

TESIS

**ANALISIS NONLINEAR SISTEM DERAJAT KEBEBASAN TUNGGAL
DENGAN METODE SPEKTRA TITIK LULUH**



OLEH :

GOLDELFRIIDUS ALFREDO ABANI

No. Mhs: 205103192

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
TAHUN 2023**



FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PERSETUJUAN TESIS

Nama : GOLDELFRIDUS ALFREDO ABANI
Nomor Mahasiswa : 205103192/PS/MTS
Konsentrasi : STRUKTUR
Judul Tesis : ANALISIS NONLINEAR SISTEM DERAJAT
KEBEBASAN TUNGGAL DENGAN METODE
SPEKTRA TITIK LULUH

Dosen Pembimbing

Tanggal

Tanda Tangan

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

08/02/2023

PERNYATAAN

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

ANALISIS NONLINEAR SISTEM DERAJAT KEBEBASAN TUNGGAL DENGAN METODE SPEKTRA TITIK LULUH

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 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, 10 Februari 2023

Yang membuat pernyataan



Goldelfridus Alfredo Abani



FAKULTAS TEKNIK


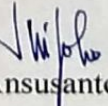
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : GOLDELFRIDUS ALFREDO ABANI
Nomor Mahasiswa : 205103192/PS/MTS
Konsentrasi : STRUKTUR
Judul Tesis : ANALISIS NONLINEAR SISTEM DERAJAT
KEBEBASAN TUNGGAL DENGAN METODE
SPEKTRA TITIK LULUH

Dosen Penguji	Tanggal	Tanda Tangan
Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng, Ph.D.	08/02/2023	
Dr. Ir. FX. Junaedi Utomo, M.Eng	5/2/23	
Prof. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng	07/02/2023	


Ketua Program Studi

Dr. Ir. Dwiwijoko Anusanto, M.T
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis sampaikan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan segala rahmad, bimbingan serta perlindungan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tesis ini dengan baik. Penulisan Laporan Tesis yang berjudul **“ANALISIS NONLINEAR SISTEM DERAJAT KEBEBASAN TUNGGAL DENGAN METODE SPEKTRA TITIK LULUH”**. Penyusunan Laporan Tesis ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar jenjang pendidikan tinggi Program Strata-2 (S-2) di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Penulis berharap melalui laporan Tesis ini semakin menambah dan memperdalam ilmu pengetahuan dalam bidang Teknik Sipil baik oleh penulis maupun pihak lain.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Laporan Tesis ini. Ucapan tersebut ditujukan kepada :

1. Bapak Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing yang telah dengan sabar meluangkan waktu untuk memberi petunjuk dan membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Keluarga tercinta yang senantiasa memberikan dukungan doa juga inspirasi serta semangat kepada penulis, sehingga Laporan Tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Kepada teman-teman seangkatan MTS UAJY. Terima kasih atas persahabatan dan kebersamaan yang telah kita jalani hingga saat ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan Laporan Tesis ini masih jauh dari kata kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki. Saran

dan kritik yang positif dan bersifat membangun merupakan sesuatu yang diharapkan demi kesempurnaan tulisan yang akan datang.

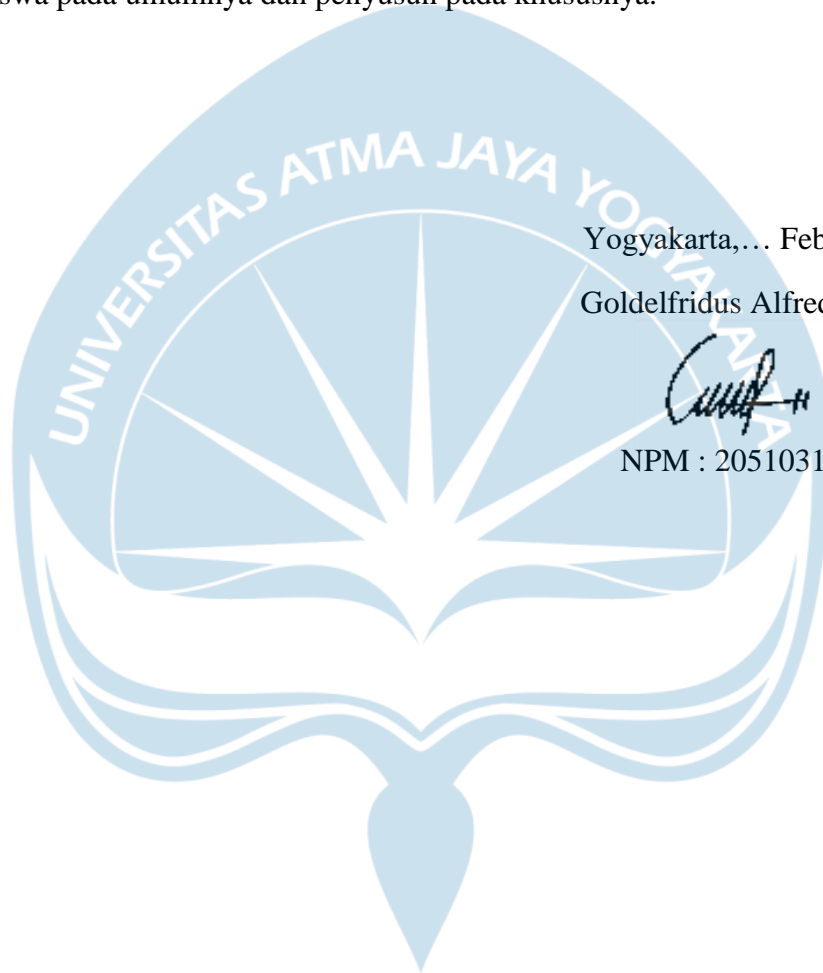
Akhir kata semoga Laporan Tesis ini dapat bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa pada umumnya dan penyusun pada khususnya.

