

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik besar dunia yakni, lempeng Pasifik, Eurasia dan Indo-Australia. Posisi geografis ini menyebabkan Indonesia menjadi salah satu negara dengan tingkat aktivitas tektonik yang tinggi sehingga bangunan struktur rentan terhadap getaran seismik. Salah satu gempa terbesar yang pernah terjadi di Indonesia adalah gempa Aceh tahun 2004 (Mw 9,3). Gempa tersebut menyebabkan tsunami yang menghancurkan sektor konstruksi terkhusus bangunan gedung dan infrastruktur serta memakan lebih dari 300.000 korban jiwa di Asia Selatan dan Afrika (Sinadinovski, 2006).

Dalam beberapa dekade terakhir, sistem kontrol getaran pada bangunan telah menjadi salah satu pendekatan yang efektif untuk mengurangi respons dinamik struktur bangunan terhadap beban gempa. Sistem kontrol getaran diklasifikasikan menjadi kontrol aktif, kontrol pasif dan kontrol semi-aktif. Di antara berbagai sistem kontrol getaran, *Tuned Mass Damper* (TMD) menjadi salah satu perangkat pengontrol getaran pasif yang cukup sering diaplikasikan dan diteliti. TMD terdiri dari massa sekunder (1%-10% dari massa efektif struktur), pegas dan peredam (Salehiziarani & Karami Mohammadi, 2019). TMD cukup efektif dalam meredam getaran dan memperkecil simpangan pada struktur bangunan. Namun, TMD dengan karakteristik linear memiliki beberapa keterbatasan dalam menangani perilaku nonlinear struktur dan sangat bergantung pada frekuensi tuning.

Untuk mengatasi keterbatasan TMD konvensional, beberapa peneliti mengembangkan TMD dengan berbagai langkah optimasi parameter dan karakteristik TMD nonlinear. Salah satu model TMD nonlinear (NTMD) yang banyak digunakan adalah model Bouc-Wen. Model Bouc-Wen

merepresentasikan perilaku histeresis nonlinear dalam sistem dinamik yang ditemukan oleh *Bouc* dan dikembangkan oleh *Wen* di tahun 1976 (Rupakhety & Elias, 2020). NTMD model Bouc-Wen memiliki *bandwidth* (rentang frekuensi) operasional yang lebih lebar dari TMD linear sehingga efektif dalam menangani variasi frekuensi struktur utama (Janga et al., 2025). NTMD juga menghasilkan kurva *hysteresis pinched* yang meningkatkan kemampuan disipasi energi, terutama pada amplitudo getaran yang rendah hingga sedang (Janga et al., 2025).

Meskipun penelitian numerik dan analitik mengenai NTMD telah banyak dilakukan, namun pemodelan numerik NTMD model Bouc-Wen tanpa efek *pinching* dengan rekaman gempa riil berbasis OpenSees terbilang cukup jarang dieksplorasi. Selain itu, implementasi sistem NTMD di Indonesia juga belum seluas di negara-negara maju meskipun manfaatnya sangat besar. Hal ini disebabkan kurangnya pemahaman terhadap performa dari TMD, terutama TMD nonlinear. Berdasarkan kesenjangan penelitian yang telah teridentifikasi, penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi parametrik pemodelan NTMD model Bouc-Wen tanpa efek *pinching* menggunakan pemodelan OpenSees. Secara khusus penelitian ini menyelidiki perilaku NTMD model Bouc-Wen terhadap struktur utama yang tereksitasi gempa Kobe dengan variasi rasio frekuensi. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini berupa perilaku *hysteresis* dan kinerja *damper* dalam mereduksi perpindahan struktur serta gaya geser dasar.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi rasio frekuensi (0,80; 0,95; 1,00; 1,05; 2,00) terhadap respons perpindahan struktur (*displacement-time*) yang dikenai beban dinamik gempa Kobe.

2. Bagaimana pengaruh variasi rasio frekuensi NTMD model Bouc-Wen (0,80; 0,95; 1,00; 1,05; 2,00) terhadap efektivitas reduksi perpindahan maksimum struktur akibat beban dinamik gempa Kobe?
3. Bagaimana pengaruh variasi rasio frekuensi NTMD model Bouc-Wen (0,80; 0,95; 1,00; 1,05; 2,00) terhadap efektivitas reduksi gaya geser dasar maksimum struktur akibat beban dinamik gempa Kobe?
4. Bagaimana karakteristik kurva histeresis gaya-perpindahan relatif NTMD model Bouc-Wen pada berbagai rasio frekuensi (0,80; 0,95; 1,00; 1,05; 2,00) akibat beban dinamik gempa Kobe?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memastikan penelitian ini tetap terfokus dan terarah maka, ditetapkan batasan – batasan sebagai berikut:

1. Struktur yang dianalisis adalah sistem struktur sederhana dengan 1 derajat kebebasan (SDOF) dan 2DOF.
2. Perangkat lunak yang digunakan dalam analisis terbatas hanya menggunakan OpenSees dengan *script* Tcl.
3. Tumpuan yang digunakan dalam pemodelan OpenSees adalah tumpuan jepit.
4. Variasi rasio frekuensi NTMD yang ditinjau hanya pada nilai 0,80; 0,95; 1,00; 1,05; 2,00.
5. Beban gempa yang digunakan terbatas pada rekaman gempa Kobe tanpa mempertimbangkan gempa lainnya.
6. Analisis yang dilakukan hanya dalam arah horizontal (dua dimensi) dan tidak mempertimbangkan respons vertikal dan torsi.
7. Parameter rasio massa untuk setiap model sama bernilai 0,05 mengikuti jurnal referensi.
8. Parameter model Bouc-Wen seperti *gamma*, *beta*, *n* dan parameter lainnya konstan untuk model (HD1 – HD4) kecuali rasio frekuensi dan kekakuan *damper* yang divariasikan.

