

Evaluasi Kerapuhan Seismik Gedung Fakultas Teknik UNJANI Menggunakan Metode HAZUS

Raiyyan Rahmi Isda, Laode Azan Muzahab, Akmal Maulana, Desi Gumelarsari,

Isma Nurul Rohmah, Syachril Saputra Roswandi, dan Prima Sukma Yuana

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Kota Cimahi, Indonesia

raiyyan.rahmiisda@lecture.unjani.ac.id, laodeazanmuzahab@lecture.unjani.ac.id, akmmaulana940@gmail.com,

desigumelar586@gmail.com, ismanurulrohmah03@gmail.com, syahril50saputra@gmail.com,

prima.sukma@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Evaluasi kerapuhan seismik pada bangunan pendidikan menjadi penting karena Indonesia memiliki tingkat kegempaan yang tinggi. Evaluasi juga diperlukan untuk mendukung mitigasi risiko dan keberlanjutan fungsi bangunan pascagempa. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kerapuhan seismik Gedung Fakultas Teknik UNJANI sebagai bangunan pendidikan melalui integrasi analisis statik nonlinier *pushover* dan Metode HAZUS. Dengan bantuan perangkat lunak berbasis elemen hingga, bangunan dimodelkan tiga dimensi hingga memperoleh *output* berupa kurva kapasitas, *performance point*, dan perpindahan spektral. Kemudian dengan Metode HAZUS diperoleh tingkat kerusakan bangunan (*damage states*): *slight*, *moderate*, *extensive*, dan *complete*. Hasil analisis menunjukkan bahwa gedung termasuk tipe struktur rangka beton bertulang tingkat menengah (CIM) dengan level seismisitas tinggi. Kinerja struktur berada pada level *Immediate Occupancy* baik pada arah X maupun Y, yang menunjukkan bahwa struktur masih memiliki kapasitas yang baik setelah menerima beban gempa rencana. Probabilitas kerusakan untuk arah X adalah 0,0% *complete*, 10,0% *extensive*, 99,6% *moderate*, dan 100,0% *slight*, sedangkan untuk arah Y adalah 0,0% *complete*, 16,0% *extensive*, 99,9% *moderate*, dan 100,0% *slight*. Dengan demikian, kerusakan dominan berada pada kategori ringan (*slight*) hingga sedang (*moderate*). Penelitian selanjutnya disarankan mempertimbangkan analisis dinamik untuk memperkuat validasi hasil.

Kata kunci: kerapuhan seismik, Metode HAZUS, probabilitas kerusakan, analisis *pushover*, kurva kerapuhan.

Abstract

Seismic fragility assessment of educational buildings is important in Indonesia due to its high seismicity. This assessment is required to support risk mitigation and ensure the continuity of building function after earthquakes. This study aims to evaluate the seismic fragility of the Faculty of Engineering Building at UNJANI as an educational facility by integrating nonlinear static pushover analysis and the HAZUS Method. Using finite element-based software, the building was modeled three-dimensionally to obtain the capacity curve, performance point, and spectral displacement. The HAZUS method was applied to estimate the probability of damage states: slight, moderate, extensive, and complete. The results indicate that the building is classified as a mid-rise reinforced concrete moment-frame structure (CIM) with high seismicity level. Structural performance is at Immediate Occupancy in both the X and Y directions, indicating adequate capacity under the design seismic loads. Damage probabilities in the X direction are 0.0% complete, 10.0% extensive, 99.6% moderate, and 100.0% slight, while those in the Y direction are 0.0% complete, 16.0% extensive, 99.9% moderate, and 100.0% slight. Thus, the dominant damage is slight to moderate. Further research is recommended to consider dynamic analysis to strengthen the validation of the results.

Keywords: seismic fragility, HAZUS Method, damage probability, pushover analysis, fragility curve.

1. Pendahuluan

Secara geologis, Indonesia terletak di kawasan Cincin Api Pasifik atau *Ring of Fire*, dipengaruhi interaksi empat lempeng tektonik utama yang membentuk zona penunjaman, sesar aktif, serta gunung api sehingga menyebabkan Indonesia sangat rawan terhadap gempa bumi. Data pemantauan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) menunjukkan bahwa setiap tahun Indonesia mengalami rata-rata 6.298 kejadian gempa tektonik bermagnitudo lebih dari 3,0 (Kementerian Pekerjaan Umum, 2024). Kondisi ini menunjukkan bahwa bangunan gedung di berbagai wilayah Indonesia memiliki risiko mengalami kerusakan akibat gempa, sehingga evaluasi ketahanan struktur menjadi penting.

Info Makalah:

Dikirim : 05-04-26;

Revisi 1 : 05-15-26;

Diterima : 05-18-26.

Penulis Korespondensi:

Telp : -

e-mail : raiyyan.rahmiisda@lecture.unjani.ac.id

Bangunan pendidikan memerlukan perhatian khusus karena digunakan secara terus-menerus dan mewadahi banyak aktivitas akademik. Universitas Jenderal Achmad Yani (UNJANI) di Kota Cimahi, Jawa Barat, melalui proyek *New UNJANI*, melaksanakan revitalisasi seluruh gedungnya untuk meningkatkan kualitas sarana prasarana pendidikan serta mendukung transformasi menuju *Smart Campus*. Oleh karena itu, penilaian kinerja seismik bangunan pendidikan tidak cukup hanya sebagai verifikasi kekuatan desain

saja, tetapi juga perlu diarahkan pada evaluasi kerapuhan serta potensi kerusakan bangunan sebagai bagian dari mitigasi bencana (Muntafi dkk., 2018).

Sejalan dengan hal di atas, pendekatan *performance-based earthquake engineering* semakin banyak digunakan dalam menilai ketahanan bangunan terhadap gempa melalui kajian perilaku inelastik struktur. Salah satu metodenya adalah analisis statik nonlinier (*pushover*), yaitu dengan cara memberikan beban lateral statik secara bertahap hingga struktur menunjukkan respons nonlinier dan menghasilkan kurva kapasitas untuk mengidentifikasi perilaku global (Kuria & Kegyes-Brassai, 2024).

Namun, hasil analisis *pushover* sebaiknya dikembangkan lagi menjadi estimasi probabilitas kerusakan bangunan pada berbagai tingkat intensitas gempa dengan Metode HAZUS (Hasyim, 2025). Metode ini mengelompokkan kerusakan bangunan ke dalam ambang kerusakan (*damage states*) berupa kerusakan ringan (*slight*), sedang (*moderate*), berat (*extensive*), dan sangat berat (*complete*) (*Federal Emergency Management Agency*, 2024). Hasilnya berupa kurva kerapuhan yang dapat memberikan gambaran seberapa besar kerapuhan bangunan terhadap gempa, sehingga hal ini menjadi lebih informatif dalam memberikan penilaian risiko struktur bangunan.

Studi-studi terdahulu menunjukkan bahwa integrasi analisis statik nonlinier (*pushover*) dan kurva kerapuhan (*fragility analysis*) telah diterapkan pada berbagai macam bangunan. Bangunan pendidikan di Yogyakarta, Muntafi dkk. (2018) menggunakan *pushover*, ATC-40, HAZUS, dan FEMA-1999 untuk memperoleh *performance level*, *damage probability matrix*, dan estimasi kerugian ekonomi. Rifki & Teguh (2019) juga mengevaluasi kerapuhan seismik bangunan pendidikan Gedung Kuliah Twin Building UMY menggunakan analisis statik linier, analisis *pushover*, dan analisis kerapuhan seismik berbasis HAZUS.

