

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR PERNYATAAN .....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR TABEL .....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
INTISARI.....	xv
<i>ABSTRACT</i> .....	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Analisis Respon Dinamis Struktur .....	4
2.2 <i>Experimental Modal Analysis</i> (EMA).....	4
2.3 <i>Operational Modal Analysis</i> (OMA) .....	5
2.4 Pengembangan Perangkat Lunak Analisis Modal berbasis SSI.....	7
2.5 Kebaruan Penelitian .....	8
BAB 3 LANDASAN TEORI .....	11
3.1 Struktur Jembatan.....	11
3.2 Tipe Jembatan .....	11
3.3 Karakteristik Dinamik .....	12
3.4 Frekuensi Alami Jembatan .....	13
3.5 Rasio Redaman.....	15
3.6 Persamaan Dinamik Struktur .....	15
3.7 Fast Fourier Transform.....	17
3.8 Stochastic Subspace Identification.....	18
3.8.1 Formulasi Waktu Diskret .....	18
3.8.2 Matriks Block Henkel .....	19
3.8.3 Proyeksi.....	19

3.8.4 Kalman States .....	20
3.8.5 Perkiraan Sistem Matriks .....	21
3.8.6 Analisis Modal .....	21
3.9. Analisis MAC .....	23
BAB 4 METODE PENELITIAN .....	25
4.1 Lokasi Penelitian .....	25
4.2 Prosedur Penelitian .....	25
4.3 Alat dan Data Penelitian .....	27
4.4 Parameter Penelitian .....	29
4.5 Metode Analisis PyOma .....	30
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN .....	31
5.1. Frekuensi Alami Jembatan Tol Layang A.P. Pettarani Makassar .....	31
5.2. Data Akselerometer dalam keadaan <i>Operational</i> .....	31
5.3. Analisis metode FFT .....	35
5.4. Analisis metode SSI dengan PyOma .....	43
10.4.1. Tampilan Awal Program PyOma .....	43
10.4.2. Input Data .....	44
10.4.3. <i>Input</i> koneksi DOF dan Geometri .....	45
10.4.4. Proses Data .....	46
10.4.5. Hasil Analisis Metode SSI .....	46
5.5. Analisis SSI dengan ARTeMIS .....	60
10.5.1. Input Data .....	60
10.5.3. Sesuaikan Data .....	61
10.5.4. Proses Sinyal dan Filter Data .....	62
10.5.5. Hasil Proses Sinyal .....	63
10.5.6. Analisis SSI dengan ARTeMIS .....	64
5.6. Analisis metode Numerik ( <i>Software</i> Midas Civil) .....	76
5.7. Analisis Rasio Redaman Metode Penurunan Logaritmik .....	79
5.8. Perbandingan Hasil Analisis SSI PyOma dengan FFT .....	81
5.9. Perbandingan hasil Analisis SSI PyOma dengan SSI ARTeMIS .....	82
5.10. Perbandingan Hasil Analisis SSI dengan Numerik Midas Civil .....	84
5.11. Perbandingan Hasil Damping Rasio Analisis SSI dengan Logaritmik .....	87
BAB 6 KESIMPULAN .....	89



**Analisis Properti Dinamik Jembatan Box Girder Bentang 40 Meter Dengan Metode Subspace Stochastic Identification (SSI)**

Muhammad Akbar, Akhmad Aminullah, ST., MT., Ph.D.; Ir. Ali Awaludin, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU., ACPE.

Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

6.1. Kesimpulan.....	89
6.2. Saran.....	89
DAFTAR PUSTAKA.....	90
LAMPIRAN 1.....	94
LAMPIRAN 2.....	125

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Contoh eksitasi pada pengujian menggunakan OMA .....	5
Tabel 2.2 kebaruan penelitian.....	8
Tabel 3.1 Nilai minimum rasio redaman berdasarkan jenis jembatan dan panjang bentang .....	15
Tabel 5.1 Frekuensi pada hasil analisis <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) .....	42
Tabel 5.2 Hasil frekuensi alami mode pertama <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) dengan data random.....	43
Tabel 5.3 Frekuensi Alami dan Rasio Redaman dengan metode SSI Cov dan SSI Data. ..	48
Tabel 5.4 Frekuensi Alami dan Rasio Redaman dengan metode SSI Cov dan SSI Data. ..	51
Tabel 5.5 Frekuensi Alami dan Rasio Redaman dengan metode SSI Cov dan SSI Data. ..	54
Tabel 5.6 Frekuensi Alami dan Rasio Redaman dengan metode SSI Cov dan SSI Data. ..	57
Tabel 5.7 Hasil analisis SSI Pyoma dengan menggunakan data <i>random</i> .....	60
Tabel 5.8 Hasil frekuensi dari data 5 Mei 2025 pukul 08.00.00 menggunakan metode SSI ARTeMIS. ....	67
Tabel 5.9 Hasil frekuensi dari data 5 Mei 2025 pukul 13.15.00 menggunakan metode SSI ARTeMIS. ....	70
Tabel 5.10 Hasil frekuensi dari data 7 Mei 2025 pukul 19.57.00 menggunakan metode SSI ARTeMIS. ....	73
Tabel 5.11 Hasil frekuensi dari data 15 Mei 2025 pukul 02.53.00 menggunakan metode SSI ARTeMIS. ....	76
Tabel 5.12 Hasil frekuensi alami dan partisipasi massa dari pemodelan numerik menggunakan MIDAS Civil.....	77
Tabel 5.13 Hasil damping rasio dengan metode logaritmik.....	81
Tabel 5.14 hasil perbandingan analisis SSI dengan FFT.....	81
Tabel 5.15 Hasil perbandingan analisis FFT dengan SSI PyOma menggunakan data <i>random</i> . .....	82
Tabel 5.16 Perbandingan hasil Frekuensi tiap Moda pada data 5 Mei 2025 pukul 08.00.00 menggunakan SSI PyOma dengan SSI ARTeMIS.....	83
Tabel 5.17 Perbandingan hasil Frekuensi tiap Moda pada data 5 Mei 2025 pukul 13.15.00 menggunakan SSI PyOma dengan SSI ARTeMIS.....	83
Tabel 5.18 Perbandingan hasil Frekuensi tiap Moda pada data 7 Mei 2025 pukul 19.57.00 menggunakan SSI PyOma dengan SSI ARTeMIS.....	83

Tabel 5.19 Perbandingan hasil Frekuensi tiap Moda pada data 15 Mei 2025 pukul 02.53.00 menggunakan SSI PyOma dengan SSI ARTeMIS.....	84
Tabel 5.20 Perbandingan Hasil Frekuensi pada data 5 mei 2025 Pukul 08.00.00 menggunakan Analisis SSI PyOma dengan Numerik Midas Civil .....	84
Tabel 5.21 Perbandingan Hasil Frekuensi pada data 5 mei 2025 Pukul 13.15.00 menggunakan Analisis SSI PyOma dengan Numerik Midas Civil .....	85
Tabel 5.22 Perbandingan Hasil Frekuensi pada data 7 mei 2025 Pukul 19.57.00 menggunakan Analisis SSI PyOma dengan Numerik Midas Civil .....	85
Tabel 5.23 Perbandingan Hasil Frekuensi pada data 15 mei 2025 Pukul 02.53.00 menggunakan Analisis SSI PyOma dengan Numerik Midas Civil.....	85
Tabel 5.24 Perbandingan hasil Rasio Redaman Moda pertama tiap data pada menggunakan SSI PyOma dengan Logaritmik.....	87

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tiga bentuk mode vertikal pertama yang diidentifikasi oleh algoritma yang berbeda untuk jembatan bentang tunggal, B1(Salehi dkk., 2021).....	6
Gambar 2.2 Perbandingan Mode <i>Shape</i> hasil analitik dengan Aktual(Khoeri dkk., 2024) ..	7
Gambar 2.3Tampilan grafis antar muka pada PyOMA_GUI (Pasca dkk., 2022).....	8
Gambar 3.1 Grafik frekuensi alami berdasarkan panjang bentang jembatan (Vaza Herry , Rulli R. Irawan, Gatot Sukmara, 2022).....	14
Gambar 3.2 Hubungan frekuensi alami dengan puncak akselerasi terhadap aspek kenyamanan pada aktivitas manusia (ISO 2631-2, 2003).....	14
Gambar 4.1 Lokasi Penelitian di Jembatan Layang Tol A.P. Pettarani Makassar (Sumber Pribadi).....	25
Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian.....	27
Gambar 4.3Titik penempatan sensor Akselerometer Jembatan Tol layan A.P. Pettarani...	28
Gambar 4.4 Potongan dari hasil perekaman vidio di lokasi jembatan tol A.P.Pettarani Makassar.....	28
Gambar 4.5 Geometri penampang eksisting.....	29
Gambar 4.6 Flowchart Pyoma (Pasca dkk., 2022).....	30
Gambar 5.1 Data rekaman sensor akselerometer pukul 08.00.00-08.01.00 (ACC 1).....	32
Gambar 5.2 Data rekaman sensor akselerometer pukul 08.00.00-08.01.00 (ACC 2).....	32
Gambar 5.3 Data rekaman sensor akselerometer pukul 08.00.00-08.01.00 (ACC 3).....	32
Gambar 5.4 Data rekaman sensor akselerometer pukul 13.15.00-13.16.00 (ACC 1).....	33
Gambar 5.5 Data rekaman sensor akselerometer pukul 13.15.00-13.16.00 (ACC 2).....	33
Gambar 5.6 Data rekaman sensor akselerometer pukul 13.15.00-13.16.00 (ACC 3).....	33
Gambar 5.7 Data rekaman sensor akselerometer pukul 19.57.00-19.58.00 (ACC 1).....	34
Gambar 5.8 Data rekaman sensor akselerometer pukul 19.57.00-19.58.00 (ACC 2).....	34
Gambar 5.9 Data rekaman sensor akselerometer pukul 19.57.00-19.58.00 (ACC 3).....	34
Gambar 5.10 Data rekaman sensor akselerometer pukul 02.53.00-02.54.00 (ACC 1).....	35
Gambar 5.11 Data rekaman sensor akselerometer pukul 02.53.00-02.54.00 (ACC 2).....	35
Gambar 5.12 Data rekaman sensor akselerometer pukul 02.53.00-02.54.00 (ACC 3).....	35
Gambar 5.13 Grafik hasil analisis dengan <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) pada pukul 08.00.00 .....	36
Gambar 5.14 Grafik hasil analisis dengan <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) pada pukul 08.00.00 .....	36