9. Parameter Bouc-Wen seperti, *gamma* dan *beta* pada HD5 mengikuti jurnal referensi.

1.4 Keaslian Penelitian

Meskipun studi tentang *Tuned Mass Damper* (TMD) telah banyak dilakukan, penelitian ini menawarkan sejumlah inovasi dengan aspek orisinalitas sebagai berikut:

1. Analisis mengenai pengaruh variasi rasio frekuensi terhadap efektivitas NTMD model Bouc-Wen berbasis model, masih terbatas sehingga penelitian ini memberikan kajian komprehensif tentang dampak rasio frekuensi terhadap perilaku histeresis dan kinerja NTMD.
2. Studi ini mengimplementasikan material Bouc-Wen dalam pemodelan NTMD menggunakan OpenSees yang belum banyak dieksplorasi dalam literatur sebelumnya.
3. Penelitian ini mengkaji kinerja NTMD model Bouc-Wen tanpa efek *pinching* terhadap gempa Kobe, memberikan pemahaman tentang interaksi parameter model dengan karakteristik frekuensi dan intensitas gempa tersebut.
4. Relevansi untuk Indonesia sebagai negara rawan gempa, di mana penerapan sistem kontrol getaran NTMD masih terbatas. Hasil studi ini dapat berkontribusi pada pengembangan desain NTMD yang lebih efektif untuk kondisi seismik di Indonesia.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis:
 - a. Memperdalam pemahaman perilaku NTMD model Bouc-Wen melalui analisis pengaruh variasi rasio frekuensi terhadap reduksi respons struktur.
 - b. Menyediakan prosedur pemodelan NTMD model Bouc-Wen dalam OpenSees sebagai referensi metodologis untuk studi serupa.

2. Manfaat Praktis:

- a. Memberikan rekomendasi rasio frekuensi optimal NTMD model Bouc-Wen untuk struktur yang tereksitasi gempa berkategori mirip Kobe.
- b. Mengungkap mekanisme disipasi energi melalui analisis perilaku histeresis NTMD, relevan untuk pengembangan sistem proteksi gempa di wilayah rawan seperti Indonesia.

1.6 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi rasio frekuensi (0,80; 0,95; 1,00; 1,05; 2,00) terhadap respons perpindahan struktur (*displacement-time*) yang dikenai beban dinamik gempa Kobe.
2. Mengevaluasi efektivitas reduksi perpindahan maksimum struktur pada berbagai rasio frekuensi NTMD model Bouc-Wen (0,80; 0,95; 1,00; 1,05; 2,00) akibat beban dinamik gempa Kobe.
3. Mengevaluasi efektivitas reduksi gaya geser dasar maksimum struktur pada berbagai rasio frekuensi NTMD model Bouc-Wen (0,80; 0,95; 1,00; 1,05; 2,00) akibat beban dinamik gempa Kobe.
4. Menganalisis perilaku kurva histeresis gaya-perpindahan relatif NTMD model Bouc-Wen pada berbagai rasio frekuensi (0,80; 0,95; 1,00; 1,05; 2,00) akibat beban dinamik gempa Kobe.

1.7 Sistematika Penulisan

Struktur laporan perlu disusun secara sistematis agar keseluruhan isi laporan dapat dipahami dengan mudah. Laporan ini menggunakan sistematika penulisan sebagai berikut:

1. Bagian Awal

Bagian awal laporan mencakup halaman judul, halaman pengesahan dosen pembimbing, halaman pengesahan tim penguji, halaman pernyataan, intisari, *abstract*, kata pengantar, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar, daftar lampiran.

2. Bagian Utama

Bagian utama laporan terdiri dari 6 (enam) bab utama, yaitu:

- a. Bab I Pendahuluan: memuat latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, keaslian penelitian, manfaat penelitian, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan.
- b. Bab II Kajian Pustaka: memuat tinjauan penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan *Nonlinear Tuned Mass Damper* dan model Bouc-Wen, baik penelitian berbasis eksperimen maupun numerik.
- c. Bab III Landasan Teori: memuat paparan teori-teori sebelumnya yang berkaitan dengan konsep *Tuned Mass Damper*, model histeresis Bouc-Wen, respons struktur, dan perangkat lunak OpenSees.
- d. Bab IV Metodologi Penelitian: memuat tahapan-tahapan penelitian dari awal hingga mencapai kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian.
- e. Bab V Hasil dan Pembahasan: memuat paparan hasil simulasi dan analisis yang jelas disertai dengan tabel, grafik, dan diagram yang mendukung pembahasan.
- f. Bab VI Kesimpulan dan Saran: memuat ringkasan yang diperoleh dari hasil penelitian dan pembahasan sesuai dengan tujuan penelitian serta menyampaikan keterbatasan penelitian yang ditujukan kepada para peneliti di bidang Struktur yang ingin melanjutkan atau mengembangkan penelitian ini.

3. Bagian Akhir

Bagian akhir memuat daftar pustaka yang menjadi referensi pendukung untuk penelitian ini.