Nurhidayatullah & Kurniati (2021) mengintegrasikan *probabilistic seismic hazard analysis*, *pushover analysis*, dan kurva kerapuhan (*fragility curve*) untuk memperkirakan potensi kerusakan bangunan beton bertulang bertingkat sedang. Disebutkan bahwa kurva kapasitas hasil dari *pushover analysis* digunakan untuk menentukan *median spectral displacement* sebagai dasar pembuatan *fragility curve*, sedangkan *plotting* antara *performance point* dengan *fragility curve* digunakan untuk memperoleh potensi kerusakan bangunan. Di tahun yang sama, Frans dkk. (2021) juga mengintegrasikan antara *pushover* dengan Metode HAZUS untuk menganalisis Gedung ABC yang berada di Kelurahan Jongaya, Kecamatan Tamalate, Sulawesi Selatan. Pada bangunan esensial, Sáenz & Santana (2023) mengembangkan *analytical fragility curves* untuk menilai kerapuhan gedung administratif dan menunjukkan bahwa *damage probability matrix* mampu memperkirakan level kerusakan pada berbagai tingkat *demand* gempa.

Di tahun berikutnya, Paudel dkk. (2024) memperluas cakupan kajian ke arah komparatif dengan membandingkan bangunan *regular* dan *vertically irregular*, hasilnya menunjukkan bahwa bangunan *vertically irregular* memiliki peningkatan kerapuhan dibandingkan bangunan reguler, terutama pada probabilitas *complete failure*. Analisis kerapuhan seismik pada gedung tak beraturan juga dilakukan oleh Hasyim (2025) yang menggabungkan analisis *pushover* dan Metode HAZUS. Hasil penelitiannya menunjukkan kurva kerapuhan dapat memberikan informasi probabilitas kerusakan pada masing-masing *damage states* dan dapat digunakan sebagai dasar evaluasi struktur serta mitigasi risiko gempa.

Sementara itu, Narwastu dkk. (2024) mengembangkan metode *static adaptive pushover* pada Gedung Dinas Pertanian Kabupaten Pacitan. Hasilnya menunjukkan pembaruan distribusi beban lateral berdasarkan kekakuan serta karakteristik modal struktur dapat memberikan keluaran analisis statis yang lebih mendekati perilaku struktur pada analisis dinamis inelastis, sekaligus mampu menggambarkan respons struktur secara lebih detail. Pada tipe struktur lain, Sumedi & Mulyandari (2025) menerapkan analisis *pushover* pada struktur rangka baja dan mengonversi kurva kapasitas menjadi spektrum kapasitas dengan formula dari ATC-40, kemudian dikembangkan menjadi kurva kerapuhan. Secara umum, studi-studi terdahulu menunjukkan bahwa pendekatan analisis *pushover*–HAZUS efektif digunakan untuk mengevaluasi kinerja seismik dan probabilitas kerusakan bangunan akibat gempa.

Namun, dari berbagai studi tersebut masih terdapat ruang kajian yang dapat dikembangkan lebih lanjut, khususnya terkait integrasi analisis *pushover* dan Metode HAZUS pada bangunan pendidikan beton bertulang bertingkat menengah yang relatif baru dibangun. Beberapa studi komparatif mengenai bangunan reguler dan tidak beraturan juga masih lebih banyak dikembangkan pada konteks bangunan residensial atau *non-engineered buildings*, sehingga bangunan pendidikan modern masih memerlukan basis evidensi tersendiri.

Selain itu, beberapa studi terdahulu cenderung berfokus pada hasil akhir berupa level kinerja struktur atau probabilitas kerusakan, sementara hubungan antara kurva kapasitas hasil *pushover*, *performance point*, *spectral displacement*, kurva kerapuhan, dan probabilitas kerusakan pada setiap *damage state* belum dijelaskan secara runtut. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk mengevaluasi kerapuhan seismik gedung melalui integrasi analisis *pushover* dan Metode HAZUS secara sistematis.

Berdasarkan latar belakang dan *research gap* yang telah diuraikan, permasalahan dalam penelitian ini difokuskan pada bagaimana integrasi analisis *pushover* dan Metode HAZUS dapat digunakan untuk mengevaluasi tingkat kerapuhan seismik serta probabilitas kerusakan pada setiap *damage state* bangunan pendidikan beton bertulang bertingkat menengah yang relatif baru dibangun. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas gedung melalui analisis *nonlinear static pushover*, menentukan *performance point* pada domain spektral, serta menyusun kurva kerapuhan bangunan menggunakan Metode HAZUS. Dengan demikian, penelitian ini mengintegrasikan

evaluasi kapasitas inelastik struktur dengan estimasi probabilistik kerusakan untuk menghasilkan penilaian kerapuhan seismik bangunan pendidikan beton bertulang yang lebih sistematis.

Objek yang dijadikan penelitian adalah Gedung Fakultas Teknik yang dibangun sekitar tahun 2024 sebagai bagian dari proyek revitalisasi *New Universitas Jenderal Achmad Yani (UNJANI)*, berlokasi di Kota Cimahi, Jawa Barat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pemilihan objek ini didasarkan pada karakteristik bangunan yang representatif sebagai gedung pendidikan bertingkat menengah dengan sistem beton bertulang, sehingga relevan untuk dikaji dalam konteks evaluasi kerapuhan seismik berbasis *pushover* dan HAZUS.



(a) Tampak Perspektif Depan-Samping
Sumber: Dokumentasi Fakultas Teknik, 2025



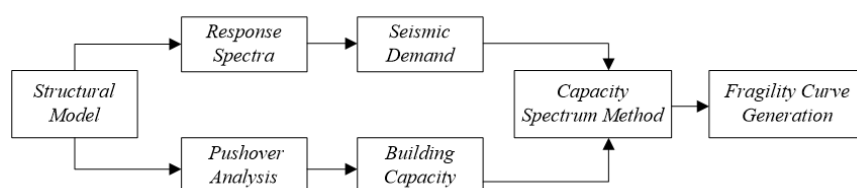
(b) Tampak Depan-Samping
Sumber: Dokumentasi Penulis, Mei 2026

Gambar 1. Gedung Fakultas Teknik *New UNJANI*

2. Metode

2.1 Desain Penelitian

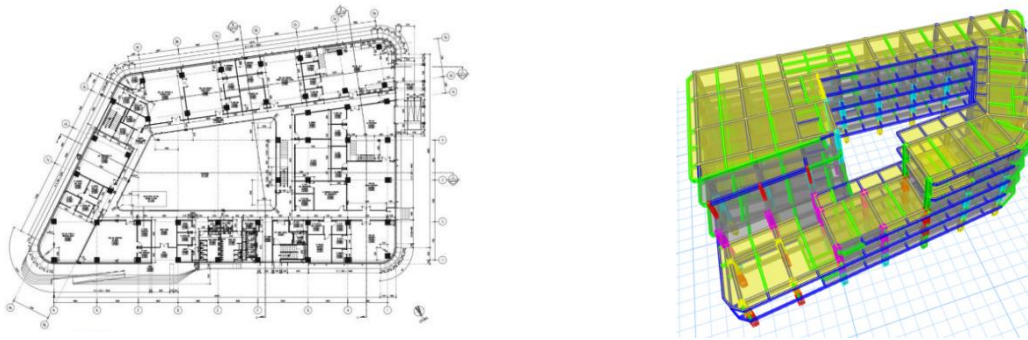
Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif berbasis simulasi numerik untuk mengevaluasi kerapuhan seismik bangunan beton bertulang melalui analisis statik nonlinier (*pushover analysis*) dan Metode HAZUS. Analisis *pushover* digunakan untuk memperoleh kurva kapasitas struktur, mengidentifikasi titik kinerja (*performance point*), serta mengevaluasi respons inelastik bangunan akibat pembebanan lateral bertahap. Selanjutnya, parameter respons pada *performance point*, berupa percepatan spektral dan perpindahan spektral, diolah menggunakan Metode HAZUS untuk menghasilkan kurva kerapuhan seismik. Kurva tersebut merepresentasikan probabilitas bangunan mencapai berbagai tingkat kerusakan, yaitu ringan (*slight*), sedang (*moderate*), berat (*extensive*), dan sangat berat (*complete*). Dengan demikian, metode ini tidak hanya menggambarkan kapasitas global struktur, tetapi juga memberikan estimasi probabilistik terhadap potensi kerusakan bangunan akibat gempa. Secara garis besar, alur desain penelitian dapat dilihat pada Gambar 2. Sedangkan langkah-langkah spesifik penetapan tingkat kerusakan struktur bangunan dibahas pada subbab 2.5.