Yogyakarta,... Februari 2023

Goldelfridus Alfredo Abani



NPM : 205103192



DAFTAR ISI

PERSETUJUAN TESIS	ii
PERNYATAAN.....	iii
PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
LAMPIRAN.....	xi
DAFTAR NOTASI.....	xii
INTISARI.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Studi Kasus.....	6
2.2 Peneliti Sebelumnya.....	7

BAB III LANDASAN TEORI.....	11
3.1 Analisis Riwayat Waktu Nonlinier	11
3.2 Hubungan Daktilitas Dan Faktor Pengurangan Kekuatan	13
3.2.1 Daktilitas	13
3.2.2 Faktor Pengurangan Kekuatan.....	14
3.3 Metode Spektra Titik Luluh	16
3.3.1 Estimasi Perpindahan Saat Luluh (<i>Yield Displacement</i>)	19
3.3.2 Penentuan Perpindahan Puncak	21
3.3.3 Geser Dasar Dan Sistem Berderajat Kebebasan Tunggal Ekivalen	23
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	27
4.1 Prosedur Analisis.....	27
4.2 Modelisasi Struktur	30
4.3 Variabel Analisis	32
4.4 Prosedur Kerja.....	35
BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN	39
5.1 Variabel Input.....	39
5.2 Daktilitas	40
5.3 Faktor Pengurangan Kekuatan	44
5.4 Penentuan Geser Dasar Struktur Dengan Metode Spektra Titik Luluh	48
BAB VI KESIMPULAN	50
6.1 Kesimpulan.....	50
6.2 Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA	53

DAFTAR TABEL

3.1	Parameter faktor amplifikasi Nassar dan Krawinkler.....	16
3.2	Estimasi rasio perpindahan luluh.....	20
3.3	Daktilitas sistem ijin berdasarkan FEMA P-750	22
3.4	Koefisien massa ragam pertama α_1 berdasarkan FEMA P-750	25
4.1	Daftar rekaman gerakan tanah gempa	31
5.1	Daktilitas struktur pilar jembatan yang dikenai beban gempa.....	44
5.2	Perhitungan hubungan $R-\mu-T$ dengan metode Nassar dan Krawinkler (1991)	46
5.3	Rekap analisis hasil dengan metode spektra titik luluh.....	49
6.1	Rekap analisis hasil dinamik riwayat waktu NONLIN	50
6.2	Rekap analisis hasil dengan metode spektra titik luluh.....	50
6.3	Perbandingan hasil antara metode spektra titik luluh, metode riwayat waktu, dan metode iterasi.	51

DAFTAR GAMBAR

2.1	Pilar kolom sistem derajat kebebasan tunggal (Chopra, 2001)	7
3.1	Sistem SDOF mengalami percepatan tanah	12
3.2	Model histeresis bilinear yang digunakan dalam penelitian ini.....	12
3.3	Respons spektra pada kondisi elastik dan inelastik	15
3.4	Hubungan Beban-Perpindahan pada Sistem Bilinier (Aschheim dan Black, 2000)	17
3.5	Spektra Titik Luluh untuk Gempa Elcentro	19
4.1	Alur Pengerjaan Penelitian	29
4.2	Hubungan Beban-Perpindahan pada Sistem Bilinier	33
4.3	Alur Kerja Simulasi	35
4.4	Contoh grafik yang didapat dari hasil run program NONLIN dalam keadaan nonlinear, dengan redaman 5%.....	37
5.1	Model histeresis bilinear Gempa Elcentro	41
5.2	Model sejarah waktu yang dihitung Gempa Elcentro.....	41
5.3	Model histeresis bilinear Gempa Kobe.....	42
5.4	Model sejarah waktu yang dihitung Gempa Kobe	42
5.5	Model histeresis bilinear Gempa San Fernando	43
5.6	Model sejarah waktu yang dihitung Gempa Sanfernando	43
5.7	Respon spektra permukaan Gempa Elcentro	45
5.8	Kurva R_{μ} - μ -T dengan metode Nassar dan Krawinkler.....	47

