

TESIS

**ANALISIS KINERJA SEISMIC GEDUNG DENGAN
RETROFIT “ECCENTRICALLY BRACED FRAME”
TIPE-X**



Detha Rintiansyah Putri
No. Mhs : 215118886/PS/MTS

**PROGAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
2026**



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : Detha Rintiansyah Putri
Nomor Mahasiswa : 215118886/PS/MTS
Konsentrasi : Struktur
Judul Proposal Tesis : Analisis Kinerja Seismik Gedung Eksisting D Pre- dan
Post-Retrofit EBF-X dengan Analisis Pushover dan
Respon Spektrum

Dosen Pembimbing

Tanggal

Tanda Tangan

1. Prof. Ir. Yoyong Arfiadi,
M.Eng., Ph.D

ue *utk. ujia* 13/01/2026
[Signature]



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : Detha Rintiansyah Putri
Nomor Mahasiswa : 215118886/PS/MTS
Konsentrasi : Struktur
Judul Tesis : Analisis Kinerja Seismik Gedung Dengan Retrofit
"Eccentrically Braced Frame" Tipe-X

Dosen Penguji	Tanggal	Tanda Tangan
Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph. D	15/01/2026	
Prof. Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng., IPU, ASEAN Eng.	15/01/2026	
Anggun Tri Atmajayanti, S.T, M.Eng., Ph.D.	15/01/2026	

Mengetahui,

Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil



FAKULTAS
TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

Dr. Ir. Nectaria Putri Pramesti, S.T., M.T.

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tesis dengan judul :

ANALISIS KINERJA SEISMIC GEDUNG DENGAN RETROFIT “ECCENTRICALLY BRACED FRAME” TIPE-X

benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya orang lain. Ide, data hasil penelitian maupun kutipan baik langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tesis ini. Apabila terbukti dikemudian hari bahwa Tesis ini merupakan hasil plagiasi, maka ijazah yang saya peroleh dinyatakan batal dan saya akan kembalikan kepada Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Yogyakarta, 18 Januari 2026

Yang membuat pernyataan



Detha Rintiansyah Putri

INTISARI

Penelitian ini mengevaluasi kinerja seismik Gedung D Fakultas Geografi UGM, yaitu bangunan rangka beton bertulang empat lantai yang dirancang dengan SNI 03-1726-2002 dan berlokasi di Yogyakarta sebagai wilayah dengan tingkat kegempaan tinggi. Peningkatan tuntutan desain pada SNI 1726:2019 menimbulkan kebutuhan evaluasi ulang kapasitas struktur serta kajian retrofit yang efektif untuk menjaga keselamatan dan memperpanjang masa layan gedung.

Studi dilakukan melalui pemodelan tiga dimensi gedung eksisting dan tiga variasi retrofit menggunakan sistem Eccentrically Braced Frame tipe X (EBF-X) pada fasad, menggunakan perangkat lunak ETABS v23. Analisis yang diterapkan meliputi analisis modal, analisis statik ekuivalen, analisis respon spektrum linier sesuai SNI 1726:2019, serta analisis pushover nonlinier dengan Capacity Spectrum Method mengacu FEMA 356, ATC-40, EC 8:2004, dan ASCE 41-17. Parameter kinerja yang dikaji mencakup periode fundamental, base shear, interstory drift ratio, kurva kapasitas dan performance point, distribusi sendi plastis, serta level kinerja Immediate Occupancy (IO), Life Safety (LS), dan Collapse Prevention (CP).

Hasil respon spektrum menunjukkan bahwa penambahan EBF-X pada ketiga variasi konfigurasi bracing menurunkan periode fundamental, meningkatkan base shear desain, dan mengurangi interstory drift sehingga seluruh lantai memenuhi batas simpangan SNI 1726:2019 dengan margin yang lebih besar dibanding gedung eksisting. Analisis pushover memperlihatkan peningkatan kapasitas geser dasar dan base shear pada performance point di arah X, serta reduksi demand spektral dan simpangan pada kapasitas maksimum di arah Y, dengan pola sendi plastis pada displacement target tetap didominasi rentang A–IO pada semua model. Kinerja global struktur eksisting berada pada kisaran IO–LS, sedangkan ketiga variasi retrofit mencapai level IO dengan peningkatan kekakuan lateral dan pengendalian simpangan yang signifikan. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem EBF-X merupakan alternatif retrofit yang efektif dan layak diterapkan pada gedung-gedung pendidikan sejenis di wilayah rawan gempa Indonesia yang dirancang dengan standar seismik lama.