Gambar 2. Alur Desain Penelitian
Sumber: Maningding & Baldo (2024)

2.2 Data Umum dan Pemodelan

Gedung Fakultas Teknik UNJANI yang dimodelkan secara tiga dimensi menggunakan perangkat lunak (Gambar 3b) merupakan gedung pendidikan yang masuk kategori gedung beraturan dan terdiri atas lima lantai struktur beton bertulang. Denah gedung seperti yang terlihat dalam Gambar 3a diperoleh dari *shop drawing* PT. Wijaya Karya yang telah berstatus *approved* pada tanggal 8 Agustus 2024 (PT. Wijaya Karya, 2024). Tinggi lantai pertama 4,5 m, sedangkan tinggi lantai dua sampai lantai lima masing-masing 4,1 m. Atap gedung berupa dak beton. Elemen struktur berupa pelat lantai, balok, dan kolom, hingga fondasi *bored pile* menggunakan mutu beton 30 MPa. Sedangkan untuk mutu tulangan bajanya adalah 420 MPa untuk tulangan utama dan 280 MPa untuk tulangan sengkang.



(a) Denah Eksisting
Sumber: Diadaptasi dari *shop drawing* PT.
Wijaya Karya (*approved* 2024)

(b) Pemodelan Gedung

Gambar 3. Gedung Fakultas Teknik UNJANI

2.3 Acuan Standar Peraturan

Adapun peraturan yang digunakan sebagai acuan adalah sebagai berikut:

1. SNI 2052:2017 – Baja Tulangan untuk Beton (Badan Standardisasi Nasional, 2017).
2. SNI 1726:2019 – Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (Badan Standardisasi Nasional, 2019a).
3. SNI 1727:2020 – Tata Cara Perencanaan Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (Badan Standardisasi Nasional, 2020).
4. SNI 2847:2019 – Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (Badan Standardisasi Nasional, 2019b).
5. ASCE 41-17 – *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings* (American Society of Civil Engineers & Structural Engineering Institute, 2017).
6. ATC 40 – *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings* (California Seismic Safety Commission, 1996).
7. FEMA 440 – *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures* (Federal Emergency Management Agency, 2005).
8. SNI 9273:2025 – Evaluasi dan Rehabilitasi Seismik Bangunan (Badan Standardisasi Nasional, 2025).
9. HAZUS 5.1 – *HAZUS Earthquake Model User Guidance* (Federal Emergency Management Agency, 2022).
10. HAZUS 6.1 – *HAZUS Earthquake Model Technical Manual* (Federal Emergency Management Agency, 2024).

2.4 Analisis Statik Nonlinier (*Pushover*)

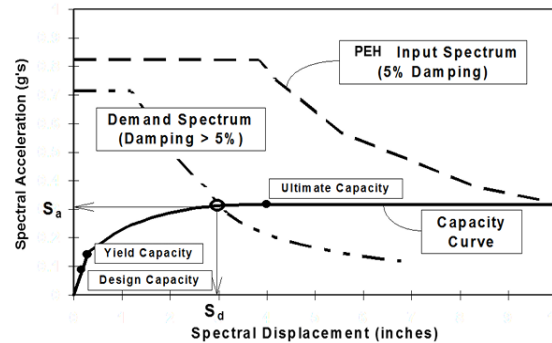
Analisis statik nonlinier (*pushover*) dilakukan untuk menilai kapasitas seismik bangunan dengan menerapkan beban lateral secara bertahap sampai struktur menunjukkan kondisi inelastik yang cukup besar. Gaya dorong lateral diterapkan untuk mensimulasikan efek gempa. Seiring bertambahnya beban lateral, struktur mengalami pelelehan bertahap pada elemen-elemen tertentu yang ditandai dengan terbentuknya sendi plastis. Kuria & Kegyes-Brassai (2024) menyebutkan bahwa analisis statik nonlinier (*pushover*) dapat menjadi alternatif yang lebih sederhana untuk memprediksi kekuatan lateral dan deformasi inelastik.

Hasil utama dari analisis *pushover* ini berupa kurva kapasitas yang merepresentasikan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*, V) dan perpindahan (*displacement*, D) (Hasyim, 2025). Kurva ini menggambarkan kapasitas global struktur terhadap beban gempa, digunakan untuk mengidentifikasi titik perpindahan leleh (*yield displacement*, d_y) dan perpindahan ultimit (*ultimate displacement*, d_u) di mana titik ini menjadi nilai acuan untuk menghitung *median spectral displacement* dalam Metode HAZUS nanti. Menurut Kumar & Ghosh (2025), nilai d_y dan d_u dapat diperoleh dari proses bilinearisasi kurva *pushover* berdasarkan ATC-40 dengan metode luas sama (*equal area method*).

Kurva tersebut kemudian ditransformasikan ke dalam bentuk spektrum kapasitas (*capacity spectrum*) dengan format ADRS, yaitu *Acceleration-Displacement Response Spectrum*, di mana kurva hubungan *base shear* (V) – *displacement* (D) diubah menjadi kurva hubungan antara percepatan spektral (*spectral acceleration*, S_a) dengan perpindahan spektral (*spectral displacement*, S_d). Selanjutnya *capacity spectrum* disatukan dengan kurva *demand spectrum* atau *response spectrum* sehingga perpotongan dari kedua kurva tersebut diperoleh titik kinerja (*performance point*) (Ayuddin & Bindhu, 2023; Poudel dkk., 2025; Maningding & Baldo, 2024). Pada titik ini diperoleh nilai S_a

dan S_d seperti terlihat pada Gambar 4. Transformasi kurva ini diperlukan karena evaluasi kerusakan dalam Metode HAZUS dilakukan berdasarkan parameter spektral, bukan langsung pada hubungan $V-D$.

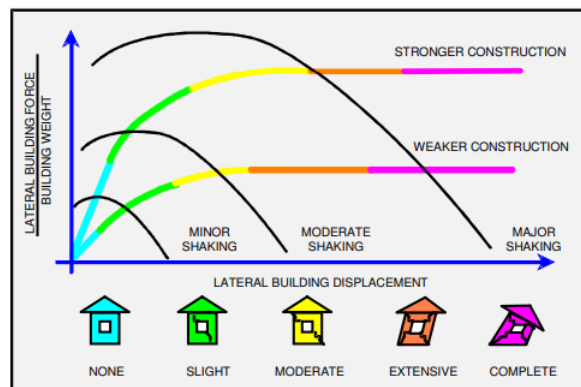
Nilai S_d pada *performance point* digunakan sebagai parameter respons bangunan dalam evaluasi kerapuhan seismik. Oleh karena itu, nilai S_d hasil analisis *pushover* dapat digunakan sebagai dasar pembentukan kurva kerapuhan karena kurva kapasitas dan *performance point* memberikan informasi respons struktur terhadap *demand* gempa, sedangkan Metode HAZUS digunakan untuk menghitung probabilitas kerusakan pada masing-masing *damage state* (Zuher dkk., 2023).



