

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Kinerja seismik struktur eksisting Gedung D Fakultas Geografi UGM terhadap gempa desain (DBE) menurut SNI 1726:2019 berada pada level IO–LS, dengan kapasitas lateral dan simpangan masih dalam batas yang diperkenankan tetapi dengan margin keselamatan yang relatif kecil. Pemasangan sistem retrofit EBF-X pada tiga variasi konfigurasi bracing terbukti meningkatkan kinerja seismik melalui penurunan periode fundamental di kedua arah, peningkatan base shear desain, serta reduksi signifikan interstory drift sehingga seluruh lantai memenuhi batas simpangan SNI 1726:2019 dengan margin yang lebih besar dibanding gedung eksisting.
2. Hasil analisis pushover dengan Capacity Spectrum Method (EC 8:2004) menunjukkan bahwa di arah X kapasitas geser maksimum dan base shear pada performance point model retrofit meningkat pada sebagian besar variasi EBF-X dengan displacement target yang lebih kecil, sedangkan di arah Y retrofit menghasilkan penurunan demand spektral dan simpangan pada kapasitas maksimum meskipun kenaikan base shear tidak sebesar di arah X. Evaluasi sendi plastis pada displacement target memperlihatkan bahwa seluruh sendi pada Gedung D eksisting maupun pada ketiga variasi retrofit tetap berada dalam zona A–IO sehingga tidak ada sendi yang mencapai LS maupun CP; dengan demikian, kinerja global struktur

eksisting dapat dikategorikan IO-LS, sedangkan struktur pascaretrofit dengan EBF-X mencapai level IO dengan margin keselamatan yang lebih besar.

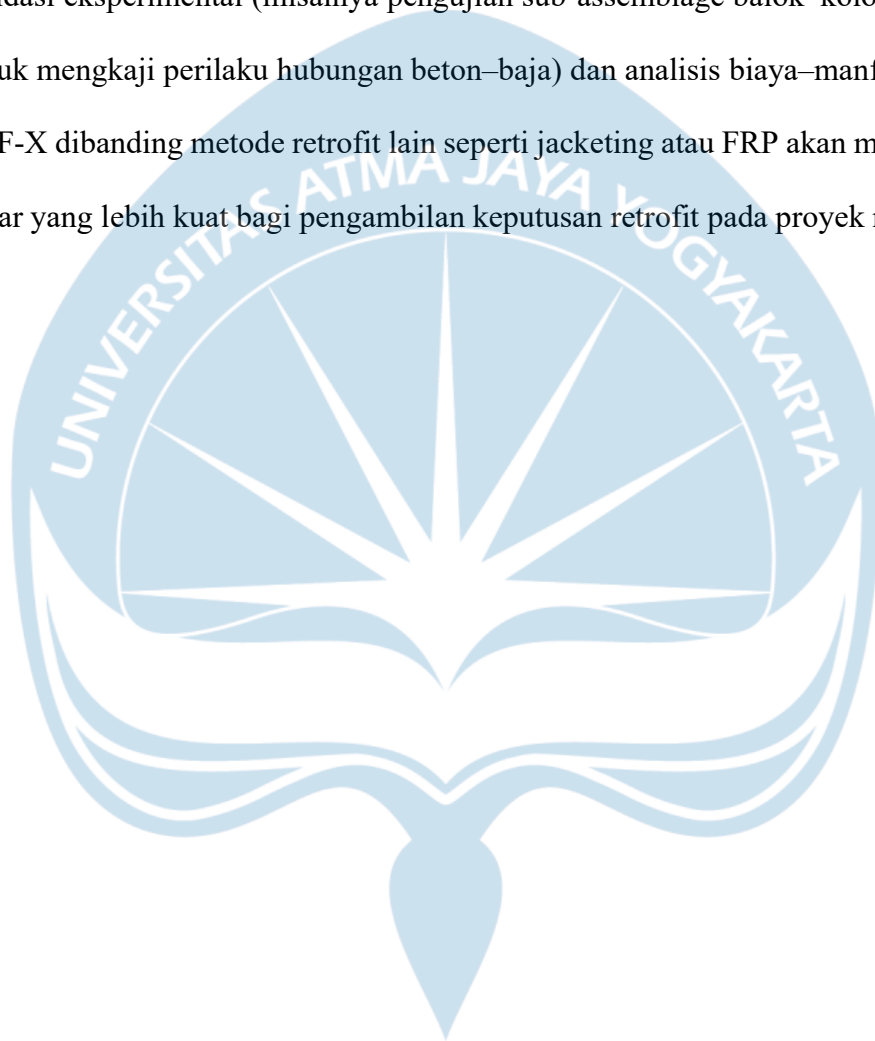
3. Secara keseluruhan, prosedur pemodelan numerik struktur hybrid beton-baja di ETABS dengan acuan SNI 1726:2019 dan ASCE 41-17 mampu merepresentasikan perilaku inelastis dan kinerja seismik Gedung D pada kondisi eksisting maupun pascaretrofit, sehingga dinilai memadai untuk digunakan pada kajian serupa. Temuan ini mendukung penerapan sistem EBF-X sebagai alternatif retrofit yang layak untuk gedung-gedung pendidikan sejenis di wilayah Yogyakarta yang dirancang dengan standar seismik lama, terutama ketika peningkatan kekakuan lateral dan pengendalian simpangan menjadi prioritas.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, sistem EBF-X direkomendasikan sebagai salah satu alternatif retrofit untuk gedung pendidikan bertingkat yang dirancang dengan standar seismik lama di wilayah Yogyakarta, khususnya ketika diperlukan peningkatan kekakuan lateral dan pengendalian simpangan tanpa penggantian total sistem struktur. Dalam implementasi praktis, pemilihan konfigurasi bracing, detail hubungan beton-baja, serta tahapan konstruksi perlu direncanakan secara cermat agar tidak mengganggu operasi gedung dan tetap memenuhi ketentuan detail penulangan dan sambungan sesuai SNI dan ASCE 41-17.

