



EVALUASI STRUKTUR BANGUNAN *LOW-RISE* TERHADAP PENGARUH GEMPA DENGAN PENDEKATAN STATIK EKUIVALEN

Zikra Fauzan Virawan^{1*}, Midia Rahma²

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Lamongan, Lamongan

²Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon

zikrafvirawan@umla.ac.id

ABSTRACT

Indonesia is one of the countries with a high level of seismic vulnerability due to its location at the convergence of three major tectonic plates: the Eurasian, Pacific, and Indo-Australian plates. Several major earthquakes, such as those in Aceh (2004, Mw 9.2), Yogyakarta (2006, Mw 6.3), Padang (2009, Mw 7.6), Lombok (2018, Mw 7.0), and Cianjur (2022, Mw 5.6), have caused significant damage to buildings and infrastructure. This study aims to evaluate the structural performance of a low-rise building subjected to earthquake loads using the equivalent static analysis method. The object of study is a two-story office building located in Klaten Regency, constructed with concrete of $f_c' 25$ MPa and reinforcement steel of $f_y 360$ MPa. The analysis was carried out using a finite element-based software with seismic parameters determined according to SNI 1726:2020. The results show that the interstory drift values are well below the allowable limit of $0.025H$ specified by SNI 1726:2020. Based on the ATC-40 performance criteria, the building is classified under the Immediate Occupancy (IO) level, indicating that the structure remains safe and functional immediately after the design earthquake. Therefore, low-rise building meets the structural performance requirements under seismic loading.

Keywords: Equivalent static analysis; SNI 1726:2020; ATC-40; low-rise building; structural performance.

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki tingkat kerawanan gempa bumi tinggi karena berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Eurasia, Pasifik, dan Indo-Australia. Sejumlah peristiwa gempa besar seperti Aceh 2004 (Mw 9,2), Yogyakarta 2006 (Mw 6,3), Padang 2009 (Mw 7,6), Lombok 2018 (Mw 7,0), dan Cianjur 2022 (Mw 5,6) telah menimbulkan kerusakan signifikan pada bangunan dan infrastruktur. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan bertingkat rendah (*low-rise*) terhadap beban gempa menggunakan metode analisis statik ekuivalen. Obyek penelitian adalah bangunan dua lantai yang berfungsi sebagai kantor, berlokasi di Kabupaten Klaten, dengan mutu beton $f_c' 25$ MPa dan baja $f_y 360$ MPa. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga dengan parameter gempa sesuai SNI 1726:2020. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai simpangan antar lantai (*interstory drift*) berada jauh di bawah batas maksimum $0,025H$ yang diizinkan oleh SNI 1726:2020. Berdasarkan penilaian kinerja struktur menggunakan kriteria ATC-40, bangunan termasuk dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO), yang berarti struktur tetap aman dan dapat difungsikan segera setelah gempa rencana terjadi. Dengan demikian, bangunan *low-rise* di lokasi penelitian dinyatakan memenuhi persyaratan kinerja struktur terhadap pengaruh gempa.

Kata kunci: Analisis statik ekuivalen; SNI 1726:2020; ATC-40; bangunan low-rise; kinerja struktur.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat aktivitas seismik tertinggi di dunia karena terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Kondisi geotektonik tersebut menyebabkan sering terjadinya gempa bumi dengan magnitudo besar yang berdampak luas terhadap kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat [1], [2]. Peristiwa gempa besar seperti di Aceh (2004), Yogyakarta (2006), Padang (2009), Lombok (2018), dan Cianjur (2022) menunjukkan bahwa sebagian besar bangunan gedung di Indonesia masih rentan terhadap kerusakan akibat beban gempa [3], [4]. Kerusakan tersebut tidak hanya terjadi pada bangunan tinggi, tetapi juga pada bangunan bertingkat rendah yang sering kali tidak dirancang sesuai ketentuan ketahanan gempa [5].

Berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji perilaku struktur bangunan terhadap beban gempa dengan menggunakan pendekatan analisis dinamik maupun statik [6], [7]. Hasil studi menunjukkan bahwa metode analisis statik ekuivalen efektif digunakan untuk bangunan dengan ketinggian rendah hingga menengah karena penyederhanaan pengaruh gempa menjadi gaya horizontal ekuivalen memberikan hasil yang cukup representatif [8], [9]. Namun, sebagian besar penelitian lebih berfokus pada struktur bertingkat menengah dan tinggi, sementara kajian terhadap bangunan bertingkat rendah (*low-rise*) masih terbatas, terutama dalam konteks evaluasi kinerja struktur berdasarkan SNI 1726:2020 dan pedoman ATC-40. Kondisi ini menimbulkan kesenjangan penelitian (*research gap*) terkait sejauh mana kinerja struktur bangunan *low-rise* memenuhi standar kinerja seismik yang berlaku di Indonesia.

Penelitian ini penting dilakukan mengingat banyaknya bangunan bertingkat rendah yang digunakan untuk fasilitas publik seperti kantor, sekolah, dan hunian di wilayah rawan gempa. Evaluasi kinerja struktur terhadap pengaruh gempa menjadi krusial untuk memastikan keamanan, kenyamanan, dan keberlanjutan fungsi bangunan pasca-gempa. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman empiris mengenai kinerja seismik bangunan *low-rise* yang dirancang menggunakan pendekatan analisis statik ekuivalen, sehingga dapat memperkuat implementasi ketentuan perencanaan gempa nasional berdasarkan SNI 1726:2020 dan ATC-40 [10], [11], [12].

Secara khusus, tujuan utama penelitian ini adalah: (1) mengevaluasi kinerja struktur bangunan *low-rise* terhadap pengaruh beban gempa menggunakan metode analisis statik ekuivalen; (2) membandingkan hasil analisis dengan batasan perpindahan antar lantai sesuai ketentuan SNI 1726:2020; dan (3) menentukan level kinerja struktur bangunan berdasarkan klasifikasi penilaian ATC-40. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi perencanaan dan evaluasi struktur bangunan sederhana di wilayah seismik tinggi di Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis numerik berbasis model struktur tiga dimensi (3D). Tujuan utamanya adalah mengevaluasi kinerja struktur bangunan *low-rise* terhadap pengaruh beban gempa menggunakan metode analisis statik ekuivalen. Tahapan penelitian disusun secara sistematis sebagai berikut:

a. Studi Pendahuluan

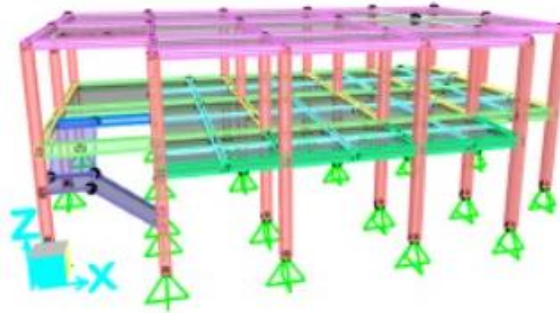
Melakukan kajian pustaka terhadap standar dan literatur yang relevan, antara lain SNI 1726:2020, ATC-40, serta beberapa penelitian terdahulu mengenai kinerja seismik bangunan bertingkat rendah.

b. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan meliputi data teknis bangunan (geometri, material, dan fungsi), data lokasi bangunan (koordinat geografis dan klasifikasi tanah), serta parameter percepatan gempa dari peta bahaya gempa Indonesia.

c. Pemodelan Struktur

Struktur bangunan dimodelkan dalam bentuk 3D menggunakan perangkat lunak analisis berbasis metode elemen hingga. Proses pemodelan mencakup pendefinisian elemen balok, kolom, pelat lantai, serta pemberian beban mati dan beban hidup sesuai SNI 1727:2020.