Gambar 4. Kurva Kapasitas Bangunan dan *Demand Spectrum*
Sumber: HAZUS 6.1 Gambar 5-2

2.5 Kurva Kerapuhan Seismik dengan Metode HAZUS

Kurva kerapuhan seismik disusun menggunakan pendekatan HAZUS. Metode ini digunakan untuk memperkirakan probabilitas bangunan mencapai atau melampaui tingkat kerusakan tertentu akibat pengaruh gempa. Dalam metode ini, tingkat kerusakan diklasifikasikan ke dalam lima kategori kerusakan (*damage states*), yaitu *none*, ringan (*slight*), sedang (*moderate*), berat (*extensive*), dan sangat berat (*complete*) (Gambar 5). *Damage states* tersebut digunakan untuk menggambarkan sifat dan tingkat kerusakan fisik komponen bangunan dari kondisi ringan sampai dengan kondisi sangat berat atau mendekati keruntuhan sehingga dapat menjadi dasar dalam estimasi konsekuensi keselamatan jiwa, kerugian ekonomi, serta dampak sosial.



Gambar 5. Hubungan Antara Kondisi Kerusakan Bangunan dengan Kurva Kapasitasnya
Sumber: Duan & Pappin (2008)

Berikut langkah-langkah penetapan tingkat kerusakan struktur bangunan:

- Menentukan tipe bangunan yang ditinjau (Tabel 1).
- Menetapkan ambang kerusakan (*damage states*) untuk kategori *slight*, *moderate*, *extensive*, dan *complete* berdasarkan material bangunan (Tabel 2).
- Menentukan level desain seismik (*seismic design level*) berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} (Tabel 3).
- Menentukan parameter kurva kerapuhan struktural berdasarkan level desain seismik (Tabel 4).
- Mengambil nilai titik perpindahan leleh (*yield displacement, d_y*) dan perpindahan ultimit (*ultimate displacement, d_u*) dari kurva hasil analisis *pushover*.
- Menentukan nilai *median spectral displacement* untuk masing-masing *damage states* dengan rumus dari Tabel 5.
- Membuat kurva kerapuhan (*fragility curve*) seismik bangunan. Terlebih dahulu menghitung nilai rata-rata dan standar deviasi dari *median spectral displacement* untuk tiap *damage state*.
- Menghitung probabilitas kerusakan bangunan untuk setiap *damage state*.

Sebelum masuk ke tahap penentuan kerusakan bangunan, HAZUS memberikan pedoman pengklasifikasian struktur bangunan yang ditinjau berdasarkan material bangunan yang digunakan, seperti kayu, baja, beton konvensional, beton pracetak, dinding bata bertulang, dan lainnya (*Federal Emergency Management Agency, 2022*). Untuk klasifikasi struktur bangunan dari material beton dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan untuk *damage states*, HAZUS tidak memberikan definisi eksplisit untuk setiap *damage state* tersebut, tetapi menyediakan deskripsi kerusakan berdasarkan tipe dan material bangunan (Tabel 2).

Tabel 1. Klasifikasi Struktur Bangunan Berdasarkan Material Beton

Tipe	Keterangan	Tinggi			
		Rentang		Tipikal	
		Penamaan	Tingkat	Tingkat	Satuan Feet
C1L	Concrete Moment Frame	Tingkat rendah	1 sd 3	2	20
C1M		Tingkat menengah	4 sd 7	5	50
C1H		Tingkat tinggi	≥ 8	12	120
C2L	Concrete Shear Walls	Tingkat rendah	1 sd 3	2	20
C2M		Tingkat menengah	4 sd 7	5	50
C2H		Tingkat tinggi	≥ 8	12	120
C3L	Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	Tingkat rendah	1 sd 3	2	20
C3M		Tingkat menengah	4 sd 7	5	50
C3H		Tingkat tinggi	≥ 8	12	120

Sumber: HAZUS 5.1 Tabel 5-7 dan Tabel 5-2

Tabel 2. Tingkat Kerusakan untuk Bangunan Rangka Penahan Momen dari Beton Bertulang (C1)

Tingkat Kerusakan	Deskripsi
<i>Slight</i>	Kerusakan ringan. Terjadi retak rambut lentur atau geser pada beberapa balok dan kolom, terutama di dekat sambungan (<i>joint</i>) atau di dalam sambungan. Kerusakan masih awal dan belum menunjukkan degradasi besar pada elemen utama.
<i>Moderate</i>	Kerusakan sedang. Sebagian besar balok dan kolom menunjukkan retakan rambut/halus. Pada rangka yang daktail, beberapa elemen struktur telah mencapai kapasitas leleh yang ditandai oleh retak lentur yang lebih besar dan beberapa pengelupasan (<i>spalling</i>) beton. Sedangkan pada rangka non-daktail dapat muncul retak geser yang lebih besar dan <i>spalling</i> yang lebih besar.
<i>Extensive</i>	Kerusakan berat. Beberapa elemen rangka telah mencapai kapasitas maksimumnya. Pada rangka daktail, ditunjukkan dengan retakan lentur yang besar, beton terkelupas (<i>spalled concrete</i>), dan tulangan utama yang mulai menekuk. Pada rangka non-daktail, kerusakan dapat berupa kegagalan geser, kegagalan lekatan pada <i>splice</i> tulangan, sengkang yang putus, atau tulangan utama kolom yang tekuk, yang dapat mengarah pada runtuh parsial.
<i>Complete</i>	Kerusakan sangat berat. Struktur telah runtuh atau dalam bahaya keruntuhan yang akan segera terjadi karena kegagalan getas elemen rangka non-daktail atau hilangnya stabilitas rangka. Diperkirakan sekitar 13% (bangunan rendah), 10% (bangunan menengah) atau 5% (bangunan tinggi) dari total luas bangunan C1.

Sumber: HAZUS 6.1 Sub Bab 5.3.3.1 Halaman 5-16 (FEMA, 2024)

Berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} yang telah diperoleh, level seismisitas gedung dapat ditentukan sesuai dengan (Tabel 3). Untuk parameter-parameter awal yang akan digunakan dalam analisis pada kurva kerapuhan seismik terdapat dalam Tabel 4.

Tabel 3. Definisi Level Seismisitas

Level Seismisitas	S_{DS}	S_{D1}
Sangat Rendah	$< 0,167 \text{ g}$	$< 0,067 \text{ g}$
Rendah	$\geq 0,167 \text{ g}$	$\geq 0,067 \text{ g}$
	$< 0,33 \text{ g}$	$< 0,133 \text{ g}$
Sedang	$\geq 0,33 \text{ g}$	$\geq 0,133 \text{ g}$
	$< 0,50 \text{ g}$	$< 0,20 \text{ g}$
Tinggi	$\geq 0,50 \text{ g}$	$\geq 0,20 \text{ g}$

Sumber: SNI 9273-2025 Tabel 2-4

Tabel 4. Parameter Kurva Kerapuhan Struktural - Tingkat Desain Seismik Tinggi

Building Properties			Spectral Displacement (inches)							
Type	Height (inches)		Slight		Moderate		Extensive		Complete	
	Roof	Modal	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta
C1M	600	450	1,5	0,68	3	0,67	9	0,68	24	0,81