Kata kunci : kinerja seismik, bangunan gedung eksisting, retrofit struktur, Eccentrically Braced Frame (EBF-X), analisis pushover, analisis respon spektrum.

ABSTRACT

This study evaluates the seismic performance of Building D of the Faculty of Geography, Universitas Gadjah Mada, a four-story reinforced concrete moment-resisting frame originally designed according to the Indonesian seismic code SNI 03-1726-2002 and located in the highly seismic Yogyakarta region. The updated seismic provisions in SNI 1726:2019 require reassessment of the structural capacity and the development of an effective retrofit strategy to ensure life safety and extend the service life of the building.

Three-dimensional numerical models of the existing structure and three retrofitted configurations using exterior Eccentrically Braced Frame type X (EBF-X) systems were developed in ETABS v23. The analysis program comprises modal analysis, equivalent static analysis, linear response spectrum analysis in accordance with SNI 1726:2019, and nonlinear static pushover analysis using the Capacity Spectrum Method based on FEMA 356, ATC-40, EC 8:2004, and ASCE 41-17. The investigated performance parameters include fundamental period, base shear, interstory drift ratio, capacity curves and performance points, plastic hinge distribution, and global performance levels of Immediate Occupancy (IO), Life Safety (LS), and Collapse Prevention (CP).

Response spectrum results indicate that all three EBF-X retrofit configurations reduce the fundamental period, increase design base shear, and significantly decrease interstory drift, so that all stories satisfy the drift limits of SNI 1726:2019 with larger safety margins than the existing building. Pushover analysis shows increased base shear capacity and base shear at the performance point in the X-direction, as well as reduced spectral demand and displacement at maximum capacity in the Y-direction, while plastic hinges at the target displacement are predominantly within the A–IO range for all models. The global performance of the existing structure falls within the IO–LS range, whereas all retrofitted models achieve IO performance with substantially improved lateral stiffness and drift control. These findings confirm that the EBF-X system is an effective and feasible retrofit option for similar educational buildings in Indonesian high-seismic regions that were designed according to older seismic standards.

Keywords: seismic performance, existing building, structural retrofit, eccentrically braced frame (EBF-X), pushover analysis, response spectrum analysis.

KATA HANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul **“Analisis Kinerja Seismik Gedung Dengan Retrofit “Eccentrically Braced Frame Type-X”**. Tesis ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat pascasarjana di Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tesis ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tesis ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing Tesis, yang telah memberikan banyak ilmu, pengarahan dan dukungan demi terselesaikannya penyusunan Tesis ini ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng. selaku dosen penguji Tesis, yang telah memberikan banyak masukan, kritik maupun saran, dan memberikan evaluasi agar lebih baik di kemudian hari.
3. Ibu Anggun Tri Atmajayanti, S.T, M.Eng., Ph.D. selaku dosen penguji Tesis, yang telah memberikan banyak masukan, kritik maupun saran, dan memberikan evaluasi agar lebih baik di kemudian hari.
4. Ibu Dr. Ir. Nectaria Putri Pramesti, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
5. Keluarga penulis yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, doa, serta semangat selama penyusunan Laporan Tesis ini.
6. Dan seluruh pihak yang telah mendukung terselesaikannya Tesis ini.

Akhirnya penulis berharap agar Tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis serta berbagai pihak yang membacanya.

