Anda terkait pemasangan HDRB dalam proyek gedung tinggi. (2) Apa tantangan terbesar yang Anda hadapi saat menggunakan HDRB? (3) Bagaimana Anda menilai dampak HDRB terhadap kerusakan setelah gempa? (4) Apakah Anda memiliki contoh konkret tentang efektivitas HDRB dalam proyek Anda? (5) Bagaimana Anda mengukur keberhasilan pemasangan HDRB? (6) Apa umpan balik yang Anda terima dari penghuni terkait kinerja HDRB? (7) Apakah Anda pernah mengalami kerusakan struktural yang signifikan meskipun menggunakan HDRB? (8) Bagaimana Anda menilai perbandingan antara HDRB dan metode isolasi lainnya? (9) Apakah ada aspek tertentu dari HDRB yang menurut Anda perlu ditingkatkan? (10) Bagaimana Anda melihat masa depan penggunaan HDRB dalam konstruksi gedung tinggi di Jakarta? (11) Apakah Anda merasa cukup dilatih untuk menggunakan HDRB dengan efektif? (12) Bagaimana Anda mengelola pemeliharaan HDRB setelah pemasangan? (13) Apa yang Anda lakukan untuk memastikan kualitas pemasangan HDRB? (14) Apakah Anda memiliki rekomendasi untuk perusahaan lain yang ingin menggunakan HDRB? (15) Bagaimana Anda menilai biaya versus manfaat dari penggunaan HDRB? (16) Apakah Anda melihat perubahan dalam cara kerja tim setelah menggunakan HDRB? (17) Seberapa besar pengaruh HDRB terhadap efisiensi proyek secara keseluruhan? (18) Apa yang Anda pelajari dari pengalaman menggunakan HDRB? (19) Apakah Anda merasa bahwa HDRB berkontribusi pada keberlanjutan proyek? (20) Bagaimana Anda mendokumentasikan hasil penggunaan HDRB dalam proyek Anda?

Survei dilakukan dengan menyebarkan kuesioner yang terdiri dari 20 pertanyaan kuantitatif kepada para insinyur dan manajer proyek di perusahaan konstruksi besar. Pertanyaan-pertanyaan ini dirancang untuk mengukur efektivitas pemasangan HDRB. Berikut adalah pertanyaan yang digunakan: (1) Seberapa sering Anda menggunakan HDRB dalam proyek gedung tinggi? [1= Tidak Pernah, 5 = Selalu]. (2) Seberapa efektif Anda menilai HDRB dalam mengurangi getaran akibat gempa? [1= Sangat Tidak Efektif, 5= Sangat Efektif]. (3) Apakah Anda mengalami masalah dalam pemasangan HDRB? [1= Tidak Pernah, 5= Sering]. (4) Seberapa besar pengaruh HDRB terhadap biaya keseluruhan proyek? [1= Sangat Rendah, 5 = Sangat Tinggi]. (5) Seberapa puas Anda dengan kinerja HDRB setelah pemasangan? [1= Sangat Tidak Puas, 5= Sangat Puas]. (6) Seberapa sering Anda melakukan pemeliharaan pada HDRB? [1= Tidak Pernah, 5= Sangat Sering]. (7) Apakah Anda merekomendasikan penggunaan HDRB untuk proyek mendatang? [1= Tidak Rekomendasi, 5= Sangat