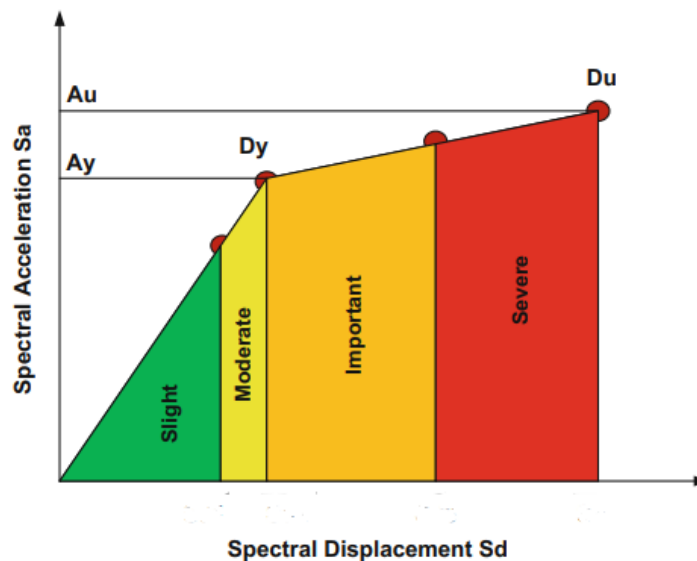
Sumber: HAZUS 6.1 Tabel 5.19

Median spectral displacement untuk tiap *damage state* ditetapkan dengan mengacu pada formulasi yang umum digunakan pada studi-studi berbasis HAZUS (Tabel 5), di mana d_y adalah perpindahan di titik leleh (*displacement yield*) dan d_u adalah perpindahan di titik ultimit (*displacement ultimate*), seperti pada Gambar 6. Sebagaimana dijelaskan Baylon dkk. (2022), dalam pendekatan *fragility* yang berbasis *pushover*, nilai d_y dan d_u hasil dari kurva *pushover* dapat digunakan untuk menetapkan ambang kerusakan (*damage states*), kemudian *performance point* dievaluasi terhadap *damage states* tersebut untuk memperoleh kondisi kerusakan bangunan. Menurut Kohns dkk. (2022), dalam membuat kurva kerapuhan, penentuan *damage states* menjadi langkah penting karena nilai ambang tersebut menjadi dasar untuk menghitung probabilitas terlampaunya suatu tingkat kerusakan terhadap parameter intensitas gempa.

Tabel 5. Nilai Median Spectral Displacement Pada Setiap Damage State

Median Spectral Displacement (S_d , inchi)			
Slight	Moderate	Extensive	Complete
$0,7 d_y$	d_y	$d_y + 0,25 (d_u - d_y)$	d_u

Sumber: Sáenz & Santana (2023); Remki & Kehila (2018)



Gambar 6. Nilai Median Spectral Displacement

Sumber: Remki & Kehila (2018)

Setelah median spectral displacement diperoleh, langkah berikutnya adalah membuat kurva kerapuhan (*fragility curve*). *Fragility curve* dinyatakan sebagai fungsi distribusi lognormal kumulatif yang menghubungkan antara spectral displacement dengan probabilitas bangunan yang mencapai atau melampaui *damage state* tertentu. Rumus yang digunakan adalah seperti Persamaan 1 (*Federal Emergency Management Agency*, 2024, Persamaan 5-2).

$$P[d_s/S_d] = \Phi \left[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left(\frac{S_d}{S_{d,ds}} \right) \right] \quad (1)$$

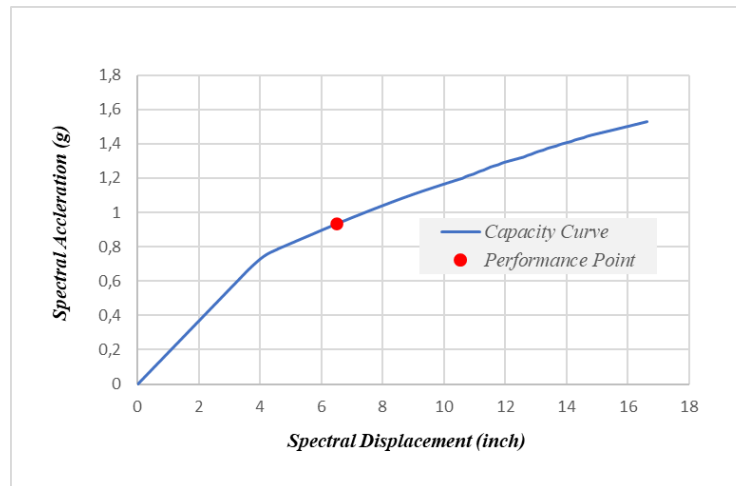
Nilai β_{ds} diperoleh dari Tabel 4. Nilai S_d diambil dari hasil analisis *pushover*, yaitu kurva kapasitas yang menunjukkan hubungan antara percepatan spektral (*spectral acceleration*, S_a) dan perpindahan spektral (*spectral displacement*, S_d), lalu dibandingkan dengan nilai median spectral displacement untuk masing-masing *damage states* $S_{d,ds}$. Kurva kerapuhan yang dihasilkan kemudian digunakan untuk menilai kecenderungan dominan tingkat kerusakan bangunan, sekaligus menjadi dasar dalam menginterpretasikan tingkat kerapuhan seismik struktur yang diteliti.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Analisis *Pushover*

Tahap awal analisis adalah mengetahui klasifikasi situs tanah gedung dengan cara menggunakan data hasil uji lapangan berupa nilai *Standard Penetration Test* (NSPT). Terdapat tiga titik data NSPT yang dianalisis, ketiganya menghasilkan klasifikasi situs tanah SD. Gedung terletak pada lintang -6,886719983915006 dan bujur 107,52817153930664. Berdasarkan Aplikasi Respon Spektra Indonesia (Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN) & PPMB-ITB, n.d.) diperoleh nilai percepatan spektral periode pendek 0,2 detik (S_s) sebesar 1,2659 g dan percepatan spektral pada periode 1 detik (S_1) sebesar 0,5372 g. Kemudian dari SNI 1726-2019, diperoleh nilai faktor amplifikasi untuk periode pendek 0,2 detik (F_a) sebesar 1,0 dan untuk periode 1 detik (F_v) sebesar 1,7372. Sehingga diperoleh nilai $S_{DS} = 0,844$ g dan $S_{D1} = 0,622$ g.

Selanjutnya dari kurva spektrum kapasitas dan kurva *demand spectrum* hasil analisis *pushover* seperti pada Gambar 4, terdapat hubungan antara *Spectral Acceleration* (S_a) dengan *Spectral Displacement* (S_d) serta dapat diperoleh nilai *performance point*-nya, baik untuk arah X (Gambar 7) maupun arah Y seperti pada Tabel 6. Selain itu dapat diperoleh juga nilai *yield displacement* (d_y) dan *ultimate displacement* (d_u) seperti yang tertera pada Tabel 7. Level kinerja hasil analisis *pushover* adalah *Immediate Occupancy* (IO), yang menunjukkan bahwa bangunan hanya mengalami kerusakan ringan dan masih aman untuk digunakan.



Gambar 7. Kurva Kapasitas dan *Performance Point* Arah X

Tabel 6. Nilai *Performance Point* dari Hasil Analisis *Pushover*

Arah <i>Pushover</i>	Base Shear V (kN)	Displacement D (inchi)	Spectral Acceleration S_a (g)	Spectral Displacement S_d (inchi)
X	69.435,45	9,02	0,9336	6,4941
Y	68.051,66	8,99	0,9328	6,6265

Tabel 7. Nilai *Yield Displacement* (d_y) dan *Ultimate Displacement* (d_u) dari Hasil Analisis *Pushover*

Arah	Displacement (inchi)	
	d_y	d_u
X	4,0673	16,6310
Y	3,7610	16,2564

3.2 Membuat Kurva Kerapuhan (*Fragility Curve*)

Berdasarkan Tabel 1, bangunan Gedung Fakultas Teknik UNJANI mempunyai 5 lantai sehingga dikategorikan tipe C1M. Level seismisitas gedung dapat ditentukan dari nilai S_{DS} dan S_{D1} , maka dari Tabel 3 diperoleh kategori level seismisitas gedung termasuk tinggi. Oleh karena itu parameter kurva kerapuhan struktural yang dipakai adalah Level Desain Seismik Tinggi seperti pada Tabel 4. Maka, berdasarkan Tabel 5 dan Tabel 7 diperoleh Tabel 8.

