

TESIS

**MODEL VALIDASI DAN EVALUASI KINERJA *GLASS FIBER
REINFORCED ELASTOMERIC ISOLATOR* (GFREI) PADA
STRUKTUR PORTAL SEDERHANA MENGGUNAKAN
OPENSEES**



JESSICA NATALIA CRISTANTI

NPM: 235119713

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

2025



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL**

PERSETUJUAN TESIS

Nama : Jessica Natalia Cristanti
Nomor Mahasiswa : 235119713
Konsentrasi : Struktur
Judul Tesis : Model Validasi dan Evaluasi Kinerja *Glass Fiber Reinforced Elastomeric Isolator* (GFREI) pada Struktur Portal Sederhana Menggunakan OpenSees

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D.
Anggun Tri Atmajayanti, S.T., M.Eng.,
Ph.D.

Tanggal

17/01/2025
17 / 09 / 2025

Tanda tangan



FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : Jessica Natalia Cristanti
Nomor Mahasiswa : 235119713
Konsentrasi : Struktur
Judul Tesis : Model Validasi dan Evaluasi Kinerja *Glass Fiber Reinforced Elastomeric Isolator* (GFREI) pada Struktur Portal Sederhana Menggunakan OpenSees

Nama Penguji	Tanggal	Tanda tangan
Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D. (Ketua)	14/10/2025	
Prof. Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng., IPU, ASEAN ENG (Sekretaris)	13/10/2025	
Anggun Tri Atmajayanti, S.T., M.Eng., Ph.D. (Anggota)	13/10 2025	



Ketua Program Studi

FAKULTAS
TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

Dr. Ir. Nectaria Putri Pramesti, S.T., M.T., IPU, ASEAN ENG.

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama mahasiswa : Jessica Natalia Cristanti

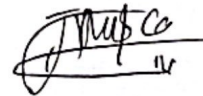
NPM 235119713

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Laporan Tesis dengan judul :

Model Validasi Dan Evaluasi Kinerja *Glass Fiber Reinforced Elastomeric Isolator* (GFREI) Pada Struktur Portal Sederhana Menggunakan OpenSees

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

Yogyakarta, 15 Oktober 2025



Jessica Natalia Cristanti

INTISARI

Penelitian ini membahas pengembangan dan validasi model numerik Glass Fiber Reinforced Elastomeric Isolator (GFREI) pada struktur portal sederhana dengan tujuan mengevaluasi potensi penerapan isolator berbahan serat kaca pada bangunan rendah di wilayah seismik seperti Indonesia. Latar belakang studi ini didorong oleh keterbatasan isolator elastomerik konvensional, seperti bobot dan biaya tinggi serta masih relatif sedikitnya kajian pemodelan GFREI menggunakan platform open-source. Dengan mengacu pada data eksperimen Tavio dan Wijaya (2020), penelitian berupaya menghadirkan alternatif isolasi yang lebih ringan, tahan korosi, dan ekonomis untuk aplikasi lokal.

Metode penelitian bersifat numerik dan tersusun secara berurutan: kajian literatur, adopsi spesifikasi dan kurva histeresis dari data eksperimen, perumusan model elemen GFREI dalam OpenSees menggunakan elemen *elastomericBearingBoucWen* dan elemen *zeroLength*, kalibrasi parameter Bouc–Wen untuk mereproduksi grafik histeresis, pemodelan struktur portal satu lantai yang dilengkapi isolator, serta simulasi *time-history* gempa (rekaman El Centro). Analisis difokuskan pada ekstraksi dan perbandingan parameter kinerja meliputi hubungan gaya-perpindahan, kekakuan efektif, koefisien redaman efektif, simpangan, dan gaya geser dasar (*base shear*).