Gambar 1. Pemodelan 3D

d. Analisis Beban Gempa

Beban gempa ditentukan dengan metode statik ekuivalen berdasarkan parameter respons spektrum wilayah penelitian. Gaya geser dasar dihitung menggunakan koefisien respons seismik C_s , kemudian didistribusikan ke tiap lantai dengan persamaan:

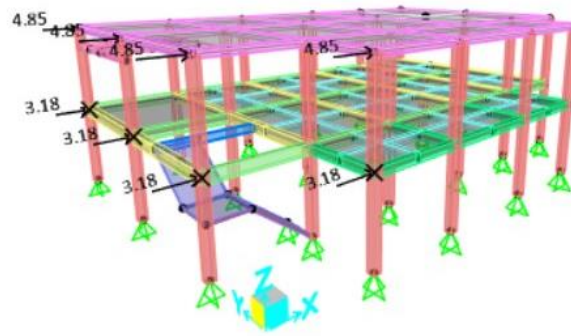
$$F_i = C_{vx} \times V \quad (1)$$

F_i adalah gaya gempa pada lantai ke - i, C_{vx} adalah koefisien distribusi gaya gempa, dan V merupakan total gaya geser dasar bangunan.

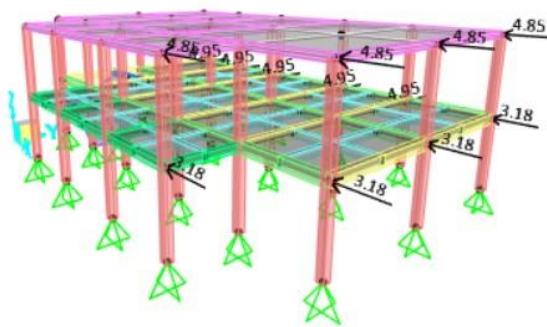
Nilai gaya gempa horizontal pada tiap lantai dihitung berdasarkan distribusi gaya lateral sebanding dengan berat dan ketinggian masing-masing lantai terhadap total berat bangunan. Tabel 1 menyajikan hasil perhitungan distribusi beban gempa pada setiap tingkat bangunan.

Tabel 1. Nilai distribusi beban gempa

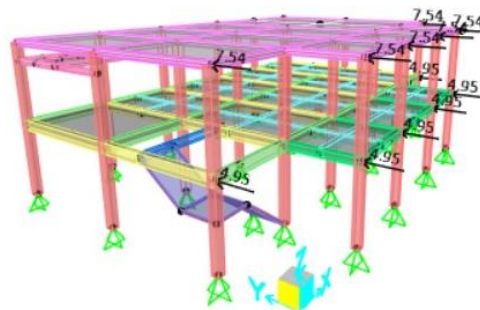
Lantai Ke - i	W (ton)	h (m)	h _x (m)	W _x *h _x ^k (ton.m)	C _{vx}	F (ton)	f _x 30%f	f _y 70%f
Atap	130.17	0	8.85	1152	0.507	54.3	16.29	38.01
Lantai 2	263.478	4.6	4.25	1119.78	0.493	52.8	15.85	36.95
Lantai 1	42.3975	4.25	0	0	0	0	0	0
Total	436,046			2271.79		107.1	32.14	74.96



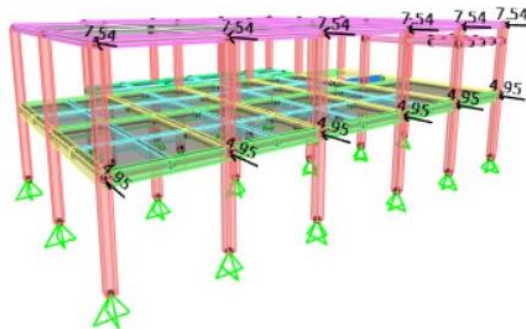
Gambar 2. Beban gempa EX + (positif)



Gambar 3. Beban gempa EX - (negatif)



Gambar 4. Beban gempa EY + (positif)



Gambar 5. Beban gempa EY - (negatif)

e. Evaluasi Hasil Analisis

Hasil analisis berupa simpangan antar lantai (*displacement*) dibandingkan dengan batas izin yang ditetapkan SNI 1726:2020, yaitu $\leq 0,025H$. Selanjutnya, kinerja struktur ditentukan berdasarkan kriteria *drift* total dan inelastik menurut ATC-40 untuk mengidentifikasi level kinerja struktur (*Immediate Occupancy, Life Safety, atau Collapse Prevention*).

