

TESIS
STUDI PARAMETRIK PERILAKU *NONLINEAR TUNED*
***MASS DAMPER* DENGAN MODEL BOUC-WEN**
MENGGUNAKAN OPENSEES



MATHIAS SILOAM KUNCORO JATI
NPM: 235119743

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
2025



FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

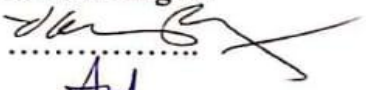
PERSETUJUAN TESIS

Nama : Mathias Siloam Kuncoro Jati
Nomor Mahasiswa : 235119743
Konsentrasi : Struktur
Judul Tesis : Studi Parametrik Perilaku *Nonlinear Tuned Mass Damper* Dengan Model Bouc-Wen Menggunakan OpenSees

Nama Pembimbing
Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M. Eng., Ph.D.

Anggun Tri Atmajayanti, S.T., M. Eng., Ph.D.

Tanggal
24/08/2025
22/08/2025

Tanda Tangan





FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : Mathias Siloam Kuncoro Jati
Nomor Mahasiswa : 235119743
Konsentrasi : Struktur
Judul Tesis : Studi Parametrik Perilaku *Nonlinear Tuned Mass Damper* Dengan Model Bouc-Wen Menggunakan OpenSees

Nama Penguji	Tanggal	Tanda Tangan
Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M. Eng., Ph.D.	11/09/2025	
Anggun Tri Atmajayanti, S.T., M. Eng., Ph.D.	11/09/2025	
Prof. Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M. Eng., IPU, ASEAN Eng.	11/09/2025	



Mengetahui,

Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil

Dr. Ir. Nectaria Putri Pramesti, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng.

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mathias Siloam Kuncoro Jati
NPM : 235119743
Program Studi : Magister Teknik Sipil
Tempat/Tanggal Lahir : Magelang, 8 Oktober 2002

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Laporan Tesis yang berjudul : “**STUDI PARAMETRIK PERILAKU *NONLINEAR TUNED MASS DAMPER* DENGAN MODEL BOUC-WEN MENGGUNAKAN OPENSEES**” adalah benar-benar karya asli saya. Seluruh sumber yang menjadi rujukan dalam tesis ini telah saya cantumkan sesuai dengan kaidah akademik yang berlaku. Apabila terdapat kesalahan dan kekeliruan di dalamnya sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya dan saya bersedia dikenakan sanksi apabila terbukti melakukan pelanggaran hukum.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Yogyakarta, 13 Agustus 2025

Penyusun



Mathias Siloam Kuncoro Jati

INTISARI

Studi parametrik ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi rasio frekuensi terhadap kinerja *Nonlinear Tuned Mass Damper* (NTMD) model Bouc-Wen tanpa *pinching* dalam mereduksi respons seismik struktur menggunakan perangkat lunak OpenSees. Penelitian dilakukan dengan *time history analysis* menggunakan eksitasi gempa Kobe terhadap lima variasi rasio frekuensi (0,8; 0,95; 1,0; 1,05; dan 2,0). Aspek yang dianalisis meliputi, perpindahan puncak struktur, gaya geser dasar maksimum, karakteristik loop histeresis, dan kapasitas disipasi energi sistem NTMD.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi rasio frekuensi berpengaruh secara signifikan terhadap amplitudo dan fase waktu perpindahan puncak struktur. Konfigurasi dengan rasio frekuensi mendekati frekuensi natural struktur ($\alpha = 0,95$ dan $\alpha = 1,00$) memberikan kinerja optimal dengan reduksi perpindahan puncak masing-masing sebesar 44,52% dan 33,99%, serta reduksi gaya geser dasar sebesar 44,57% dan 33,82%. Pola reduksi gaya geser dasar menunjukkan kecenderungan yang sejalan dengan reduksi perpindahan maksimum. Semua konfigurasi menghasilkan loop histeresis berbentuk *elips* tanpa efek *pinching* dengan total energi disipasi berkisar antara 21,13-32,15 Joule.

Penelitian ini mengkonfirmasi bahwa optimasi rasio frekuensi NTMD sangat menentukan efektivitas sistem dalam mengurangi respons dinamik struktur akibat beban seismik. Penyetelan yang tepat pada nilai mendekati frekuensi natural struktur menghasilkan performa peredaman optimal, sedangkan penyetelan yang terlalu rendah atau berlebihan menurunkan efektivitas sistem kontrol struktur.

Kata kunci: NTMD, Bouc-Wen, rasio frekuensi, OpenSees, gempa Kobe, analisis *time history*

ABSTRACT

This parametric study aims to analyze the effect of frequency ratio variations on the performance of Nonlinear Tuned Mass Damper (NTMD) with Bouc-Wen without pinching model in reducing seismic response of structures using OpenSees software. The research was conducted through time history analysis using Kobe earthquake excitation with five frequency ratio variations (0.8, 0.95, 1.0, 1.05, and 2.0). The analyzed aspects include peak structural displacement, maximum base shear force, hysteresis loop characteristics, and energy dissipation capacity of the NTMD system.

The results demonstrate that frequency ratio variations significantly influence the amplitude and timing of peak structural displacement. Configurations with frequency ratios approaching the natural frequency of the structure ($\alpha = 0.95$ and $\alpha = 1.00$) provide optimal performance with peak displacement reductions of 44.52% and 33.99%, respectively, and base shear reductions of 44.57% and 33.82%. The pattern of base shear reduction shows consistent trends with maximum displacement reduction. All configurations produce elliptical hysteresis loops without pinching effects, with total energy dissipation ranging from 21.13 to 32.15 Joules.