Untuk pengembangan penelitian, disarankan dilakukan kajian lanjutan dengan variasi konfigurasi bracing (misalnya V, inverted-V, atau EBF dengan

variasi panjang link), analisis nonlinier riwayat waktu, serta studi pengaruh ketidakberaturan massa dan kekakuan untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai kinerja seismik struktur hybrid beton–baja. Selain itu, validasi eksperimental (misalnya pengujian sub-assemblage balok–kolom–bracing untuk mengkaji perilaku hubungan beton–baja) dan analisis biaya–manfaat retrofit EBF-X dibanding metode retrofit lain seperti jacketing atau FRP akan memberikan dasar yang lebih kuat bagi pengambilan keputusan retrofit pada proyek nyata.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] ACI, 2019, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19), American Concrete Institute.
- [2] ACI, 2019, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19), American Concrete Institute.
- [3] AISC, 2016a, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (AISC 341-16), American Institute of Steel Construction.
- [4] AISC, 2016b, Specification for Structural Steel Buildings (AISC 360-16), American Institute of Steel Construction.
- [5] Arfiadi, Y., 2018, Performance-Based Seismic Design in Indonesia, Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UAJY, 5, 1-12.
- [6] ASCE/SEI, 2016, Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-16), American Society of Civil Engineers.
- [7] ASCE/SEI, 2017, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings (ASCE/SEI 41-17), American Society of Civil Engineers.
- [8] Author, 2025, Preliminary Pushover Analysis Gedung D Fakultas Geografi UGM, Laporan Teknis Internal, Program Magister Teknik Sipil UAJY.
- [9] Belal, M. F., Mohamed, A. F., dan Elsalakawy, E., 2015, Steel Jacketing of Reinforced Concrete Columns for Seismic Retrofit, Journal of Constructional Steel Research, 110, 45-56.
- [10] BMKG, 2025, Katalog Gempa Bumi Indonesia 2000-2024, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, <https://www.bmkg.go.id>.
- [11] Boen, T., 2006, Yogyakarta Earthquake May 27, 2006: Structural Damage Report, Earthquake Engineering Research Institute, <https://www.eeri.org>.
- [12] Bosilkov, M., Toevski, F., dan Zordan, T., 2024, EBF-X Retrofit Performance on Existing RC School Buildings in High Seismicity, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 53(4), 1567-1589.
- [13] BSN, 2015, SNI 1729:2015 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung dan Non-Gedung, Badan Standardisasi Nasional.
- [14] BSN, 2019a, SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung, Badan Standardisasi Nasional.
- [15] BSN, 2019b, SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, Badan Standardisasi Nasional.
- [16] BSN, 2020, SNI 1727:2020 Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya, Badan Standardisasi Nasional.
- [17] CEN, 2005, Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake

Resistance, European Committee for Standardization.