Obyek penelitian adalah gedung kantor dua lantai yang berlokasi di Kecamatan Cawas, Kabupaten Klaten, Provinsi Jawa Tengah. Bangunan dikategorikan sebagai struktur *low-rise* karena memiliki jumlah lantai ≤ 3 dengan tinggi total kurang dari 10 m, dan berada pada kelas situs SD (tanah sedang–lunak) sesuai karakteristik kondisi tanah setempat. Data teknis struktur yang digunakan dalam pemodelan adalah sebagai berikut:

- a. Mutu beton : $f'_c = 25 \text{ Mpa}$
- b. Mutu baja tulangan : $f_y = 360 \text{ MPa}$
- c. Dimensi balok : $30 \times 55 \text{ cm}, 30 \times 40 \text{ cm}, 25 \times 35 \text{ cm}, \text{ dan } 15 \times 30 \text{ cm}$
- d. Dimensi kolom : $40 \times 40 \text{ cm}$
- e. Tinggi lantai 1 : $1 : 4,25 \text{ m}$
- f. Tinggi lantai 2 : $2 : 4,60 \text{ m}$

Analisis gempa dilakukan dengan mengacu pada peta zonasi gempa Indonesia tahun 2020. Parameter gempa pada lokasi penelitian di Kabupaten Klaten adalah:

- a. $S_s = 1,0076$
- b. $S_1 = 0,466$
- c. $S_{ds} = 0,7368$
- d. $S_{d1} = 0,5697$
- e. $C_s = 0,2456$

Pemodelan dilakukan dengan perangkat lunak analisis struktur berbasis metode elemen hingga. Elemen struktur dimodelkan sebagai elemen frame dengan asumsi perilaku elastis linier. Massa bangunan dianggap terkonsentrasi di tiap lantai, dan beban gempa diterapkan secara lateral sesuai arah X dan Y. Analisis struktur dilakukan dengan dua tahap utama: analisis statik ekuivalen dengan menghitung respons struktur akibat gaya horizontal ekuivalen dari gempa rencana. Evaluasi kinerja struktur dengan hasil perhitungan *displacement* dan *drift* dibandingkan dengan standar: SNI 1726:2020 (batas perpindahan antar lantai $\leq 0,025H$) dan ATC-40 (penentuan *performance level* berdasarkan nilai total *drift* dan *inelastic drift*)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Analisis *Displacement* Berdasarkan SNI 1726:2020

Analisis struktur dilakukan menggunakan metode statik ekuivalen untuk menentukan nilai perpindahan antar lantai (*interstory displacement*) akibat beban gempa rencana. Nilai perpindahan pada arah X dan Y ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai *displacement*

Lantai Ke - i	h (m)	ux (m)	uy (m)	0.025*h (m)	Keterangan
Atap	8.85	0.01133	0.03765	0.22125	Memenuhi Syarat
Lantai 2	4.25	0.00924	0.00261	0.10625	Memenuhi Syarat
Lantai 1	0	0	0	0	Memenuhi Syarat

Nilai simpangan maksimum terjadi pada lantai atap sebesar 0,0376 m, jauh di bawah batas maksimum 0,025H atau sekitar 0,2213 m sesuai ketentuan SNI 1726:2020. Hasil ini menunjukkan bahwa deformasi lateral struktur masih berada dalam batas aman terhadap pengaruh gempa rencana.

b. Hasil Ekuivalen Kinerja Berdasarkan ATC-40

Evaluasi kinerja struktur selanjutnya dilakukan dengan mengacu pada pedoman ATC-40, yang mempertimbangkan total *drift* dan *inelastic drift* untuk menentukan level kinerja struktur. Hasil evaluasi ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Level kinerja struktur

Sumbu	Maksimum total <i>drift</i> $\frac{dt}{h}$	Maksimum total <i>in-elastic drift</i> $\frac{dt - d1}{h}$	Level Kinerja
X	0.00128	0.00128	<i>Immediate Occupancy</i>
Y	0.00425	0.00425	<i>Immediate Occupancy</i>

Nilai maksimum *drift* pada arah X sebesar 0,00128 dan pada arah Y sebesar 0,00425. Kedua nilai tersebut berada dalam rentang batas *Immediate Occupancy* (IO) menurut ATC-40. Kategori ini menunjukkan bahwa struktur tetap stabil dan dapat difungsikan segera setelah terjadi gempa tanpa mengalami kerusakan signifikan pada elemen utama.