This study confirms that NTMD frequency ratio optimization is crucial in determining system effectiveness in reducing dynamic structural response under seismic loading. Proper tuning at values close to the structural natural frequency yields optimal damping performance, while excessively low or high tuning reduces the effectiveness of the structural control system.

Keywords: *NTMD, Bouc-Wen, frequency ratio, OpenSees, Kobe earthquake, time history analysis*

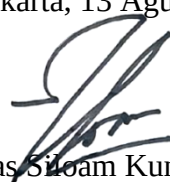
KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan Tesis dengan judul "Studi Parametrik Perilaku *Nonlinear Tuned Mass Damper* Dengan Model Bouc-Wen Menggunakan OpenSees" dapat diselesaikan dengan baik. Tesis ini merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik Sipil pada Program Pascasarjana Fakultas Teknik. Penyelesaian penelitian dan penyusunan laporan Tesis ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penyelesaian Tesis ini.
2. Anggun Tri Atmajayanti, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan masukan dalam penyelesaian Tesis ini.
3. Ryan Wijaya dan Jessica Natalia Cristanti selaku teman seperjuangan yang telah memberikan motivasi dan dukungan positif selama proses penelitian dan penyusunan laporan Tesis.
4. Theresia Istiani dan Stefanus Sunardi selaku orang tua yang senantiasa memberikan doa, motivasi serta dukungan moril dan material.
5. Lusiya Iswati, Gabriella Stefany dan Yunitza Indah Trifenasari yang selalu memberikan dukungan secara moral.

Demikian yang dapat penulis sampaikan. Penulis berharap Tesis ini dapat memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan di bidang Teknik Sipil. Kritik dan saran dari berbagai pihak sangat dibutuhkan untuk penyempurnaan penelitian serupa di masa yang akan datang.

Yogyakarta, 13 Agustus 2025



Mathias Siloam Kuncoro Jati

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN TESIS	ii
PENGESAHAN TESIS.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
INTISARI	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Keaslian Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Tujuan Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	7
2.1 Analisis Numerik <i>Tuned Mass Damper</i>	7
2.2 Pengaruh Rasio Massa Terhadap Kinerja TMD.....	7

2.3	Efektivitas <i>Nonlinear Tuned Mass Damper</i>	9
2.4	Perbandingan TMD Linear dan TMD Nonlinear	13
BAB III LANDASAN TEORI.....		16
3.1	Konsep <i>Tuned Mass Damper</i> (TMD).....	16
3.2	<i>Nonlinear</i> TMD dan Model Histeresis Bouc-Wen	19
3.3	Respons Struktur	21
3.4	OpenSees.....	21
BAB IV METODE PENELITIAN		29
4.1	Kajian Literatur.....	29
4.2	Diagram Alir Penelitian	30
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		36
5.1	Respons Perpindahan Struktur.....	36
5.1.1	Respons Struktur Tanpa <i>Damper</i> (<i>Baseline</i>).....	36
5.1.2	Respons Struktur dengan <i>Damper</i>	37
5.2	Reduksi Simpangan Puncak Struktur	39
5.3	Reduksi Gaya Dasar Struktur	41
5.4	Perilaku Histeresis Hubungan Antara Gaya dan Perpindahan Relatif	42
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		48
6.1	Kesimpulan.....	48
6.2	Saran	49
DAFTAR PUSTAKA.....		51
LAMPIRAN.....		55

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Parameter n-TVA.....	10
Tabel 2. 2 Parameter HVA.....	11
Tabel 2. 3 Parameter HTMD	14
Tabel 4. 1 Parameter Rencana <i>Nonlinear Tuned Mass Damper</i>	31
Tabel 5. 1 Rekapitulasi Respons Perpindahan Puncak Struktur	38
Tabel 5. 2 Rekapitulasi Reduksi Simpangan Maksimum Struktur	39
Tabel 5. 3 Rekapitulasi Reduksi Gaya Dasar Maksimum Struktur	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Aplikasi TMD pada Turbin Angin	8
Gambar 3. 1 Ilustrasi TMD pada Sistem SDOF	16
Gambar 3. 2 Hubungan gaya-perpindahan Material BWBN.....	28
Gambar 4. 1 Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 4. 2 Rencana Pemodelan Struktur dengan NTMD.....	32
Gambar 4. 3 Riwayat Waktu Percepatan Tanah Stasiun Abeno	33
Gambar 4. 4 Percepatan Gempa Kobe Stasiun Abeno, Jepang	34
Gambar 5. 1 Grafik Respons Perpindahan Struktur Tanpa Peredam.....	36
Gambar 5. 2 Grafik Perbandingan Respons Perpindahan Struktur	37
Gambar 5. 3 Hubungan Antara Rasio Frekuensi dan Reduksi Simpangan Maksimum	40
Gambar 5. 4 Hubungan Antara Rasio Frekuensi dan Reduksi Gaya Dasar Maksimum	41
Gambar 5. 5 Kurva Histeresis Gaya-Perpindahan Relatif HD1	43
Gambar 5. 6 Kurva Histeresis Gaya-Perpindahan Relatif HD2	44
Gambar 5. 7 Kurva Histeresis Gaya-Perpindahan Relatif HD3	45
Gambar 5. 8 Kurva Histeresis Gaya-Perpindahan Relatif HD4	46
Gambar 5. 9 Kurva Histeresis Gaya-Perpindahan Relatif HD5	47

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Program OpenSees – Model SDOF (*Baseline*)
- Lampiran 2. Program OpenSees – Model 2DOF-HD1
- Lampiran 3. Program OpenSees – Model 2DOF-HD2
- Lampiran 4. Program OpenSees – Model 2DOF-HD3
- Lampiran 5. Program OpenSees – Model 2DOF-HD4
- Lampiran 6. Program OpenSees – Model 2DOF-HD5
- Lampiran 7. Perhitungan Energi Terdisipasi