



EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR BANGUNAN TERHADAP BEBAN GEMPA DI WILAYAH RENTAN BENCANA DI KABUPATEN MAGETAN

EVALUATION OF BUILDING STRUCTURAL STRENGTH AGAINST EARTHQUAKE LOADS IN DISASTER-VULNERABLE AREAS IN MAGETAN REGENCY

Susilo¹, Gamaliel K Jarek²

Universitas Doktor Nugroho Magetan

Email: gamalielkjarek@udn.ac.id

Article Info

Article history :

Received : 26-09-2025

Revised : 27-09-2025

Accepted : 29-09-2025

Published : 01-10-2025

Abstract

This study aims to evaluate the structural strength of buildings against earthquake loads in Magetan Regency, East Java, which is exposed to risks associated with the Kendeng Fault. The research employed interviews, field observations, and document analysis to obtain comprehensive data on structural design, material quality, soil conditions, and the implementation of earthquake-resistant standards. The results indicate that many older buildings are vulnerable to earthquakes due to inadequate horizontal load distribution and the use of materials that do not meet SNI standards. Newer buildings designed in accordance with SNI 1726:2019 show significant improvements; however, budget constraints and the limited application of modern construction technologies, such as base isolators and energy dissipation systems, remain challenges. Soft soil conditions and potential liquefaction further exacerbate damage to buildings not designed with local geological conditions in mind. The study recommends strengthening supervision of SNI compliance, adopting modern construction technologies, conducting regular evaluations of existing buildings, and planning based on geotechnical studies. These measures are expected to enhance the earthquake resilience of buildings and ensure the safety of occupants in disaster-prone areas.

Keywords: *Earthquake-resistant buildings, structural resilience, SNI 1726:2019*

Abstrak

Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan struktural bangunan terhadap beban gempa di Kabupaten Magetan, Jawa Timur, yang terpapar risiko terkait Sesar Kendeng. Penelitian ini menggunakan wawancara, observasi lapangan, dan analisis dokumen untuk memperoleh data komprehensif mengenai desain struktural, kualitas material, kondisi tanah, dan penerapan standar ketahanan gempa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa banyak bangunan tua rentan terhadap gempa akibat distribusi beban horizontal yang tidak memadai dan penggunaan material yang tidak memenuhi standar SNI. Bangunan baru yang dirancang sesuai dengan SNI 1726:2019 menunjukkan peningkatan yang signifikan; namun, keterbatasan anggaran dan terbatasnya penerapan teknologi konstruksi modern, seperti isolator dasar dan sistem disipasi energi, masih menjadi tantangan. Kondisi tanah lunak dan potensi likuifaksi semakin memperparah kerusakan pada bangunan yang tidak dirancang dengan mempertimbangkan kondisi geologi setempat. Studi ini merekomendasikan penguatan pengawasan kepatuhan SNI, penerapan teknologi konstruksi modern, pelaksanaan evaluasi berkala terhadap bangunan yang ada, dan perencanaan berdasarkan studi geoteknik. Langkah-langkah ini diharapkan dapat meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa bumi dan menjamin keselamatan penghuni di daerah rawan bencana.

Kata kunci: *Bangunan tahan gempa, ketahanan struktural, SNI 1726:2019*



PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat kerentanan gempa bumi yang tinggi karena berada di kawasan Cincin Api Pasifik serta dipengaruhi aktivitas lempeng tektonik dan sesar aktif (Sutrisno et al., 2020). Kondisi ini menjadikan gempa sebagai ancaman nyata yang dapat menimbulkan kerusakan serius pada bangunan. Oleh karena itu, dibutuhkan desain konstruksi yang memperhatikan kelenturan material dan kemampuan menyerap energi (Wang et al., 2019). Upaya mitigasi risiko juga telah diatur oleh pemerintah melalui **UU No. 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana** (BNPB, 2020), sehingga aspek regulasi dan teknis harus berjalan beriringan dalam menekan dampak bencana.