DAFTAR ISI

PENGESAHAN TESIS	Error! Bookmark not defined.
PERSETUJUAN TESIS	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PERNYATAAN	iv
INTISARI.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA HANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	8
C. Batasan Masalah.....	9
D. Tujuan Penelitian	10
E. Manfaat Penelitian	11
BAB II.....	13
A. Penelitian Tentang Seismic Retrofit menggunakan Steel Bracing	13
1. Penelitian Freddi et al. (2024).....	13
2. Penelitian tentang Soft-Story Retrofit (Kumar & Singh, 2023).....	14
B. Penelitian tentang Eccentrically Braced Frame (EBF)	15
1. Penelitian Aghazadeh Ardebili & Mirghaderi (2024).....	15
2. Penelitian Seismic Performance EBF Short-Links (Abbas et al., 2023).....	16
C. Penelitian tentang Seismic Assessment dengan SNI 1726 : 2019	18
1. Penelitian Evaluasi Kinerja dengan SNI 2019 (Pratama et al., 2024) ..	18
2. Penelitian Comparative Study SNI 2012 vs 2019 (Luthfiyah, 2022) ...	19
D. Penelitian tentang Performance Based Seismic Design di Indonesia	20
1. Studi PBSB pada High-Rise Building (Repository UGM, 2018).....	20
E. Penelitian tentang Pushover Analysis menggunakan ETABS	22
1. Seismic Assessment RC Frame dengan Pushover (Rahman & Islam, 2024).....	22

F. Sintesis Tinjauan Pustaka dan Kesenjangan Penelitian	23
G. Kesenjangan Penelitian	25
BAB III	34
A. Teori Dasar Gempa Bumi dan Respons Struktur	34
1. Dinamika Struktur dan Persamaan Gerak	34
2. Analisis Modal dan Periode Natural	35
3. Response Spectrum	35
4. Base Shear dan Distribusi Gaya Lateral	37
B. Teori Struktur Beton Bertulang	39
1. Sifat Mekanik Material Beton	39
2. Kapasitas Lentur Penampang Beton Bertulang	40
3. Kapasitas Geser Penampang	41
4. Interaksi Aksial-Lentur untuk Kolom	43
C. Teori Sistem Bracing dan Eccentrically Braced Frame	44
1. Kekakuan Lateral Sistem Bracing	44
2. Kapasitas Link Beam pada Sistem EBF	45
3. Link Rotation Angle	46
4. Overstrength Factor dan Required Strength	47
D. Teori Analisis Pushover Nonlinear	48
1. Prinsip Dasar Analisis Pushover	48
2. Kurva Kapasitas (Capacity Curve)	49
3. Konversi ke Sistem SDOF Ekuivalen	50
4. Target Displacement (Displacement Coefficient Method)	51
5. Performance Point (Capacity Spectrum Method)	52
E. Performance Levels dan Acceptance Criteria	53
1. Performance Levels (ASCE 41-17)	53
2. Interstory Drift Ratio (IDR)	54
3. Plastic Hinge Properties	55
4. Force-Controlled vs Deformation-Controlled Actions	56
F. Kesimpulan Landasan Teori	57
BAB IV	59
A. Diagram Alur Penelitian	59
1. Tahapan Umum Penelitian	59

B.	Objek Penelitian	63
1.	Deskripsi Umum Gedung.....	63
2.	Data Geometri Struktur.....	64
3.	Data Material Struktur.....	66
4.	Data Dimensi Elemen Struktur	67
5.	Data Beban Gravitasi	69
6.	Model Analisis Eksisting dan Pasca Retrofit	71
C.	Parameter Seismik dan Site Data	72
1.	Lokasi dan Klasifikasi Site.....	72
2.	Parameter Seismik berdasarkan SNI 1726:2019.....	73
3.	Desain Respon Spektrum	75
D.	Pemodelan Struktur di ETABS	76
1.	Perangkat Lunak dan Pengaturan Umum Model	76
2.	Pengaturan Koordinat dan Geometri Bangunan	77
3.	Pemodelan Sistem Retrofit EBF-X	78
4.	Representasi Sambungan dan Sendi Plastis	79
5.	Material Properties Definition.....	79
6.	Parameter Nonlinier dan Aplikasi.....	82
7.	Section Properties Definition	82
8.	Verifikasi dan Aplikasi Model	83
9.	Integrasi dengan Sistem Retrofit.....	84
10.	Perhitungan Properties Otomatis.....	86
11.	Perencanaan Link EBF-X	87
12.	Define Supports dan Restraints.....	89
13.	Diaphragm Constraints.....	90
14.	Load Cases dan Load Patterns	90
15.	Load Combinations	92
16.	Penerapan pada Analisis	92
17.	Plastic Hinge Properties	94
18.	Modeling Assumptions	95
E.	Analisis Modal dan Respon Spektrum.....	95
F.	Analisis Pushover dan Evaluasi Kinerja	96