Rekomendasi]. (8) Seberapa besar dampak HDRB terhadap kenyamanan penghuni gedung? [1= Sangat Rendah, 5= Sangat Tinggi]. (9) Apakah Anda pernah melakukan analisis pasca-pemasangan HDRB? [1= Tidak Pernah, 5= Sering]. (10) Seberapa sering Anda mendapatkan umpan balik positif dari penghuni mengenai kinerja HDRB? [1= Tidak Pernah, 5= Sangat Sering]. (11) Seberapa besar pengaruh HDRB terhadap umur bangunan? [1= Sangat Rendah, 5= Sangat Tinggi]. (12) Seberapa efektif HDRB dalam mengurangi kerusakan struktural? [1= Sangat Tidak Efektif, 5= Sangat Efektif]. (13) Apakah Anda merasa bahwa HDRB meningkatkan nilai jual gedung? [1= Tidak Setuju, 5= Sangat Setuju]. (14) Seberapa sering Anda menggunakan HDRB dibandingkan dengan metode isolasi lainnya? [1= Tidak Pernah, 5= Selalu]. (15) Seberapa efektif HDRB dalam mengurangi kebisingan? [1= Sangat Tidak Efektif, 5= Sangat Efektif]. (16) Seberapa besar kontribusi HDRB terhadap keselamatan bangunan? [1= Sangat Rendah, 5= Sangat Tinggi]. (17) Apakah Anda merasa bahwa biaya pemasangan HDRB sebanding dengan manfaat yang diperoleh? [1= Tidak Setuju, 5= Sangat Setuju]. (18) Seberapa besar pengaruh HDRB terhadap waktu penyelesaian proyek? [1= Sangat Rendah, 5= Sangat Tinggi]. (19) Seberapa efektif HDRB dalam mengurangi kebutuhan perbaikan setelah gempa? [1= Sangat Tidak Efektif, 5= Sangat Efektif]. (20) Apakah Anda merasa perlu untuk melakukan pelatihan lebih lanjut mengenai HDRB? [1= Tidak Perlu, 5= Sangat Perlu].

Setelah data diperoleh melalui survei dan wawancara dikumpulkan, analisis dilakukan dengan cara berikut: (1) Analisis Wawancara : Data kualitatif dari wawancara akan dianalisis menggunakan pendekatan analisis tematik untuk mengidentifikasi pola dan tema yang muncul terkait dengan tingkat kerusakan bangunan dan efektivitas HDRB (2). Analisis Survei : Data kuantitatif dari survei akan dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan inferensial untuk menentukan rata-rata, median, dan distribusi jawaban. Ini akan memberikan gambaran umum tentang efektivitas HDRB dari perspektif para profesional di industri. (3) Integrasi Hasil : Hasil dari kedua metode akan digabungkan untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang efektivitas HDRB dan dampaknya terhadap kerusakan bangunan.

Pendekatan kuantitatif yang menggabungkan survei dan wawancara ini dapat memberikan wawasan mendalam mengenai efektivitas HDRB dalam bangunan gedung tinggi di Jakarta. Dengan hasil yang diperoleh, dapat memberikan rekomendasi yang bermanfaat bagi perusahaan konstruksi dalam penggunaan HDRB di masa depan. Hasil Gabungan dari Survei dan Wawancara, dari survei yang dilakukan, berikut adalah ringkasan hasil yang diperoleh: (1) Penggunaan HDRB : Sebanyak 70% responden telah menggunakan HDRB dalam 50% proyek mereka mereka. (2) Efektivitas : Rata-rata penilaian efektivitas HDRB dalam mengurangi getaran akibat gempa adalah 4,2 dari 5. (3) Masalah Pemasangan : 40% responden melaporkan mengalami masalah dalam pemasangan HDRB. (4) Biaya : 60% responden merasa biaya pemasangan HDRB sebanding dengan manfaat yang diperoleh. (5) Kepuasan : 80% responden merasa puas dengan kinerja HDRB setelah pemasangan.