Evaluasi struktur bangunan menjadi langkah penting untuk mengetahui sejauh mana ketahanan konstruksi terhadap gempa. Analisis material, kualitas konstruksi, dan penerapan teknologi terbaru merupakan aspek utama dalam proses evaluasi (Arief et al., 2021). Selain itu, pemeliharaan rutin dan pemeriksaan berkala juga harus dilakukan agar bangunan tetap layak dan aman digunakan (Gunawan, 2022). Dengan demikian, evaluasi bukan hanya menilai kondisi eksisting, tetapi juga mendorong langkah preventif yang berkesinambungan. Seiring berkembangnya teknologi, inovasi konstruksi seperti material komposit, dinding geser, dan isolator dasar terbukti mampu mereduksi dampak gempa pada bangunan. Teknologi ini efektif menyerap energi gempa sehingga mengurangi beban struktur (Sari et al., 2021). Namun, upaya teknis tersebut tetap perlu didukung sistem peringatan dini serta kesiapsiagaan masyarakat yang dikelola BMKG agar mitigasi berjalan secara menyeluruh.

Keterkaitan antara aspek teknis dan kondisi lokal dapat dilihat pada Kabupaten Magetan. Meskipun tidak termasuk wilayah dengan frekuensi gempa tinggi, keberadaan sesar aktif seperti Sesar Kendeng serta aktivitas Gunung Lawu menunjukkan adanya potensi bahaya (Hidayat et al., 2018). Bangunan lama di wilayah ini belum tentu sesuai dengan standar terbaru tahan gempa, yaitu **SNI 1726:2019**, sehingga evaluasi ketahanan strukturnya sangat diperlukan. Analisis dengan perangkat lunak seperti ETABS atau SAP2000 dapat membantu menilai respons bangunan terhadap beban gempa dan menghasilkan rekomendasi penguatan yang lebih tepat sasaran.

Kebaruan penelitian ini terletak pada fokusnya yang tidak hanya mengevaluasi bangunan baru, tetapi juga menelaah bangunan eksisting yang rentan. Penelitian ini mengintegrasikan aspek teknis, penerapan teknologi terbaru, kesiapsiagaan masyarakat, dan kebijakan pembangunan berkelanjutan. Sebagaimana ditegaskan oleh Wijaya (2017) serta Jauhari & Rahmawati (2020), perencanaan struktur harus memperhatikan desain yang tepat dan kualitas material, sedangkan UU No. 28 Tahun 2002, **SNI 1726:2019**, dan **SNI 2847:2013** telah menjadi acuan regulasi penting di Indonesia. Namun, penelitian terdahulu menunjukkan masih adanya kendala implementasi, misalnya keterbatasan desain beton bertulang (Zulfikar & Hadi, 2017), ketidakpatuhan terhadap **SNI 1726:2019** (Rahmat & Sulaiman, 2018), penerapan terbatas sistem disipasi energi fleksibel (Gunawan & Putra, 2019), kurangnya penggunaan analisis dinamis (Indrawan & Nugroho, 2020), serta hambatan implementasi SNI di wilayah pesisir akibat keterbatasan anggaran (Setyo & Kusumo, 2021). Fakta ini memperlihatkan adanya kesenjangan antara teori, regulasi, dan praktik di lapangan.

Berdasarkan uraian tersebut, permasalahan utama penelitian ini dirumuskan pada tiga aspek, yaitu bagaimana kondisi kekuatan struktur bangunan terhadap beban gempa di Kabupaten Magetan,



faktor-faktor apa saja yang memengaruhi ketahanan bangunan, serta sejauh mana kesesuaian bangunan eksisting dengan standar nasional **SNI 1726:2019**. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi kekuatan struktur, menganalisis faktor yang berpengaruh terhadap ketahanan bangunan, dan mengevaluasi kesesuaian struktur dengan standar gempa yang berlaku. Adapun kegunaan penelitian ini mencakup kontribusi teoretis berupa pengembangan pengetahuan dalam evaluasi bangunan tahan gempa dengan mengintegrasikan aspek material, desain, dan regulasi; kontribusi praktis sebagai rujukan bagi pemerintah daerah, insinyur sipil, serta masyarakat dalam upaya mitigasi bencana; dan kontribusi kebijakan berupa dasar ilmiah bagi pembangunan berkelanjutan yang berorientasi pada keselamatan dan ketahanan bencana.