Hasil menunjukkan bahwa model numerik GFREI di OpenSees mampu menghasilkan grafik histeresis yang konsisten dengan data eksperimen; deviasi kekakuan efektif dan redaman efektif berturut-turut sekitar 9,7% dan 9,3%, yang dianggap dapat diterima untuk validasi akademik. Pada studi kasus portal, penerapan GFREI menurunkan simpangan puncak dari $\approx 12,7$ mm menjadi $\approx 4,97$ mm dan simpangan relatif maksimum pada isolator yang dipasang pada portal berkisar pada nilai 13 mm, sementara *loop* histeresis menandakan kapasitas disipasi energi yang meningkat. Keterbatasan penelitian meliputi penggunaan satu rekaman gempa, satu konfigurasi portal sederhana, serta asumsi model material yang tidak memasukkan degradasi jangka panjang atau pengaruh lingkungan. Rekomendasi pengembangan meliputi uji sensitivitas terhadap spektrum gempa, variasi parameter Bouc–Wen, dan kajian *fatigue*/degradasi material.

Kata kunci: isolasi seismik, portal, OpenSees, respons simpangan, Grafik histeresis, gaya geser dasar

ABSTRACT

This study develops and validates a numerical model of Glass Fiber Reinforced Elastomeric Isolator (GFREI) applied to a simple portal frame, aiming to assess the feasibility of glass-fiber-based isolators for low-rise buildings in seismically active regions like Indonesia. The research is motivated by limitations of conventional elastomeric bearings, such as high weight and cost, and the limited availability of GFREI numerical studies on open-source platforms. Reference experimental data (Tavio and Wijaya, 2020) were adopted to ensure local relevance and to support model calibration.

The methodology is numerical and sequential: literature review; adoption of experimental specimen specifications and hysteresis data; formulation of the GFREI element in OpenSees using elastomericBearingBoucWen and zeroLength elements; calibration of Bouc–Wen parameters to reproduce experimental hysteresis loops; modelling of a single-storey portal equipped with isolators; and time-history simulations using the El Centro ground motion. Evaluation focused on force–displacement relations, effective stiffness, effective damping ratio, displacements, and base shear comparison between fixed-base and isolator-based configurations.

The results show that the GFREI numerical model in OpenSees is able to reproduce hysteresis loops consistent with the experimental data; deviations in effective stiffness and effective damping are approximately 9.7% and 9.3%, respectively, which are considered acceptable for academic validation. In the portal case study, the application of GFREI reduced peak displacement from ≈ 12.7 mm to ≈ 4.97 mm, while the maximum relative displacement of the isolator installed in the portal is around 13 mm; the hysteresis loops also indicate an increased energy dissipation capacity. Study limitations include the use of a single ground-motion record, a single simple portal configuration, and material model assumptions that do not account for long-term degradation or environmental effects. Recommended further work includes sensitivity analyses to seismic input spectra, variations of Bouc–Wen parameters, and investigations into fatigue/degradation of the material.

Keywords: *seismic isolation, portal frame, OpenSees, displacement response, hysteresis curve, base shear*

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kami haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat dan karunia-Nya, kami dapat menyelesaikan Tesis Model Validasi Dan Evaluasi Kinerja *Glass Fiber Reinforced Elastomeric Isolator* (GFREI) Pada Struktur Portal Sederhana Menggunakan OpenSees dengan baik dan tepat waktu. Selama proses menyelesaikan laporan tesis, penulis menyadari bahwa penyusunan ini tidak dapat dilaksanakan dengan baik tanpa bantuan dari pihak-pihak lain. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang telah membantu menguatkan penulis dalam proses penyusunan dan penyelesaian Laporan Tesis.
2. Bunda Maria yang senantiasa mendengarkan dan mengabulkan doa penulis dalam proses penyusunan dan penyelesaian Laporan Tesis.
3. Roh Kudus yang senantiasa menyertai dan membantu penulis memberikan hikmat dalam proses penyusunan dan penyelesaian Laporan Tesis.
4. Bapak Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D., selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta dan dosen pembimbing I dalam menyelesaikan Laporan Tesis.
5. Ibu Anggun Tri Atmajayanti, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing II dalam menyelesaikan Laporan Tesis.
6. Bapak Prof. Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng., IPU, ASEAN Eng., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
7. Ibu Dr. Ir. Nectaria Putri Pramesti, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng., selaku Ketua Program Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
8. Keluarga, saudara Laurensius Dimas sebagai pacar, teman-teman, dan kucing peliharaan penulis yang telah memberikan dukungan untuk menyelesaikan Laporan Tesis.
9. Saudara Ryan Wijaya dan Mathias Siloam, serta saudari Ni Kadek Maudy Gracia Regiandini sebagai teman seperjuangan penulis yang selalu memberi semangat.
10. Semua pihak yang telah membantu untuk menyelesaikan Laporan Tesis.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan ini. Oleh karena itu, penulis menerima segala bentuk kritik dan saran untuk menyempurnakan laporan ini. Penulis berharap hasil dari laporan ini dapat berguna bagi pembaca.