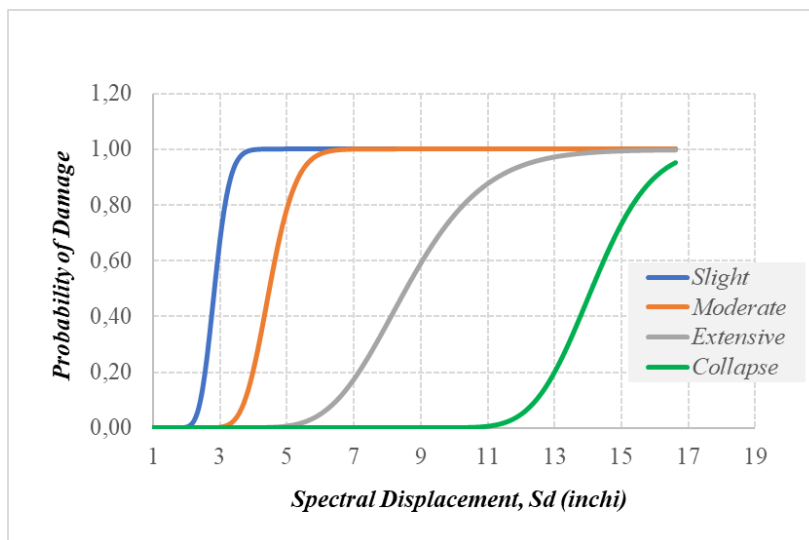
Tabel 8. Nilai *Median Spectral Displacement* untuk Masing-masing *Damage States*

Arah	Median Spectral Displacement ($\bar{S}_{d,ds}$, inchi)			
	<i>Slight</i>	<i>Moderate</i>	<i>Extensive</i>	<i>Complete</i>
X	2,8471	4,0673	7,2082	16,6310
Y	2,6327	3,7610	6,8848	16,2564

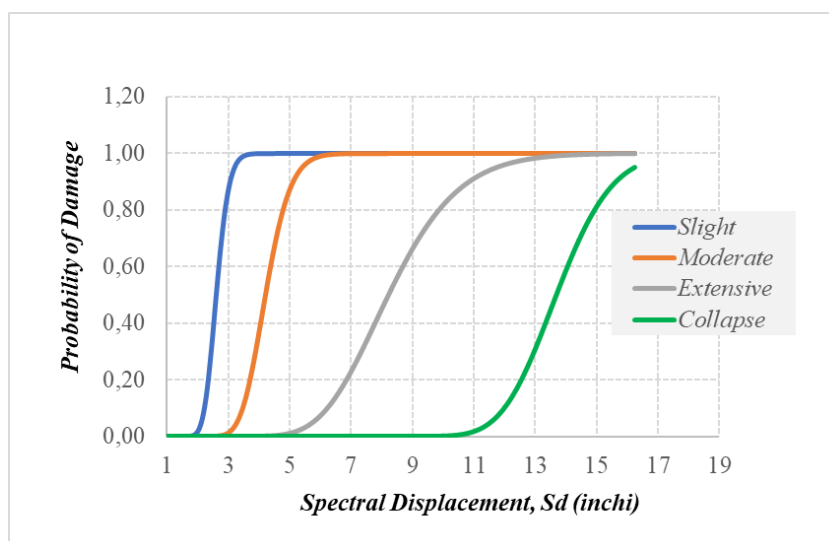
Kemudian berdasarkan Persamaan 1, nilai β_{ds} diperoleh dari Tabel 4, nilai S_d diambil dari nilai *performance point* (Tabel 6), lalu nilai $\bar{S}_{d,ds}$ diambil dari Tabel 8. Untuk menghasilkan fungsi distribusi kumulatif normal standar (Φ) pada masing-masing *damage state*, maka terlebih dahulu dihitung nilai rata-rata dan standar deviasi untuk setiap *damage state* (Tabel 9). Nilai rata-rata dari rentang fungsi Φ untuk setiap *damage state* berpatokan pada nilai $\bar{S}_{d,ds}$. Prosedur ini dilakukan juga terhadap arah gempa Y. Hasil akhir berupa kurva probabilitas kerapuhan seismik bangunan yang diperoleh dari fungsi distribusi kumulatif normal standar Φ (Gambar 8 dan Gambar 9).

Tabel 9. Nilai Rata-rata dan Standar Deviasi dari *Median Spectral Displacement* untuk Setiap *Damage State*

Arah	Parameter	Damage States				Sumber
		<i>Slight</i>	<i>Moderate</i>	<i>Extensive</i>	<i>Complete</i>	
	β_{ds}	0,68	0,67	0,68	0,81	Tabel 4
X	$\bar{S}_{d,ds}$ (inchi)	2,8471	4,0673	7,2082	16,6310	Tabel 8
	Rata-rata	-0,0037	0,1454	0,2551	-0,2013	
	Standar Deviasi	0,1830	0,2075	0,3161	0,1208	
Y	$\bar{S}_{d,ds}$ (inchi)	2,6327	3,7610	6,8848	16,2564	Tabel 8
	Rata-rata	-0,0190	0,1668	0,2609	-0,2116	
	Standar Deviasi	0,1842	0,2262	0,3189	0,1276	



Gambar 8. Kurva Kerapuhan (*Fragility Curve*) Gedung Arah X



Gambar 9. Kurva Kerapuhan (*Fragility Curve*) Gedung Arah Y

3.3 Probabilitas Kerusakan

Sebelum menghitung probabilitas kerusakan, diperlukan data-data seperti **Tabel 10**. Untuk nilai $\bar{S}_{d,ds}$ diambil dari nilai S_d kurva kapasitas hasil analisis *pushover* (hubungan $S_a - S_d$) yang nilainya mendekati nilai $\bar{S}_{d,ds}$ pada **Tabel 8**.

Kemudian data β_{ds} , S_d , dan $\bar{S}_{d,ds}$ pada **Tabel 10** dimasukkan ke **Persamaan 1**, diperoleh nilai fungsi distribusi kumulatif normal standar (Φ) seperti yang tertera dalam **Tabel 10**. Nilai fungsi (Φ) yang diperoleh diinterpolasikan sehingga diperoleh nilai probabilitas kerusakan seperti **Tabel 11** dan **Gambar 10**.

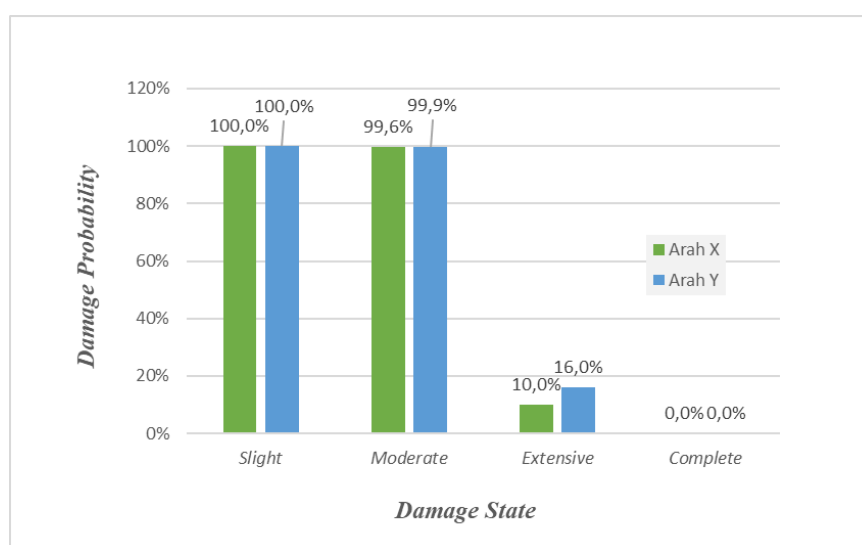
Tabel 10. Parameter Perhitungan Probabilitas Kerusakan