- [18] Elfira, M., 2023, Analisis Struktur Rangka Baja Split-K Braced EBF terhadap Beban Gempa, Tesis, Universitas Brawijaya, <https://repository.ub.ac.id/1860527>.
- [19] FEMA, 2000, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 356), Federal Emergency Management Agency.
- [20] FEMA, 2018, Seismic Performance Assessment of Buildings (FEMA P-58-1), Federal Emergency Management Agency.
- [21] Freddi, F., dkk., 2024, Retrofit Struktur Baja Eksisting Menggunakan External Buckling-Restrained Braces (BRBs), *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*.
- [22] Hidayat, M. F., 2023, Kinerja Seismik Berbagai Konfigurasi Bracing Eksentrik pada Struktur Baja, *Jurnal Aplikasi Teknologi Sipil*, 7(3), 200-215.
- [23] Hidayat, R., Pratama, A., dan Widodo, S., 2023, Material Degradation Analysis Gedung Eksisting UGM: Karbonasi dan Korosi, *Jurnal Rekayasa Struktur*, 8(1), 23-35.
- [24] Kumar, A., dan Singh, R., 2023, Comprehensive Review of Soft-Story Retrofit Techniques, *Materials Today: Proceedings*.
- [25] Kurniawan, A., 2025, Validation of Nonlinear Time History Analysis Using MIDAS Gen, *Jurnal Teknik Sipil UNDIP*, 12(1), 78-92.
- [26] Lisantono, A., 2022, Analisis Struktur Hibrida Beton-Baja, *Jurnal Teknik Sipil UAJY*, 10(1), 34-45.
- [27] Luthfiyah, N., 2022, Evaluasi Kinerja Seismik Bangunan 5 Lantai dengan Perbandingan SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019 Menggunakan Pushover Analysis, Tesis, Universitas Brawijaya.
- [28] MIDAS Information Technology, 2023, MIDAS Gen v2023 Technical Manual: Nonlinear Analysis, MIDAS IT.
- [29] NIST, 2017, Seismic Design of Steel Special Moment Frames: A Guide for Practicing Engineers (NIST GCR 17-900-009), National Institute of Standards and Technology.
- [30] Okazaki, T., dan Engelhardt, M. D., 2005, Cyclic Loading Tests of Eccentrically Braced Frame Link Beams, *Journal of Structural Engineering*, 131(9), 1371-1381.
- [31] PEER, 2010, Tall Buildings Initiative: Guidelines for Performance-Based Earthquake-Resistant Design, Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- [32] PEER, 2014, Next Generation Attenuation Ground Motion Database (NGA-West2), Pacific Earthquake Engineering Research Center, <https://ngawest2.berkeley.edu>.
- [33] Pratama, A., Hidayat, R., dan Sutanto, D., 2022, Rapid Visual

Screening 40 Gedung Kampus UGM-Yogyakarta, Jurnal Teknik Sipil UGM, 15(2), 45-62.

- [34] Putra, D. A., 2025, Cost-Benefit Analysis of Seismic Retrofit Strategies in Indonesia, Jurnal Bencana Alam, 7(2), 201-215.
- [35] Rahman, M., dan Islam, M., 2024, Seismic Assessment of RC Frame Structures Using Nonlinear Static Pushover Analysis in ETABS, International Journal of Research and Scientific Innovation.
- [36] SAC Joint Venture, 1997, SAC Steel Project: Background Documents (SAC-BD-97/01), SAC Joint Venture.
- [37] Soebowo, E., Hartanto, I., dan Wibowo, A., 2007, The Yogyakarta Earthquake of May 27, 2006 (MAE Center Report No. 07-02), University of Illinois at Urbana-Champaign.
- [38] Sutanto, D., 2024, Comparative Analysis SNI 1726-2013 vs 2019 pada Gedung Pendidikan Yogyakarta, Jurnal Teknik Sipil ITB, 29(3), 112-128.
- [39] Topkaya, C., 2015, Hybrid RC–Steel Eccentrically Braced Frame Retrofit, Earthquake Spectra, 31(2), 1023-1045.
- [40] UGM, 2006, Post-Earthquake Building Assessment Report Fakultas Teknik UGM, Universitas Gadjah Mada.
- [41] USGS, 2025, Global Significant Earthquake Database, United States Geological Survey.
- [42] Walter, T. R., dkk., 2008, The 2006 Java Earthquake: Tectonic Setting and Damage Distribution, Bulletin of the Seismological Society of America.
- [43] Wahyuni, S., dkk., 2017, Penerapan Rapid Visual Screening (FEMA P-154) pada Bangunan di Yogyakarta, Jurnal Teknik Sipil UGM.
- [44] Yang, T. Y., Adeli, H., dan Kim, J., 2020, Energy-Based Earthquake Design Procedure for EBF Systems, Engineering Structures, 208, 110125.