LAMPIRAN

Lampiran I: Input Data Program Sistem NONLIN Versi 8.00 Sistem Derajat Kebebasan Tunggal (SDOF)

Lampiran II: Output Hasil Program NONLIN

A. Hasil Analisis Riwayat Waktu

B. Plot Histeresis

C. Ringkasan Hasil yang Dihitung

Lampiran III: Rekaman Gerakan Tanah dan Respon Spektrum

A. Rekaman Gerakan Tanah dan Respon Spektrum Gempa Elcentro

B. Rekaman Gerakan Tanah dan Respon Spektrum Gempa Kobe

C. Rekaman Gerakan Tanah dan Respon Spektrum Gempa San Fernando

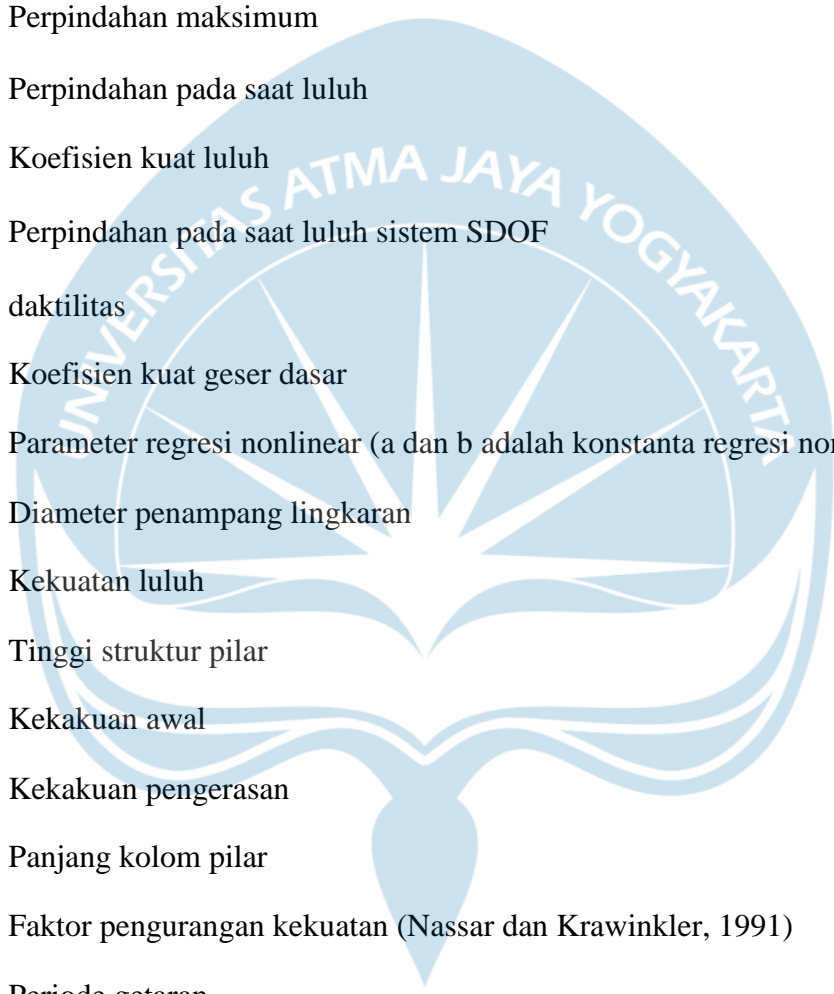
LAMPIRAN IV: Respon Spektra Titik Luluh

A. Kurva $R_{\mu}-\mu-T$ dengan metode Nassar dan Krawinkler Gempa Elcentro. Gempa Elcentro

B. Kurva $R_{\mu}-\mu-T$ dengan metode Nassar dan Krawinkler Gempa Kobe

C. Kurva $R_{\mu}-\mu-T$ dengan metode Nassar dan Krawinkler Gempa San Fernand

DAFTAR NOTASI



Γ_1	Faktor partisipasi ragam pertama.
α_1	Koefisien massa ragam pertama
Δ_u	Perpindahan maksimum
Δ_y	Perpindahan pada saat luluh
C_y^*	Koefisien kuat luluh
Δ_y^*	Perpindahan pada saat luluh sistem SDOF
μ	daktilitas
C_y	Koefisien kuat geser dasar
C	Parameter regresi nonlinear (a dan b adalah konstanta regresi nonlinier)
D	Diameter penampang lingkaran
F_y	Kekuatan luluh
h	Tinggi struktur pilar
K_1	Kekakuan awal
K_2	Kekakuan pengerasan
L	Panjang kolom pilar
R_μ	Faktor pengurangan kekuatan (Nassar dan Krawinkler, 1991)
T^*	Periode getaran
V_y	Desain gaya geser dasar
W	Massa Struktur
α	Kekakuan paska luluh
ε_y	Regangan leleh tulangan longitudinal.
ϕ_y	Kelengkungan leleh efektif

INTISARI

Seiring dengan perkembangan Zaman analisis struktur untuk kondisi inelastik sangatlah penting dan telah banyak dikembangkan oleh para peneliti. Metode spektra titik luluh (yield point spectra) merupakan grafik yang menghubungkan antara perpindahan pada saat luluh dengan koefisien kuat luluh pada daktilitas konstan. Berdasarkan latar belakang peneliti bertujuan untuk melakukan evaluasi parameter hubungan faktor pengurangan kekuatan respon yang sehubungan dengan daktilitas dengan bantuan spektrum permintaan kekuatan inelastis. Analisis riwayat waktu parameter model histeretik bilinear dengan masa (M), kekakuan awal (K_1), kekakuan pengerasan (K_2) dan kekuatan luluh (F_y) digunakan untuk memperoleh target perpindahan perilaku inelastis sistem derajat kebebasan tunggal (pilar jembatan).