G.	Prosedur Analisis	97
1.	Analisis Modal	97
2.	Analisis Response Spectrum.....	98
3.	Analisis Pushover Nonlinier	98
4.	Evaluasi Output.....	99
5.	Performance Point Determination.....	100
H.	Desain Retrofit Sistem EBF-X.....	101
1.	Pertimbangan Desain Awal.....	101
2.	Lokasi dan Penempatan Bracing.....	102
3.	Desain Elemen Bracing.....	104
4.	Batasan Ruang Lingkup Sambungan	105
I.	Kriteria Evaluasi Kinerja.....	105
1.	Kriteria Tingkat Kinerja (Performance Levels)	105
2.	Acceptance Criteria.....	107
3.	Parameter Perbandingan Kinerja.....	108
BAB V		111
A.	Gambaran Umum Hasil Analisis	111
B.	Hasil Respon Spektrum dan Pembahasan	112
1.	Periode Fundamental.....	112
2.	Base shear desain	116
3.	Simpangan atap dan inter-storey drift.....	118
C.	Hasil Analisis Pushover dan Pembahasan.....	121
1.	Kurva kapasitas dan performance point arah X	121
2.	Kurva kapasitas dan performance point arah Y	127
3.	Pola Sendi Plastis dan Level Kinerja	132
D.	Parameter Perbandingan Kinerja.....	138
1.	Periode fundamental dan dinamik.....	138
2.	Base shear capacity dan displacement capacity	139
3.	Performance point dan DCR global	141
4.	Distribusi interstory drift.....	143
5.	Daktilitas dan disipasi energi	144
6.	Kinerja komponen (sendi plastis).....	146
7.	Mekanisme Kerusakan (Balok Vs Kolom)	148

E. Ringkasan Hasil Utama.....	152
BAB VI	153
A. Kesimpulan	153
B. Saran.....	154
DAFTAR PUSTAKA	156

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Load Combination.....	93
Tabel 5. 1 Periode Fundamental Gedung Eksisting Tanpa Bracing	112
Tabel 5. 2 Periode Fundamental Gedung Eksisting Dengan Bracing Variasi 1 .	113
Tabel 5. 3 Periode Fundamental Gedung Eksisting Dengan Bracing Variasi 2 .	113
Tabel 5. 4 Periode Fundamental Gedung Eksisting Dengan Bracing Variasi 3 .	114
Tabel 5. 5 Nilai Drift Gedung Eksisting Tanpa Bracing.....	118
Tabel 5. 6 Nilai Drift Gedung Eksisting Dengan Bracing Variasi 1.....	119
Tabel 5. 7 Nilai Drift Gedung Eksisting Dengan Bracing Variasi 2.....	119
Tabel 5. 8 Nilai Drift Gedung Eksisting Dengan Bracing Variasi 3.....	119
Tabel 5. 9 Kurva kapasitas dan performance point arah X.....	121
Tabel 5. 10 Parameter kurva kapasitas dan performance point arah Y.....	127
Tabel 5. 11 Periode fundamental	138
Tabel 5. 12 Ringkasan Vmax, Displacement Atap, dan Parameter Performance Point Hasil Analisis Pushover.....	139
Tabel 5. 13 Ringkasan Sd, Sa pada Performance Point dan Level Kinerja Global untuk Setiap Model	141
Tabel 5. 14 Ringkasan IDR Maksimum pada Performance Point, Batas LS, dan DCR_IDR untuk Setiap Model	141
Tabel 5. 15 Ringkasan IDR Maksimum, Lantai Kritis, dan IDR Rata-rata untuk Setiap Model	143
Tabel 5. 16 Ringkasan Displacement, Base Shear, Daktilitas Global, dan Energi Disipasi untuk Setiap Model	144
Tabel 5. 17 Ringkasan kinerja sendi plastis untuk seluruh model dan arah pembebanan.....	146