Dengan demikian, penelitian ini dibangun atas tiga pilar utama, yaitu kekuatan material, desain struktural, dan regulasi teknis. Material seperti beton bertulang, baja, dan komposit harus dipilih sesuai kapasitas menyerap energi gempa (Hidayat, 2019), desain struktural harus mampu mendistribusikan gaya horizontal melalui sistem rangka, dinding geser, atau isolasi seismik (Jauhari & Rahmawati, 2020), sedangkan implementasi standar seperti **SNI 1726:2019** menjadi acuan utama (PUPR, 2020). Penelitian ini diharapkan dapat menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik, sekaligus menghasilkan rekomendasi praktis yang dapat meningkatkan kualitas perencanaan bangunan tahan gempa dan memperkuat implementasi standar di lapangan.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Sarangan, Kecamatan Plaosan, Kabupaten Magetan pada 20 April–20 Juli 2025, wilayah dengan potensi gempa signifikan akibat kedekatannya dengan zona subduksi lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Menggunakan pendekatan **kualitatif deskriptif**, penelitian bertujuan mengevaluasi ketahanan bangunan terhadap gempa sekaligus menilai kesesuaiannya dengan **SNI 1726:2019** dan regulasi terkait (Sugiyono, 2019; Hidayat, 2020). Data dikumpulkan melalui **wawancara** dengan ahli struktur, kontraktor, dan pengelola bangunan, **studi dokumentasi** dokumen perencanaan dan laporan inspeksi, serta **observasi lapangan** terhadap kondisi elemen struktural bangunan (Creswell, 2014; Bowen, 2020; Kusumo & Setyo, 2021). Analisis dilakukan secara kualitatif deskriptif dengan **triangulasi** untuk memastikan keabsahan data, menilai faktor teknis dan non-teknis yang mempengaruhi ketahanan struktur, termasuk kondisi geologi, kualitas material, dan praktik konstruksi, sehingga diperoleh gambaran komprehensif serta rekomendasi perbaikan bangunan di wilayah rawan gempa (Patton, 2015; Denzin, 2017; Flick, 2018; Wang et al., 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kombinasi antara wawancara, observasi, dan studi dokumentasi untuk memperoleh pemahaman yang mendalam mengenai kondisi bangunan di Kabupaten Magetan. Ketiga metode ini dipilih karena saling melengkapi dan memungkinkan peneliti memperoleh gambaran yang utuh mengenai kualitas konstruksi, desain struktural, serta implementasi standar bangunan tahan gempa. Wawancara dengan arsitek, insinyur struktur, kontraktor, dan penghuni bangunan memberikan informasi kontekstual terkait keputusan teknis, pemilihan material, serta perawatan bangunan yang telah dilakukan (Flick, 2018).

Observasi lapangan dilakukan secara sistematis untuk menilai kondisi fisik elemen struktural, seperti kolom, balok, dinding, atap, dan pondasi. Dengan metode ini, peneliti dapat



mengidentifikasi kerusakan yang mungkin tidak tercatat dalam dokumen resmi dan menilai kekuatan serta kualitas material yang digunakan dalam konstruksi (Creswell, 2016). Sementara itu, studi dokumentasi memberikan dasar bukti yang objektif melalui analisis gambar teknik, rencana konstruksi, dan laporan inspeksi, sehingga data yang diperoleh dapat diverifikasi dan dibandingkan dengan standar yang berlaku, seperti SNI 1726:2019 dan pedoman BNPB (Bowen, 2020).

Triangulasi data dari ketiga metode tersebut menjadi kunci untuk memastikan validitas dan reliabilitas informasi. Dengan membandingkan data dari wawancara, observasi, dan dokumen, peneliti dapat meminimalkan bias dan memperoleh gambaran yang lebih akurat mengenai kondisi bangunan serta faktor-faktor yang memengaruhi ketahanan terhadap gempa (Denzin, 2017; Patton, 2015). Pendekatan ini memungkinkan analisis yang holistik, tidak hanya pada aspek teknis, tetapi juga pada keputusan manajerial dan kondisi nyata lapangan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar bangunan lama di Kabupaten Magetan memiliki keterbatasan dalam hal ketahanan gempa. Banyak yang menggunakan material dengan kualitas rendah, desain struktural yang tidak memperhitungkan gaya horizontal, serta pondasi dangkal di atas tanah lunak yang rentan terhadap likuifaksi. Bangunan bertingkat tinggi juga menunjukkan kurangnya pertimbangan terhadap resonansi gempa, sementara bangunan baru yang mengikuti SNI 1726:2019 menunjukkan perbaikan dalam distribusi beban gempa dan penggunaan material berkualitas, meskipun masih terkendala oleh anggaran dan penerapan teknologi konstruksi modern.