Secara konseptual, level *Immediate Occupancy* menandakan bahwa struktur memiliki kekakuan dan kapasitas deformasi yang tinggi, serta tidak mengalami deformasi plastis pada elemen penahan beban vertikal maupun horizontal. Dengan demikian, bangunan yang dianalisis memiliki tingkat keandalan struktural yang baik terhadap pengaruh gempa di wilayah Klaten.

Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur bangunan dua lantai yang ditinjau memenuhi kriteria kinerja dan keselamatan berdasarkan SNI 1726:2020 maupun ATC-40. Nilai simpangan antar lantai berada jauh di bawah batas maksimum yang diperbolehkan, menandakan bahwa sistem rangka beton bertulang memiliki kekakuan lateral yang memadai untuk menahan gaya gempa. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Talitha Z, Imawan T dan Purwanto [13], yang menunjukkan bahwa metode analisis statik ekuivalen masih memberikan hasil yang representatif untuk bangunan bertingkat rendah. Hal ini disebabkan efek inersia antar lantai yang relatif kecil, sehingga distribusi gaya gempa dapat disederhanakan secara akurat dalam bentuk gaya horizontal ekuivalen.

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja, struktur diklasifikasikan dalam level *Immediate Occupancy* (IO). Kondisi ini menunjukkan bahwa bangunan dapat digunakan kembali segera setelah gempa tanpa kerusakan struktural yang signifikan. Temuan ini mendukung teori yang dikemukakan Poudel, Jhabindra K, Prashidha A, dan Subash [14], yang menyatakan bahwa bangunan beton bertulang bertingkat rendah umumnya menunjukkan nilai *drift ratio* yang rendah dan mampu mempertahankan kekakuan serta integritas elemen struktural utamanya pasca gempa.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa sistem rangka beton bertulang dengan konfigurasi simetris dan ketinggian rendah memiliki perilaku seismik yang stabil. Distribusi gaya lateral yang merata di setiap lantai menghasilkan deformasi yang seragam dan mengurangi risiko konsentrasi tegangan pada titik tertentu. Oleh karena itu, metode analisis statik ekuivalen masih relevan dan efektif diterapkan pada bangunan *low-rise* yang tidak memiliki ketidakteraturan massa atau kekakuan.