Gambar 5.15 Grafik hasil analisis dengan <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) pada pukul 08.00.00 .....	37
Gambar 5.16 Grafik hasil analisis dengan <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) pada pukul 13.15.00 .....	37
Gambar 5.17 Grafik hasil analisis dengan <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) pada pukul 13.15.00 .....	37
Gambar 5.18 Grafik hasil analisis dengan <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) pada pukul 13.15.00 .....	38
Gambar 5.19 Grafik hasil analisis dengan <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) pada pukul 19.57.00 .....	38
Gambar 5.20 Grafik hasil analisis dengan <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) pada pukul 19.57.00 .....	38
Gambar 5.21 Grafik hasil analisis dengan <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) pada pukul 19.57.00 .....	39
Gambar 5.22 Grafik hasil analisis dengan <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) pada pukul 02.53.00 .....	39
Gambar 5.23 Grafik hasil analisis dengan <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) pada pukul 02.53.00 .....	39
Gambar 5.24 Grafik hasil analisis dengan <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) pada pukul 02.53.00 .....	40
Gambar 5.25 Grafik hasil analisis gabungan semua sensor dengan <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) pada pukul 08.00.00 .....	40
Gambar 5.26 Grafik hasil analisis gabungan semua sensor dengan <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) pada pukul 13.15.00 .....	41
Gambar 5.27 Grafik hasil analisis gabungan semua sensor dengan <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) pada pukul 19.57.00 .....	42
Gambar 5.28 Grafik hasil analisis gabungan semua sensor dengan <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) pada pukul 02.53.00 .....	42
Gambar 5.29 Tampilan awal pada program PyOma. ....	44
Gambar 5.30 Tampilan Input data rekaman sensor. ....	45
Gambar 5.31 Visualisasi geometri pada program PyOma .....	46
Gambar 5.32 proses sementara pada sinyal frekuensi .....	46
Gambar 5.33 Diagram stabilisasi analisis SSI Covariance dan SSI Data .....	48