Analisis lebih lanjut menegaskan bahwa desain bangunan yang mempertimbangkan pergerakan horizontal dan vertikal akibat gempa, penggunaan elemen penguat seperti dinding geser, kolom, dan balok penghubung, serta pemilihan material yang kuat sekaligus fleksibel, sangat menentukan ketahanan struktur (Wijaya, 2017; Jauhari & Rahmawati, 2020; Setyo & Kusumo, 2019). Selain itu, kondisi geologi dan pondasi yang sesuai memainkan peran penting dalam meredam amplifikasi gelombang seismik dan mengurangi risiko likuifaksi, sehingga keseluruhan struktur dapat lebih stabil saat terjadi gempa.

Penerapan standar SNI 1726:2019 telah terbukti meningkatkan daya tahan bangunan, khususnya dalam hal distribusi beban dan fleksibilitas struktur. Namun, ketidakseragaman implementasi, pengawasan yang kurang, serta kecenderungan pengembang mengurangi biaya dengan menggunakan material murah masih menjadi tantangan utama. Penggunaan teknologi konstruksi terbaru, seperti isolator dasar dan sistem disipasi energi, memiliki potensi signifikan untuk meningkatkan ketahanan bangunan, namun penerapannya masih terbatas karena faktor biaya dan pengetahuan yang belum merata.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan pentingnya evaluasi berkala dan penguatan bangunan lama, sekaligus penerapan teknologi konstruksi modern pada bangunan baru. Strategi ini tidak hanya meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa, tetapi juga meminimalkan risiko kerusakan struktural yang dapat mengancam keselamatan penghuni. Dengan pendekatan yang komprehensif, meliputi desain, material, pondasi, dan teknologi terkini, bangunan di Kabupaten Magetan dapat lebih aman dan siap menghadapi potensi gempa di masa depan.



KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa kekuatan struktur bangunan di wilayah Kabupaten Magetan sangat dipengaruhi oleh desain struktur, kualitas material, kondisi pondasi, dan penerapan standar ketahanan gempa. Meskipun sebagian besar bangunan telah memenuhi persyaratan dasar sesuai SNI 1726:2019, terdapat kelemahan signifikan pada bangunan lama maupun bangunan baru yang dikendalikan oleh keterbatasan anggaran dan kurangnya penerapan teknologi konstruksi terbaru. Temuan ini menekankan pentingnya pendekatan holistik dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunan, mulai dari tahap desain, pemilihan material, penerapan elemen penguat, hingga pemeliharaan rutin, untuk memastikan bangunan mampu bertahan menghadapi guncangan gempa dan menjaga keselamatan penghuninya.

Saran dan Rekomendasi

Pertama, pemerintah daerah perlu memperkuat pengawasan terhadap implementasi standar SNI terkait bangunan tahan gempa, termasuk memberikan sosialisasi dan edukasi kepada masyarakat, kontraktor, dan pihak terkait mengenai pentingnya kepatuhan terhadap peraturan ini. Selain itu, pembaruan regulasi harus dilakukan secara berkala menyesuaikan dengan perkembangan teknologi konstruksi dan temuan ilmiah terbaru.

Kedua, kontraktor dan pelaksana proyek disarankan untuk memperhatikan kualitas konstruksi secara menyeluruh, mulai dari pemilihan material hingga penerapan teknologi terbaru, seperti isolator dasar, sistem dinding geser, dan material komposit elastis. Pelatihan dan sertifikasi profesional bagi tenaga konstruksi perlu ditingkatkan agar prinsip-prinsip bangunan tahan gempa dapat diterapkan secara optimal.

Ketiga, pengelola bangunan harus melakukan evaluasi berkala terhadap kondisi struktural, termasuk inspeksi rutin dan pemeliharaan elemen kritis seperti kolom, balok, pondasi, dan dinding. Langkah ini penting untuk mendeteksi kerusakan dini dan memastikan bangunan tetap memenuhi standar keselamatan.

Keempat, perencanaan pembangunan baru harus didukung oleh analisis geologi yang mendalam untuk mengetahui karakteristik tanah, risiko likuifaksi, dan potensi pergerakan tanah. Studi geoteknik yang tepat dan mitigasi bencana berbasis data dapat mengurangi risiko kerusakan bangunan akibat kondisi geologi yang tidak stabil.