Metode yang digunakan dalam analisis ini yaitu metode spektra titik luluh. Metode analisis riwayat waktu dan metode iterasi Chopra dan Goel (2001) sebagai perbandingan. Hasil dari analisis ini menunjukkan bahwa, analisis nonlinear dengan program NONLIN Versi 8.00 menghasilkan nilai perpindahan luluh (Δ_y) = 0,088 mm, nilai perpindahan maksimum (Δ_m) = 0,112 mm, dan daktilitas struktur (μ) = 1,27. Hasil analisis nonlinear statik dengan metode spektra titik luluh menghasilkan nilai perpindahan luluh (Δ_y) = 0,0882 mm, nilai perpindahan maksimum (Δ_m) = 0,18 mm, dan daktilitas struktur (μ) = 2,04. Hasil analisis dengan metode iterasi Chopra dan Goel (2001) menghasilkan nilai perpindahan luluh (Δ_y) = 0,0882 mm, nilai perpindahan maksimum (Δ_m) = 0,268 mm, dan daktilitas struktur (μ) = 2,98, sehingga perlu adanya penyesuaian persamaan parameter perhitungan agar memperoleh hasil sesuai dengan keadaan struktur (pilar jembatan).

Kata kunci: sistem derajat kebebasan tunggal, metode spektra titik luluh, metode dinamik riwayat waktu, target perpindahan.

ABSTRACT

Along with the development of the times, structural analysis for inelastic conditions is very important and has been developed by many researchers. The yield point spectra method is a graph that relates the displacement at yield to the coefficient of yield strength at constant ductility. Based on this background, the researcher aims to evaluate the relational parameters of the reduction factor of the response strength associated with ductility with the help of an inelastic strength demand spectrum. Time history analysis of bilinear hysteretic model parameters with mass (M), initial stiffness (K_1), hardening stiffness (K_2) and yield strength (F_y) were used to obtain the displacement target of the inelastic behavior of a single degree of freedom system (bridge pillar).

The method used in this analysis is the yield point spectra method. Time history analysis method and Chopra and Goel's (2001) iteration method for comparison. The results of this analysis show that nonlinear analysis using the NONLIN Version 8.00 program yields a yield displacement value (Δ_y) = 0.088 mm, a maximum displacement value (Δ_m) = 0.112 mm, and structural ductility (μ) = 1.27. The results of static nonlinear analysis using the yield point spectra method yield displacement values (Δ_y) = 0.0882 mm, maximum displacement values (Δ_m) = 0.18 mm, and structural ductility (μ) = 2.04. The results of the analysis using the Chopra and Goel (2001) iteration method yield displacement values (Δ_y) = 0.0882 mm, maximum displacement values (Δ_m) = 0.268 mm, and structural ductility (μ) = 2.98, so it is necessary to adjust the equation calculation parameters in order to obtain results in accordance with the state of the structure (bridge pillars).

Keywords: single degree of freedom system, yield point spectra method, dynamic time history method, target displacement.