Yogyakarta, 15 Oktober 2025

Jessica Natalia Cristanti

DAFTAR ISI

TESIS

PERSETUJUAN TESIS	ii
PENGESAHAN TESIS	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
INTISARI	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR PERSAMAAN	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Keaslian Penelitian	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Isolasi Seismik dalam Rekaya Gempa	5
2.2 Isolator Elastomerik Konvensional	6
2.3 Glass Fiber Reinforced Elastomeric Isolator (GFREI)	7
2.4 OpenSees sebagai Platform Pemodelan Seismik	10
BAB III LANDASAN TEORI	13
3.1 Konsep Sistem Isolasi Dasar	13
3.2 Karakteristik Elastomeric Isolator.....	14
3.3 Model Histeretik Bouc-Wen	16
BAB IV METODE PENELITIAN	18
4.1 <i>Literature Review</i>	18

4.2	Diagram Alir Penelitian.....	19
BAB V PEMBAHASAN.....		24
5.1	Hasil Validasi Model GFREI di OpenSees.....	24
5.1.1	Hasil Simulasi dan Perbandingan dengan Referensi Data	25
5.1.2	Analisis Grafik Histeresis	27
5.1.3	Evaluasi Gaya Maksimum dan Minimum	27
5.1.4	Evaluasi Simpangan Maksimum dan Minimum	28
5.1.5	Analisis Kekakuan Efektif	28
5.1.6	Analisis Koefisien Redaman Efektif	29
5.2	Respons Perpindahan Struktur	31
5.2.1	Struktur Portal Sederhana tanpa Isolator	31
5.2.2	Struktur Portal Sederhana dengan Isolator	33
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		36
6.1	Kesimpulan.....	36
6.2	Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA.....		38
LAMPIRAN.....		41

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Spesifikasi Benda Uji	33
Tabel 5. 1 Perbandingan Hasil Simulasi dan Data Eksperimental	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Efek Pergeseran Periode pada Spektrum Akselerasi	6
Gambar 4. 1 Diagram Alir Penelitian	19
Gambar 4. 2 Geometri Benda Uji GFREI	21
Gambar 4. 3 Struktur Portal Sederhana	22
Gambar 4. 4 Acceleration Gempa El Centro Array #9 (1951)	22
Gambar 5. 1 Grafik Histeresis Validasi GFREI	26
Gambar 5. 2 Grafik Histeresis Eksperimental GFREI	26
Gambar 5. 3 Grafik Perpindahan vs Waktu Portal Fix-Based	31
Gambar 5. 4 Gambar Perpindahan vs Waktu Portal Isolator-Based	32
Gambar 5. 5 Perbandingan Perpindahan vs Waktu Pada Portal	32
Gambar 5. 6 Grafik Histeresis Portal <i>Fix-Based</i>	33
Gambar 5. 7 Grafik Histeresis Portal dengan Isolator	34

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 3. 1 Periode Alami Struktur	13
Persamaan 3. 2 Persamaan Gerak Terisolasi SDOF	13
Persamaan 3. 3 <i>Shape</i> Faktor Isolator	16
Persamaan 5. 1 Kekakuan Efektif	28
Persamaan 5. 2 Koefisien Redaman Efektif	29
Persamaan 5. 3 Energi Elastik Maksimum	30

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Program OpenSees Portal dengan Fix-Based	54
Lampiran Program OpenSees Portal dengan Isolator-Based	57