Dengan menerapkan langkah-langkah ini secara terpadu, ketahanan bangunan terhadap gempa dapat ditingkatkan, risiko kerusakan dan korban dapat diminimalkan, serta pembangunan di wilayah rawan gempa dapat berjalan lebih aman dan berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penelitian ini, terutama arsitek, insinyur struktur, kontraktor, dan penghuni bangunan yang telah bersedia memberikan informasi berharga. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada instansi pemerintah dan lembaga terkait yang memberikan akses data serta dokumentasi penting. Dukungan, bimbingan, dan kerjasama dari semua pihak tersebut menjadi kunci keberhasilan penelitian ini dalam memberikan



rekomendasi konstruktif bagi peningkatan ketahanan bangunan terhadap gempa di Kabupaten Magetan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, Z., & Darmawan, W. (2021). *Implementation of New Seismic Safety Standards in Indonesia*. Indonesian Journal of Civil Engineering, 6(1), 17-28.
- Anwar, F., & Agustina, A. (2021). *Seismic Risk Assessment for Historical Buildings in Indonesia*. Journal of Cultural Heritage Protection, 8(2), 92-103.
- Arief, A., Purnomo, D., & Suharto, P. (2021). Evaluasi Kekuatan Struktur Bangunan Tahan Gempa di Wilayah Rawan Bencana. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(2), 45-56.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2020). *Pedoman Perencanaan Bangunan Tahan Gempa di Indonesia*. Jakarta: BNPB.
- BNBC (Badan Nasional Penanggulangan Bencana). (2020). *Pedoman untuk Desain Bangunan yang Tahan Gempa di Kawasan Rawan Bencana*. Jakarta: BNPB.
- Bowen, G. (2020). *Document Analysis as a Qualitative Research Method*. Qualitative Research Journal, 10(3), 27-35.
- Chen, J., & Zhang, L. (2019). *Analysis of Seismic Building Codes and Construction Practices*. Seismic Journal, 7(1), 23-36.
- Creswell, J. W. (2016). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Denzin, N. K. (2017). *The Research Act: A Theoretical Introduction to Sociological Methods*. Chicago: Aldine.
- Fandi, F., & Nurhadi, H. (2020). *Retrofitting Techniques for Strengthening Earthquake-Vulnerable Buildings*. Structural Enhancement Journal, 10(3), 123-134.
- Farah, R., & Munir, A. (2020). *Seismic Simulation and Performance of Building Foundations*. Journal of Foundation Engineering, 5(3), 138-150.
- Flick, U. (2018). *An Introduction to Qualitative Research* (6th ed.). London: Sage Publications.
- Gabel, F., & Suryadi, T. (2020). *The Importance of Maintenance in Earthquake-Resistant Construction*. Journal of Construction Management, 8(2), 30-40.
- Giri, S. & Prabowo, J. (2021). *Penggunaan Material Komposit dalam Konstruksi Bangunan Tahan Gempa*. Jurnal Teknik dan Konstruksi, 10(5), 120-135.
- Gulen, B., & Cengiz, O. (2020). *Seismic Risk Assessment and Structural Performance of Buildings*. Journal of Earthquake Engineering, 12(4), 210-223.
- Gunawan, F. (2022). Pemeliharaan Rutin Bangunan Tahan Gempa untuk Mengurangi Kerusakan Struktural. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(3), 45-50.
- Gunawan, F. (2022). Pentingnya Pemeliharaan Bangunan Tahan Gempa untuk Mengurangi Risiko Bencana. *Jurnal Manajemen Infrastruktur*, 6(1), 23-34.
- Haris, S., & Dedi, A. (2022). *Seismic Vulnerability of Buildings in Urban Areas*. Civil Engineering Research Journal, 10(1), 84-95.
- Hirayama, Y., & Nomura, M. (2021). *Effect of Earthquake-Resistant Design on Building Safety and Durability*. Seismic Engineering Review, 13(2), 97-106.