4. KESIMPULAN

Dari Hasil dari survei dan wawancara menunjukkan dan dapat diambil kesimpulan bahwa meskipun ada tantangan dalam pemasangan dan pemeliharaan HDRB, secara keseluruhan, penggunaan HDRB dalam bangunan gedung tinggi di Jakarta terbukti efektif dalam mengurangi dampak gempa dan meningkatkan kepuasan penghuni. Penelitian ini memberikan dasar yang kuat untuk rekomendasi penggunaan HDRB di masa depan dalam proyek-proyek konstruksi di Jakarta. (1) Tantangan Pemasangan : Banyak responden mencatat bahwa tantangan terbesar adalah memastikan kualitas pemasangan dan pemeliharaan HDRB. (2) Dampak Terhadap Kerusakan : Responden melaporkan bahwa penggunaan HDRB secara signifikan mengurangi kerusakan struktural setelah gempa. (3) Rekomendasi: Banyak yang merekomendasikan pelatihan lebih lanjut untuk meningkatkan pemahaman tentang HDRB. Dengan menggabungkan data kuantitatif dan kualitatif, penelitian ini dapat memberikan gambaran yang lebih jelas tentang efektivitas HDRB dan dampaknya terhadap kerusakan bangunan, yang sangat penting untuk pengambilan keputusan dalam industri konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

Achmed, Heridadi, Pujo, Kusuma, & Wilopo. (2024). INFRASTRUKTUR TANGGUH BENCANA SEBAGAI BENTUK MITIGASI DALAM PENGURANGAN RISIKO BENCANA. jurnal.um-tapsel.ac.id/index.php/nusantara/article/view/16831

- Arifin, Tazha dan Desmaliana, Erma., 2021., Analisis Pushover terhadap Variasi Penempatan High Damping Rubber Bearing (HDRB) pada Struktur Gedung Bertingkat., *Journal of Sustainable Construction* Vol. 1, No. 1, e-ISSN: 2808-2869.
- Ariyanto, A.S. (2020) ‘Analisis Jenis Kerusakan Pada Bangunan Gedung Bertingkat (Studi Kasus pada Gedung Apartemen dan Hotel Candiland Semarang)’, *Bangun Rekaprima*, 06(1), pp. 45–57.
- Budiono, B., & Setiawan, A. (2014). Studi Komparasi Sistem Isolasi Dasar High-Damping Rubber Bearing dan Friction Pendulum System pada Bangunan Beton Bertulang. *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung*, 21(3), 180. ISSN 0853-2982
- Fahmi, M., & Sari, D. (2019). *The Role of Base Isolation in Earthquake Resistance of Tall Buildings*. *Journal of Building Engineering*, 26, 100-110.
- Farah, Kahar, & Agung. (2021). KONSEP KAWASAN SUPERBLOK TANGGAP BENCANA DI JAKARTA UTARA. *Jurnal FT UNS*.
- Kusuma, R., & Rahardjo, H. (2021). *Regulatory Framework for Earthquake-Resistant Design in Indonesia*. *Journal of Construction and Building Materials*, 266, 120-130.
- Ramadhanty. (2024). IDENTIFIKASI DAN KARAKTERISASI GEMPA INTRASLAB DI PULAU JAWA 2017-2021 DENGAN METODE SEGMENT IRISAN VERTIKAL (STUDI KASUS GEMPA . . . <https://jge.eng.unila.ac.id/index.php/geoph/article/view/341>
- Saputra, E. and Faizah, R. (2019) ‘Kajian Kerusakan Bangunan Sederhana Pasca Gempa Banjarnegara 18 April 2018’, *Agregat*, 4(1), pp. 295–302.
- Sutanto, M., & Hidayat, R. (2021). *Seismic Performance of High-Rise Buildings with High Damping Rubber Bearings*. *International Journal of Civil Engineering*, 19(4), 487-502.
- Tjokrodinuljo, J., & Supriyadi, A. (2020). *Seismic Risk Assessment for High-Rise Buildings in Jakarta*. *Journal of Earthquake Engineering*, 24(5), 835-850.
- Wibowo. (2024). Penerapan Building Information Modeling (BIM) pada Tahap Kesiapsiagaan Bencana Alam di Indonesia. <https://ojs.akmil.ac.id/index.php/tekniksipilpertahanan/article/view/211>