

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia berada di zona pertemuan empat lempeng tektonik utama Eurasia, Indo-Australia, Filipina, dan Pasifik yang menjadikannya salah satu wilayah paling rawan gempa di dunia. Data BMKG mencatat rata-rata lebih dari 5.000 gempa berkekuatan di atas 3,0 skala Richter terjadi setiap tahun. Tragedi gempa besar seperti Aceh (2004), Yogyakarta (2006), Padang (2009), hingga Lombok dan Palu (2018) telah membuktikan betapa rentannya infrastruktur terhadap dampak seismik, baik dari segi kerusakan fisik maupun korban jiwa.

Perkembangan rekayasa struktur tahan gempa kini bergeser dari konsep konvensional berbasis daktilitas menuju pendekatan berbasis kinerja. Salah satu inovasi yang dianggap efektif adalah sistem isolasi dasar (*base isolation*), teknologi yang memisahkan struktur bangunan dari getaran tanah untuk meminimalkan transfer energi gempa ke struktur atas. Prinsip ini telah dibuktikan melalui berbagai studi, termasuk oleh Kelly dan Konstantinidis pada 2011.

Di antara jenis isolator yang umum digunakan, elastomeric isolator berbahan karet seperti *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) dan *Lead Rubber Bearing* (LRB) telah diaplikasikan secara global. Namun, kedua sistem ini memiliki beberapa kendala teknis: bobot yang besar antara lain proses instalasi yang rumit, biaya produksi tinggi, serta kesulitan adaptasi pada bangunan berlantai rendah dengan beban ringan (Toopchi-Nezhad et al., 2009).

Glass Fiber Reinforced Elastomeric Isolator (GFREI) muncul sebagai solusi inovatif dengan mengganti pelat baja tradisional pada isolator konvensional dengan lapisan fiber glass. Material ini menawarkan keunggulan signifikan: massa GFREI hanya seperempat isolator biasa, biaya produksi lebih efisien, proses manufaktur sederhana, serta ketahanan korosi yang lebih

baik (Kelly dan Takhirov, 2001). Potensi ini menjadikan GFREI kandidat ideal untuk aplikasi di wilayah tropis seperti Indonesia.

Studi eksperimental oleh de Raaf et al. (2011) mengungkapkan perilaku unik GFREI pada deformasi besar, termasuk fenomena roll-over yang perlu diantisipasi dalam desain. Di tingkat lokal, penelitian Tavio dan Wijaya (2020) terhadap prototipe GFREI buatan Indonesia menunjukkan kapasitas deformasi lateral dan karakteristik histeretik yang memadai untuk aplikasi praktis.

Meskipun uji eksperimen telah banyak dilakukan, pemodelan numerik GFREI masih perlu pengembangan lebih lanjut. Rofiq et al. (2022) telah memulai eksplorasi menggunakan software Abaqus dengan metode FEM, namun pemanfaatan platform *open-source* seperti OpenSees yang dikembangkan PEER untuk simulasi rekayasa gempa masih jarang dieksplorasi. Padahal, fleksibilitas dan sifat *open-source* OpenSees memungkinkan penyesuaian model sesuai kebutuhan spesifik, sekaligus mendukung prinsip desain berbasis kinerja (McKenna, 2011).

Persoalan mendesak di Indonesia terletak pada kerentanan bangunan berlantai rendah seperti rumah tinggal, sekolah, dan fasilitas publik yang sering menjadi korban utama gempa. Teknologi isolasi dasar konvensional kerap tidak ekonomis untuk struktur sederhana ini, sehingga GFREI dengan karakteristiknya yang ringkas dan terjangkau diharapkan bisa menjadi jawaban strategis.

Berdasarkan tantangan tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan model numerik GFREI di OpenSees dengan mengacu data eksperimen Tavio dan Wijaya (2020), serta menganalisis kinerjanya pada struktur berlantai rendah. Validasi perilaku histeretik dan respons dinamik struktur diharapkan dapat menjadi landasan ilmiah untuk penyusunan pedoman desain GFREI yang adaptif dengan kondisi lokal, sekaligus mendorong implementasi teknologi isolasi dasar yang lebih inklusif di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan, penelitian ini mengajukan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang model numerik Glass Fiber Reinforced Elastomeric Isolator (GFREI) di OpenSees berdasarkan data eksperimen Tavio dan Wijaya?
2. Sejauh mana model numerik GFREI di OpenSees mampu mereproduksi grafik histeretik yang konsisten dengan hasil eksperimen Tavio dan Wijaya?
3. Bagaimana pengaruh penerapan GFREI terhadap reduksi respons dinamik (*base shear*) pada struktur portal sederhana saat dikenakan beban gempa?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki ruang lingkup yang ditetapkan untuk memastikan fokus analisis tetap terarah dan hasil yang dihasilkan dapat diukur secara efektif. Batasan-batasan tersebut mencakup:

1. Studi terbatas pada struktur portal (1 storey) sebagai representasi bangunan sederhana yang dominan di Indonesia. Struktur tinggi (*high-rise*) atau struktur dengan kompleksitas desain tidak termasuk dalam analisis.
2. Pemodelan numerik GFREI mengacu eksklusif pada data eksperimen dari Tavio dan Wijaya. Variasi desain GFREI dari studi lain atau prototipe dengan material alternatif tidak dipertimbangkan.
3. Simulasi menggunakan rekaman *time-history* gempa dengan magnitudo 6.0 Mw yang mewakili kejadian gempa menengah-kuat di Indonesia.

4. Validasi model hanya membandingkan grafik histeretik dan respons dinamik dasar.

1.4 Keaslian Penelitian

Beberapa aspek yang menunjukkan keunikan dan orisinalitas penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menawarkan kontribusi orisinal melalui perancangan model numerik GFREI menggunakan OpenSees.
2. Validasi numerik hasil eksperimental Tavio dan Wijaya dengan pendekatan pemrograman Tcl pada platform OpenSees belum pernah dilakukan sebelumnya.
3. Evaluasi kinerja GFREI pada struktur portal sederhana yang spesifik untuk kondisi seismik Indonesia merupakan aspek baru yang belum banyak dieksplorasi dalam literatur.

1.5 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Melakukan pemodelan numerik *Glass Fiber Reinforced Elastomeric Isolator* (GFREI) berbasis OpenSees dengan mengacu pada data eksperimen Tavio dan Wijaya.
2. Melakukan validasi grafik histeretik hasil simulasi numerik terhadap hasil pengujian eksperimental untuk menilai akurasi model.
3. Menganalisis respons dinamik struktur portal sederhana yang dilengkapi GFREI dalam menghadapi beban gempa lateral menggunakan hasil simulasi di OpenSees.