Meskipun hasil analisis menunjukkan kinerja yang baik, penelitian ini mengindikasikan perlunya kajian lanjutan menggunakan analisis dinamik, seperti *response spectrum* atau *time history analysis*, untuk memperoleh gambaran perilaku non linier struktur secara lebih komprehensif [9]. Analisis dinamik sangat penting bagi bangunan dengan bentuk tidak beraturan atau perbedaan massa yang besar antar lantai, karena kondisi tersebut dapat memengaruhi distribusi gaya gempa secara signifikan.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa metode statik ekuivalen sesuai SNI 1726:2020 mampu menggambarkan perilaku seismik bangunan rendah secara akurat. Penerapan metode ini dapat menjadi acuan praktis dalam evaluasi dan desain struktur bangunan sederhana di wilayah rawan gempa Indonesia.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa bangunan dua lantai yang berlokasi di Kabupaten Klaten memiliki kinerja struktur yang baik terhadap pengaruh gempa rencana. Berdasarkan analisis statik ekuivalen, nilai perpindahan antar lantai (*interstory drift*) berada jauh di bawah batas maksimum $0,025H$ sebagaimana diatur dalam SNI 1726:2020. Kondisi ini menunjukkan bahwa kekakuan lateral struktur masih memadai dan sistem rangka beton bertulang mampu menahan gaya gempa secara efektif tanpa mengalami deformasi yang berlebihan. Selain itu, hasil evaluasi kinerja berdasarkan pedoman ATC-40 menunjukkan bahwa struktur termasuk dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO) pada arah X maupun Y. Hal ini mengindikasikan bahwa bangunan tetap aman, stabil, dan dapat difungsikan kembali segera setelah gempa tanpa mengalami kerusakan signifikan pada elemen struktural utama. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa metode analisis statik ekuivalen masih relevan dan efektif digunakan untuk mengevaluasi kinerja seismik bangunan bertingkat rendah di wilayah rawan gempa, khususnya untuk struktur dengan konfigurasi sederhana dan kekakuan yang seragam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Saengyuan and P. Latcharote, "Investigation of Seismic Performance for Low-Rise RC Buildings with Different Patterns of Infill Walls," *Buildings*, vol. 12, no. 9, 2022, doi: 10.3390/buildings12091351.
- [2] J. P. Chicaiza-Fuentes and A. G. Haro-Baez, "Seismic Repair Cost-Based Assessment for Low-Rise Reinforced Concrete Archetype Buildings through Incremental Dynamic Analysis," *Buildings*, vol. 13, no. 12, 2023, doi: 10.3390/buildings13123116.
- [3] S. Kunwar, D. Thapa, A. Paudel, and A. Shrestha, "A comparative analysis of an RC low-rise building with the seismic codes of countries lying in the Himalayas: China, India, Nepal, and Pakistan," *Discov. Civ. Eng.*, vol. 1, no. 1, 2024, doi: 10.1007/s44290-024-00122-7.
- [4] W. O. Nugroho, A. Sagara, and I. Imran, "The evolution of Indonesian seismic and concrete building codes: From the past to the present," *Structures*, vol. 41, no. April, pp. 1092–1108, 2022, doi: 10.1016/j.istruc.2022.05.032.
- [5] N. S. Yel, M. H. Arslan, C. Aksoylu, İ. H. Erkan, H. D. Arslan, and E. Işık, "Investigation of the Earthquake Performance Adequacy of Low-Rise RC Structures Designed According to the Simplified Design Rules in TBEC-2019," *Buildings*, vol. 12, no. 10, 2022, doi: 10.3390/buildings12101722.
- [6] A. Shabani, M. Zucconi, D. Kazemian, and M. Kioumars, "Seismic fragility analysis of low-rise unreinforced masonry buildings subjected to near- and far-field ground motions," *Results Eng.*, vol. 18, no. May, p. 101221, 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101221.
- [7] D. Losanno, N. Ravichandran, and F. Parisi, "Seismic fragility models for base-isolated unreinforced masonry buildings with fibre-reinforced elastomeric isolators," *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, vol. 52, no. 2, pp. 308–334, 2023, doi: 10.1002/eqe.3761.
- [8] J. Paredes, W. Ramirez, F. Pico, R. Acosta, O. G. Toapanta, and M. Mayacela, "Impact of

- Structural Stiffness on Vibration Periods of Concrete Buildings: A Systematic Review,” *Materials (Basel)*, vol. 18, no. 11, pp. 1–24, 2025, doi: 10.3390/ma18112612.
- [9] A. Kadir, A. S. Sukri, N. H. Aswad, Masdiana, and Nasrul, “Evolution and Implications of Changes in Seismic Load Codes for Earthquake Resistant Structures Design,” *Civ. Eng. J.*, vol. 10, no. 1, pp. 62–82, 2024, doi: 10.28991/CEJ-2024-010-01-04.
- [10] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 1726-2019: Indonesia Seismic Resistance Design Guideline for Buildings and Other Structures (in Indonesian),” 2019, [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [11] ATC 40, “ATC 40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Redwood City California,” *Seism. Saf. commissionsion*, vol. 1, no. November 1996, p. 334, 1996.
- [12] Federal Emergency Management Agency, “Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building - FEMA 356,” *Fed. Emerg. Manag. Agency*, no. November, pp. 1–518, 2000.
- [13] Talitha Zhafira, Imawan Taufiqy, Purwanto, Mustain, and Nurti Kusuma Anggraini, “Dynamic Analysis of Spectrum Response and Static Equivalent of The Semarang University College Building,” *J. Civ. Eng. Build. Transp.*, vol. 7, no. 1, pp. 75–79, 2023.
- [14] J. Poudel, P. Khatiwada, and S. Adhikari, “Seismic Performance Evaluation of Low-Rise Reinforced Concrete Framed Buildings with Ready-to-Use Guidelines (RUD-NBC 205:2024) in Nepal,” *CivilEng*, vol. 6, no. 3, pp. 1–23, 2025, doi: 10.3390/civileng6030050.