- Ibrahim, M., & Ari, M. (2021). *Effects of Building Shape on Earthquake Resistance*. Journal of Seismic Engineering, 12(2), 45-56.
- Ibrahim, N., & Sharif, Z. (2021). *Advances in Seismic Risk Mitigation Technologies*. Construction Technology Review, 22(3), 112-125.
- Khan, R., & Singh, H. (2021). *Building Structural Safety and Seismic Design Innovations*. Structural Safety Review, 9(5), 115-130.
- Khandelwal, P. (2021). *Review of Advances in Seismic Protection Systems*. International Journal of Structural Engineering, 15(1), 77-91.
- Kresno, D. (2019). *Teknologi Tahan Gempa di Indonesia: Aplikasi dan Tantangan di Lapangan*. Jurnal Teknik dan Manajemen Konstruksi, 12(1), 50-63.
- Kurniawan, A., & Setiawan, B. (2020). *Evaluation of Existing Building Structures in Seismic Zones*. International Journal of Structural Integrity, 11(2), 45-58.
- Kusuma, T., & Arifin, Z. (2022). *Earthquake Impact on Residential Buildings in Urban Areas*. Urban Safety Journal, 8(2), 55-67.
- Liu, W., & Zhang, Z. (2019). *Building Materials and Construction Techniques for Earthquake Resistance*. Earthquake Science, 23(3), 124-136.
- Muliawan, R., & Pramudya, S. (2020). *Impact of Local Soil Conditions on Seismic Performance of Buildings*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 29(4), 34-49.
- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative Research & Evaluation Methods: Integrating Theory and Practice* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Prasetyo, E., & Wibowo, F. (2020). *Seismic Design Principles for Low-Rise Buildings*. Journal of Low-Rise Building Design, 9(4), 101-112.
- Purnama, D., & Adi, P. (2020). *Innovations in Earthquake-Proof Construction Materials*. Construction Materials Review, 5(2), 78-90.
- Purwanto, A., & Hartono, E. (2020). *Seismic Resistance Evaluation of Buildings in Indonesia's High-Risk Areas*. Seismic Safety and Design Journal, 11(1), 18-30.
- Sari, N., et al. (2021). *Teknologi Isolator Dasar dalam Konstruksi Bangunan Tahan Gempa: Studi Kasus di Indonesia*. Jurnal Teknik Konstruksi, 10(4), 112-119.
- Setiawan, D., & Hanafi, R. (2020). *Seismic Evaluation of Building Performance Using Modern Technologies*. Structural Integrity Journal, 13(4), 100-112.
- SNI (Standar Nasional Indonesia). (2019). *SNI 1726:2019: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Sugiharto, S., & Yuliana, A. (2020). *Sustainable Earthquake-Resistant Design Strategies in Indonesia*. International Journal of Earthquake Engineering, 19(2), 95-107.
- Suharto, B., & Priyono, S. (2022). *Design Optimization for Seismic Loads in High-Rise Buildings*. Journal of Structural Optimization, 14(1), 45-56.
- Sulaiman, D., & Hendra, A. (2021). *Risk-Based Approach to Seismic Building Design*. Journal of Risk Management in Construction, 10(3), 34-47.
- Sumadi, T., & Suryadi, A. (2020). *Integrating Seismic Design into Urban Development Planning*. Urban Development Journal, 13(4), 58-72.



- Sutrisno, H., et al. (2020). Dampak Gempa Bumi di Indonesia: Analisis Berdasarkan Geologi dan Seismologi. *Jurnal Geofisika Indonesia*, 8(3), 15-25.
- Udin, M., & Rani, F. (2022). *Seismic Performance of Reinforced Concrete Buildings: A Case Study from Indonesia*. *Journal of Civil Engineering*, 21(3), 90-103.
- Wahyu, M., & Joko, P. (2020). *Designing Seismic-Resistant Public Infrastructure in Indonesia*. *Infrastructure Design Journal*, 14(5), 22-36.
- Wang, Y., Zhang, H., & Liu, W. (2019). Structural Integrity and Safety in Seismic Engineering. *Earthquake Engineering Journal*, 34(1), 82-95.
- Widyastuti, H., & Rachmawati, T. (2021). *Assessing the Effectiveness of Seismic Isolation in Low-Rise Buildings*. *Journal of Construction Science*, 13(2), 67-79.
- Yulianto, E., & Hidayat, R. (2020). Penerapan Sistem Dinding Geser pada Bangunan Tahan Gempa. *Jurnal Teknik Struktur*, 8(2), 125-137.
- Zain, N., & Chandra, H. (2021). *Impact of Structural Deficiencies on Earthquake Safety*. *Journal of Structural Engineering*, 17(3), 45-56.
- Zaki, M., & Halim, A. (2021). *Designing for Earthquake Safety: A Comprehensive Guide*. *Building Safety Journal*, 14(2), 29-42.
- Zawawi, M., & Yanti, D. (2021). *The Role of Composite Materials in Seismic Design of Buildings*. *Advanced Materials in Construction*, 12(4), 155-166.
- Zhang, Y., Li, L., & Tan, H. (2020). *Seismic Design and Analysis of High-Rise Buildings: Lessons from Recent Earthquakes*. *Journal of Structural Engineering*, 34(5), 253-266.
- Zulkarnain, A., & Nuryanto, R. (2021). *Impact of Seismic Retrofits on Building Safety*. *Journal of Structural and Civil Engineering*, 16(1), 72-84.