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4. 1 Diagram Alur Penelitian.....	63
Gambar 4. 2 Denah Lantai 1 Gedung D Geografi	65
Gambar 4. 3 Potongan Gedung D Geografi	66
Gambar 4. 4 Desain Spektrum Respon Gedung D Geografi	74
Gambar 4. 5 Input Grid Gedung Geografi D	78
Gambar 4. 6 Material Properties Beton.....	80
Gambar 4. 7 Material Properties Baja Tulangan.....	80
Gambar 4. 8 Material Properties Baja Tulangan.....	81
Gambar 4. 9 Material Properties Baja.....	81
Gambar 4. 10 Section Properties Kolom K1	83
Gambar 4. 11 Section Properties Balok B1	84
Gambar 4. 12 Section Properties Balok B2	84
Gambar 4. 13 Section Properties Balok Ba.....	85
Gambar 4. 14 Section Properties Balok Bb	85
Gambar 4. 15 Section Properties Plat	86
Gambar 4. 16 Section Properties Bracing	87
Gambar 4. 17 Respon Spektrum Gedung Geografi D.....	91
Gambar 4. 18 Denah Lokasi Penempatan Bracing EBF-X Gedung Geografi D (Variasi 1).....	102
Gambar 4. 19 Denah Lokasi Penempatan Bracing EBF-X Gedung Geografi D (Variasi 2).....	103
Gambar 4. 20 Denah Lokasi Penempatan Bracing EBF-X Gedung Geografi D (Variasi 3).....	103
Gambar 5. 1 Nilai Base Shear Gedung Eksisting Tanpa Bracing.....	116
Gambar 5. 2 Nilai Base Shear Gedung Eksisting Bracing Variasi 1	116
Gambar 5. 3 Nilai Base Shear Gedung Eksisting Bracing Variasi 2	117
Gambar 5. 4 Nilai Base Shear Gedung Eksisting Bracing Variasi 3	117
Gambar 5. 5 Simpangan antar Tingkat	120
Gambar 5. 6 Grafik Displacement arah X Gedung Existing.....	122
Gambar 5. 7 Grafik Performance Point arah X Gedung Existing	122
Gambar 5. 8 Grafik Displacement arah X Gedung dengan Bracing Variasi 1 ...	123
Gambar 5. 9 Grafik Performance Point arah X Gedung dengan Bracing Variasi 1	123
Gambar 5. 10 Grafik Displacement arah X Gedung dengan Bracing Variasi 2 .	124
Gambar 5. 11 Grafik Performance Point arah X Gedung dengan Bracing Variasi 2	124
Gambar 5. 12 Grafik Displacement arah X Gedung dengan Bracing Variasi 3 .	125
Gambar 5. 13 Grafik Performance Point arah X Gedung dengan Bracing Variasi 3	125

Gambar 5. 14 Grafik Displacement arah Y Gedung Existing.....	128
Gambar 5. 15 Grafik Performance Point arah Y Gedung dengan Existing.....	128
Gambar 5. 16 Grafik Displacement arah Y Gedung dengan Bracing Variasi 1 .	129
Gambar 5. 17 Grafik Performance Point arah Y Gedung dengan Bracing Variasi 1	129
Gambar 5. 18 Grafik Displacement arah Y Gedung dengan Bracing Variasi 2 .	130
Gambar 5. 19 Grafik Performance Point arah Y Gedung dengan Bracing Variasi 2	130
Gambar 5. 20 Tampilan sendi plastis Load Pushover X Gedung Existing.....	132
Gambar 5. 21 Tampilan sendi plastis Load Pushover Y Gedung Existing.....	133
Gambar 5. 22 Tampilan sendi plastis Load Pushover X Gedung dengan Bracing Variasi 1	133
Gambar 5. 23 Tampilan sendi plastis Load Pushover Y Gedung dengan Bracing Variasi 1	134
Gambar 5. 24 Tampilan sendi plastis Load Pushover X Gedung dengan Bracing Variasi 2	134
Gambar 5. 25 Tampilan sendi plastis Load Pushover Y Gedung dengan Bracing Variasi 2	135
Gambar 5. 26 Tampilan sendi plastis Load Pushover X Gedung dengan Bracing Variasi 3	135
Gambar 5. 27 Tampilan sendi plastis Load Pushover Y Gedung dengan Bracing Variasi 3	136