Arah	Parameter	Damage States				Sumber
		Slight	Moderate	Extensive	Complete	
	β_{ds}	0,68	0,67	0,68	0,81	Tabel 9
X	S_d (inchi)	6,49	6,49	6,49	6,49	Tabel 6
	$\bar{S}_{d,ds}$ (inchi)	2,8614	4,0673	7,1950	16,6310	
	Fungsi (Φ)	1,2053	0,6984	-0,1507	-1,1610	Persamaan 1
Y	S_d (inchi)	6,63	6,63	6,63	6,63	Tabel 6
	$\bar{S}_{d,ds}$ (inchi)	2,6187	3,7610	6,8862	16,2564	
	Fungsi (Φ)	1,3653	0,8454	-0,0565	-1,1079	Persamaan 1

Tabel 11. Probabilitas Kerusakan Gedung

Arah	Probabilitas	Damage States			
	P	Slight	Moderate	Extensive	Complete
X	Hasil interpolasi	1,00	0,9961	0,0996	0,00
	(%)	100%	99,6%	10,0%	0,0%
Y	Hasil interpolasi	1,00	0,9986	0,1598	0,00
	(%)	100%	99,9%	16,0%	0,0%

Jika dilihat dari Tabel 8 maupun Tabel 9, nilai *median spectral displacement* ($\bar{S}_{d,ds}$) arah Y untuk semua *damage states* relatif lebih kecil dibandingkan nilai arah X. Ini menunjukkan bahwa arah Y sedikit lebih rentan dibandingkan arah X, sebagaimana terkonfirmasi probabilitas kerusakan bangunan pada Gambar 10.



Gambar 10. Probabilitas Kerusakan Bangunan Arah X dan Y

Hasil analisis menunjukkan bahwa arah X memiliki probabilitas kerusakan ringan (*slight*) sebesar 100%, kerusakan sedang (*moderate*) sebesar 99,6%, kerusakan berat (*extensive*) sebesar 10,0%, dan kerusakan sangat berat (*complete*) sebesar 0,0%. Sementara itu, arah Y memiliki probabilitas *slight* sebesar 100%, *moderate* sebesar 99,9%, *extensive* sebesar 16,0%, dan *complete* sebesar 0,0%. Perbandingan kedua arah menunjukkan bahwa arah Y lebih kritis karena memiliki probabilitas *extensive* yang lebih tinggi dibandingkan arah X. Kondisi ini sejalan dengan nilai S_d pada *performance point* arah Y sebesar 6,63 inchi yang sedikit lebih besar dibandingkan arah X sebesar 6,49 inchi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6.

Dengan demikian, pada kondisi gempa yang dianalisis, bangunan memiliki probabilitas yang sangat tinggi untuk mencapai tingkat kerusakan ringan dan sedang seperti tertera pada Tabel 2. Selain itu, probabilitas kerusakan sangat berat (*complete*) sebesar 0,0% pada kedua arah menunjukkan bahwa tidak terindikasi adanya potensi keruntuhan. Kondisi ini sejalan dengan hasil analisis pushover yang menunjukkan bahwa kinerja struktur pada arah X maupun arah Y berada pada level *Immediate Occupancy* (IO), di mana struktur masih dapat mempertahankan fungsi struktural utamanya setelah gempa, karena kerusakan yang terjadi umumnya bersifat ringan dan tidak menyebabkan kehilangan stabilitas global bangunan.

Kesimpulan

Penelitian ini mengevaluasi kerapuhan seismik Gedung Fakultas Teknik yang dibangun sekitar tahun 2024 sebagai bagian dari proyek revitalisasi *New UNJANI* melalui integrasi analisis statik nonlinier *pushover* dan Metode HAZUS dengan tahapan: analisis statik nonlinier *pushover* untuk memperoleh kurva kapasitas, penentuan *performance point* pada domain spektral, serta penyusunan kurva kerapuhan menggunakan Metode HAZUS. Gedung terklasifikasi sebagai tipe C1M dengan level seismisitas tinggi ($S_{DS} = 0,844$ g dan $S_{D1} = 0,622$ g), dan pemodelan tiga dimensi dilakukan pada gedung pendidikan lima lantai berbahan beton bertulang dengan mutu beton 30 MPa dan mutu tulangan 420 MPa.

Hasil analisis *pushover* menunjukkan bahwa kinerja struktur pada kedua arah berada pada level *Immediate Occupancy*, dengan nilai *spectral displacement* pada *performance point* sebesar 6,49 inchi (arah X) dan 6,63 inchi (arah Y). Kurva kerapuhan yang dihasilkan melalui Metode HAZUS menunjukkan bahwa probabilitas kerusakan dominan berada pada kategori *slight* (100%) dan *moderate* (99,6 – 99,9%), sedangkan probabilitas *extensive* relatif rendah (10,0% arah X; 16,0% arah Y), dan probabilitas *complete* bernilai 0,0% pada kedua arah. Hal ini mengonfirmasi bahwa tidak terdapat indikasi potensi keruntuhan global pada kondisi gempa rencana. Namun arah Y sedikit lebih rentan dibandingkan arah X, sebagaimana tercermin dari nilai S_a *performance point* dan probabilitas *extensive* yang lebih tinggi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian mengindikasikan bahwa Gedung Fakultas Teknik memiliki kinerja seismik yang baik, tidak menunjukkan potensi keruntuhan global pada kondisi gempa rencana, sehingga bangunan masih layak difungsikan pascagempa dengan pemantauan berkala terhadap elemen struktur yang berpotensi mengalami kerusakan ringan hingga sedang. Pendekatan integrasi *pushover*–HAZUS dapat memberikan estimasi probabilistik yang terstruktur dan informatif sebagai dasar evaluasi kerapuhan seismik bangunan pendidikan beton bertulang bertingkat menengah.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan mempertimbangkan analisis dinamik nonlinier untuk memperkuat validasi hasil. Hasyim (2025) menyebutkan beberapa studi kerapuhan seismik menggunakan analisis riwayat waktu nonlinier yang dikombinasikan dengan pembentukan kurva *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) sebagai dasar pengukuran probabilitas kerusakan bangunan. Selain itu dapat juga mempertimbangkan pengaruh degradasi material, umur bangunan, atau korosi tulangan terhadap kurva kerapuhan (Diamantopoulos dkk., 2024), atau mempertimbangkan pengaruh interaksi tanah-struktur, karena studi berbasis HAZUS menunjukkan bahwa pemodelan *Soil-Structure Interaction* (SSI) dapat memengaruhi nilai *spectral displacement* pada *performance point* dan probabilitas kerusakan pada setiap tingkat kerusakan struktur (Janous dkk., 2024).