Gambar 5.34 Visualisasi Mode 1 dan Mode 2 pada analisis SSI Cov .....	49
Gambar 5.35 Visualisasi Mode 3 dan Mode 4 analisis SSI Cov .....	49
Gambar 5.36 Visualisasi Mode 1 dan Mode 2 analisis SSI Data .....	49
Gambar 5.37 Visualisasi Mode 3 dan Mode 4 analisis SSI Data .....	50
Gambar 5.38 analisis MAC dari hasil SSI Covariance dan SSI data. ....	50
Gambar 5.39 Visualisai diagram stabilisasi metode SSI Covariance dan SSI Data.....	51
Gambar 5.40 Visualisasi Mode 1 dan Mode 2 analisis SSI Covariance. ....	52
Gambar 5.41 Visualisasi Mode 3 dan Mode 4 analisis SSI Covariance. ....	52
Gambar 5.42 Visualisasi Mode 1 dan 2 analisis SSI Data .....	52
Gambar 5.43 Visualisasi Mode 3 dan Mode 4 analisis SSI Data .....	53
Gambar 5.44 analisis MAC dari hasil SSI Covariance dan SSI Data .....	53
Gambar 5.45 <i>Visualisai</i> diagram stabilisasi metode SSI Covariance dan SSI Data.....	54
Gambar 5.46 Visualisasi Mode 1 dan Mode 2 analisis SSI Cov .....	55
Gambar 5.47 Visualisasi Mode 3 dan Mode 4 analisis SSI Cov .....	55
Gambar 5.48 Visualisasi Mode 1 dan Mode 2 analisis SSI Data .....	55
Gambar 5.49 Visualisasi Mode 3 dan Mode 4 analisis SSI Data .....	56
Gambar 5.50 analisis MAC dari hasil SSI Covariance dan SSI Data. ....	56
Gambar 5.51 Visualisai diagram stabilisasi metode SSI Covariance dan SSI Data.....	57
Gambar 5.52 Visualisasi Mode 1 dan Mode 2 analisis SSI Cov .....	58
Gambar 5.53 Visualisasi Mode 3 dan Mode 4 analisis SSI Cov .....	58
Gambar 5.54 Visualisasi Mode 1 dan Mode 2 analisis SSI Data .....	58
Gambar 5.55 Visualisasi Mode 3 dan Mode 4 analisis SSI Data .....	59
Gambar 5.56 analisis MAC dari hasil SSI Covariance dan SSI data .....	59
Gambar 5.57 Grafik Data Input Pada Artemist Modal.....	61
Gambar 5.58 Visualisasi <i>Input</i> Geometri ARTeMIS .....	61
Gambar 5.59 Visualisasi Hubungan Antara Data <i>Input</i> ACC Dengan Geometri .....	62
Gambar 5.60 Hubungan Antara Data Rekaman Sensor Dengan Geometri.....	62
Gambar 5.61 Proses <i>Fillterin Data input</i> .....	63
Gambar 5.62 Grafik Nilai <i>Singular densitas spektral</i> .....	63
Gambar 5.63 Grafik SVD dan <i>diagram stabilisasi</i> SSI UPC.....	65
Gambar 5.64 Visualisasi Mode 1 dan mau 2 analisis SSI ARTeMIS .....	65
Gambar 5.65 Visualisasi Mode 3 analisis SSI ARTeMIS.....	66
Gambar 5.66 Pengujian MAC bentuk moda pada ARTeMIS.....	66

Gambar 5.67 Grafik SVD, SSI UPC dan Grafik SVD, SSI UPCX.....	68
Gambar 5.68 Visualisasi Mode 1 dan 2 analisis SSI ARTeMIS .....	68
Gambar 5.69 Visualisasi Mode 3 dan Mode 4 analisis SSI ARTeMIS.....	69
Gambar 5.70 Pengujian MAC bentuk moda pada ARTeMIS Modal.....	69
Gambar 5.71 Grafik SVD, SSI UPC dan Grafik SVD dan SSI UPCX.....	71
Gambar 5.72 Visualisasi Mode 1 analisis SSI ARTeMIS.....	71
Gambar 5.73 Visualisasi Mode 3 analisis SSI ARTeMIS.....	72
Gambar 5.74 Pengujian MAC bentuk moda pada ARTeMIS Modal.....	72
Gambar 5.75 Grafik SVD, SSI UPC dan Grafik SVD dan SSI UPCX.....	74
Gambar 5.76 Visualisasi Mode 1 dan Mode 2 analisis SSI ARTeMIS.....	75
Gambar 5.77 Visualisasi Mode 3 analisis SSI ARTeMIS.....	75
Gambar 5.78 Pengujian MAC bentuk moda pada ARTeMIS Modal.....	75
Gambar 5.79 Visualisasi pemodelan struktur jembatan dengan program MIDAS Civil ....	77
Gambar 5.80 Bentuk mode 1 (3.89 Hz) translasi vertikal .....	78
Gambar 5.81 Bentuk mode 2 (6.46 Hz) translasi horisontal .....	78
Gambar 5.82 Bentuk mode 3 (9.07 Hz) rotasi.....	78
Gambar 5.83 Bentuk mode 4 (9.81 Hz) translasi vertikal .....	79
Gambar 5.84 Perhitungan rasio redaman pada data pukul 08.00.00 .....	80
Gambar 5.85 Perhitungan rasio redaman pada data pukul 13.15.00 .....	80
Gambar 5.86 Perhitungan rasio redaman pada data pukul 19.57.00 .....	80
Gambar 5.87 Perhitungan rasio redaman pada data pukul 02.53.00 .....	81
Gambar 5.88 Perbandingan bentuk moda ke-1 (translasi vertikal) analisis berbasis SSI PyOma dengan pemodelan numerik.....	86
Gambar 5.89 Perbandingan bentuk moda ke-2 (translasi horisontal) analisis berbasis SSI PyOma dengan pemodelan numerik.....	86
Gambar 5.90 Perbandingan bentuk moda ke-3 (rotasi) analisis berbasis SSI PyOma dengan pemodelan numerik .....	86
Gambar 5.91 Perbandingan bentuk moda ke-4 (translasi vertikal) analisis berbasis SSI PyOma dengan pemodelan numerik.....	87