Daftar Notasi

D	= Perpindahan (<i>displacement</i>)
d_u	= Perpindahan ultimit (<i>ultimate displacement</i>)
d_y	= Perpindahan leleh (<i>yield displacement</i>)
F_a	= Faktor amplifikasi getaran gempa untuk periode pendek 0,2 detik
F_v	= Faktor amplifikasi getaran gempa untuk periode 1 detik
$P[d_s/S_a]$	= Probabilitas bangunan mencapai atau melampaui <i>damage state</i> tertentu
S_a	= Percepatan spektral (<i>spectral acceleration</i>)
S_d	= Perpindahan spektral (<i>spectral displacement</i>)
$\bar{S}_{d,ds}$	= Nilai median perpindahan spektral untuk ambang batas (<i>damage state</i>) yang ditinjau, di mana bangunan mencapai ambang batas tertentu dari tingkat kerusakan d_s
S_{DS}	= Parameter percepatan respons spektral desain pada periode pendek 0,2 detik
S_{D1}	= Parameter percepatan respons spektral desain pada periode pendek 1 detik
S_s	= Nilai percepatan spektral pada periode pendek 0,2 detik
S_1	= Nilai percepatan spektral pada periode 1 detik
V	= Gaya geser dasar (<i>base shear</i>)
Φ	= Fungsi distribusi kumulatif normal standar
β_{ds}	= Deviasi standar dari logaritma natural perpindahan spektral untuk tingkat kerusakan d_s

Daftar Pustaka

- American Society of Civil Engineers, & Structural Engineering Institute. (2017). *ASCE/SEI 41-17 Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. <https://doi.org/10.1061/9780784416112.in>
- Ayuddin, & Bindhu, K. R. (2023). Application of Capacity Spectrum Method (CSM) for Non-Symmetrical Reinforced Concrete High-Rise Buildings As A Tool for Seismic Design. *Sinergi (Indonesia)*, 27(3), 405–414. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2023.3.011>
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 2052-2017 Baja Tulangan Beton*. www.bsn.go.id

- Badan Standardisasi Nasional. (2019a). *SNI 1726-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung & Non Gedung*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019b). *SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727-2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2025). *SNI 9273-2025 Evaluasi dan Rehabilitasi Seismik Bangunan*.
- Baylon, M. B., Sevilla, M. P. E., Cutora, M. D., Villa, R. S. M., Reynes, P. P. M., & Montemayor, J. V. M. (2022). Development of Fragility Curves for Seismic Vulnerability Assessment: The Case of Philippine General Hospital Spine Building. *International Research Journal of Science, Technology, Education, and Management*, 2(4), 1–11. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7559408>
- California Seismic Safety Commission. (1996). ATC 40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. In *IEE Colloquium (Digest)* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1049/ic:19990660>
- Diamantopoulos, S., Achmet, Z., Stefanidou, S., Markogiannaki, O., & Fragiadakis, M. (2024). Seismic Fragility Curves of RC Buildings Subjected to Aging. *GeoHazards*, 5(1), 192–208. <https://doi.org/10.3390/geohazards5010010>
- Duan, X., & Pappin, J. W. (2008). *A Procedure For Establishing Fragility Functions For Seismic Loss Estimate of Existing Buildings Based on Nonlinear Pushover Analysis*.
- Federal Emergency Management Agency. (2005). *FEMA 440 Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*.
- Federal Emergency Management Agency. (2022). Hazus Earthquake Model User Guidance (HAZUS 5.1). In *Federal Emergency Management Agency* (Nomor April).
- Federal Emergency Management Agency. (2024). *HAZUS Earthquake Model Technical Manual (HAZUS 6.1)* (Nomor July).
- Frans, R., Kalangi, H. T., & Goretti, H. A. (2021). Analisis Kerapuhan Seismik Struktur Beton Bertulang. *JUTEKS : Jurnal Teknik Sipil*, 6(1), 17. <https://doi.org/10.32511/juteks.v6i1.719>
- Hasyim, W. (2025). Analisis Kerapuhan Seismik Struktur Gedung Tak Beraturan Dengan Analisis Pushover. *Jurnal "MITSU" Media Informasi Teknik Sipil UNIJA*, 13(1), 119–130. <https://doi.org/10.24929/ft.v13i1.3741>
- Janous, S. El, Abid, M. A., Afras, A., & Ghoulbzouri, A. El. (2024). Soil-Structure Interaction Influence on the Seismic Performance of Buildings. *Civil Engineering and Architecture*, 12(2), 798–813. <https://doi.org/10.13189/cea.2024.120210>
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2024). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2024*.
- Kohns, J., Stempniewski, L., & Stark, A. (2022). Fragility Functions for Reinforced Concrete Structures Based on Multiscale Approach for Earthquake Damage Criteria. *Buildings*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/buildings12081253>
- Kumar, A., & Ghosh, G. (2025). Assessment of Soil Amplification Effects on The Seismic Vulnerability of Irregular Reinforced Concrete Buildings of Varying Heights. In *Scientific Reports* (Vol. 15, Nomor 1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-14145-2>
- Kuria, K. K., & Kegyes-Brassai, O. K. (2024). Pushover Analysis in Seismic Engineering: A Detailed Chronology and Review of Techniques for Structural Assessment. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/app14010151>
- Maningding, R. A. D., & Baldo, J. N. S. (2024). Fragility Analysis of Pangasinan State University Urdaneta City Campus Buildings. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 20, 789–809. <https://doi.org/10.37394/232015.2024.20.75>
- Muntafi, Y., Faraodi, R., & Asroni, A. (2018). *Damage and Loss Probability Assessment of Reinforced Concrete Building Due To Yogyakarta Earthquake Scenario Using Pushover and HAZUS Analysis (Case Study : Student Center Building, Faculty of Social Science , UNY)*. 02014. <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/mateconf/201822902014>
- Narwastu, A., Sangadji, S., Devi, R. H., & Safarizki, H. A. (2024). Analisis Kerapuhan Struktur Gedung Dinas Pertanian Kabupaten Pacitan dengan Static Adaptive Pushover. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 13(1), 89–96. <https://doi.org/10.22225/pd.13.1.7655.89-96>
- Nurhidayatullah, E. F., & Kurniati, D. (2021). Potensi Kerusakan Bangunan Bertingkat Sedang Dengan Skenario Gempa Lebih Besar Sama Dengan 5 SR Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Di Yogyakarta. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 11(1), 125–139. <https://doi.org/10.29103/tj.v11i1.409>
- Paudel, S., Maulana, T. I., & Prayuda, H. (2024). *Seismic Vulnerability Assessment of Regular and Vertically Irregular Residential Buildings in Nepal*. 10(May), 199–208. <https://doi.org/10.22146/jcef.10316>
- Poudel, J., Khatiwada, P., & Adhikari, S. (2025). Seismic Performance Evaluation of Low-Rise Reinforced Concrete Framed Buildings with Ready-to-Use Guidelines (RUD-NBC 205:2024) in Nepal. *CivilEng*, 6(3), 1–23. <https://doi.org/10.3390/civileng6030050>
- PT. Wijaya Karya. (2024). *Shop Drawing Gedung Fakultas Teknik New UNJANI*.

- Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN), & PPMB-ITB. (n.d.). *Aplikasi Respon Spektra*. Puslitbang Perumahan dan Permukiman. Diambil <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/>
- Remki, M., & Kehila, F. (2018). Analytically Derived Fragility Curves and Damage Assessment of Masonry Buildings. *Sustainable Civil Infrastructures*, 42–54. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61914-9_4
- Rifki, M., & Teguh, M. (2019). Evaluasi Kerapuhan Seismik pada Struktur Gedung Kuliah Twin Building UMY Menurut SNI 1726-2012. *Prosiding Kolokium Program Studi Teknik Sipil (KPSTS) FTSP UII 2019*, 52–104. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/13988?show=full>
- Sáenz, U., & Santana, R. (2023). *Seismic Vulnerability in Essential Buildings Through Analytical Fragility Curves*. 38, 319–333. <https://doi.org/10.7764/RIC.00072.21>
- Sumedi, P. P., & Mulyandari, R. (2025). Kurva Kerapuhan Seismik Pada Struktur Rangka Baja Berbasis Pushover. *Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra*, 11(2), 93–102. <https://doi.org/10.52005/rekayasa.v11i2.654>
- Zuher, M. H., Nasution, A. P., Sidiq, Z. N., Masrilayanti, M., & Tanjung, J. (2023). Fragility Assesment of Mid-Rise RC Building using HAZUS Method in High Seismic Zone. *Jurnal Bangunan, Konstruksi & Desain*, 1(2), 79–89. <https://doi.org/10.25077/jbk.d.1.2.79-89.2023>