

TESIS

**PERBANDINGAN PARAMETER DINAMIK
STRUKTUR UTUH DAN RUSAK BERDASARKAN
OUTPUT ONLY OPERATIONAL MODAL ANALYSIS
MENGUNAKAN METODE *STOCHASTIC
SUBSPACE IDENTIFICATION***



ASISI HAPPY KURNIAWAN

No. Mhs.: 155102500/PS/MTS

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA


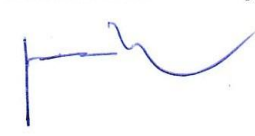
2018



UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : ASISI HAPPY KURNIAWAN
Nomor Mahasiswa : 155102500/PS/MTS
Konsentrasi : Struktur
Judul Tesis : Perbandingan Parameter Dinamik Struktur Utuh dan Rusak
Berdasarkan *Ouput Only Operational Modal Analysis*
Menggunakan Metode *Data Driven Stochastic Subspace*
Identification

Nama Pembimbing	Tanggal	Tanda tangan
Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D.	30/01/2018	
Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng.	30/01/2018	



PENGESAHAN TESIS

Nama : ASISI HAPPY KURNIAWAN
Nomor Mahasiswa : 155102500/PS/MTS
Konsentrasi : Struktur
Judul Tesis : Perbandingan Parameter Dinamik Struktur Utuh dan Rusak Berdasarkan *Ouput Only Operational Modal Analysis* Menggunakan Metode *Data Driven Stochastic Subspace Identification*

Nama Penguji	Tanggal	Tanda tangan
Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D. (Ketua)	<u>30/01/2018</u>	
Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng. (Anggota)	<u>30/01/2018</u>	
Dr. Ir. Junaedi Utomo, M.Eng (Anggota)	<u>30/01/2018</u>	

Ketua Program Studi

PROGRAM PASCASARJANA
Dr. Ir. Imam Basuki M.T.

PERNYATAAN



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

**PERBANDINGAN PARAMETER DINAMIK STRUKTUR UTUH DAN
RUSAK BERDASARKAN *OUTPUT ONLY OPERATIONAL MODAL
ANALYSIS* MENGGUNAKAN METODE *DATA DRIVEN STOCHASTIC
SUBSPACE IDENTIFICATION***

benar-benar merupakan hasil karya pendalaman akademik saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari 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 Tesis ini. Apabila terbukti dikemudian hari bahwa Tesis ini merupakan hasil plagiasi, maka ijazah yang saya peroleh dinyatakan batal dan akan saya kembalikan kepada Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Yogyakarta, 30 Januari 2018

Yang membuat pernyataan



(Asisi Happy Kurniawan)

INTISARI

Stochastic Subspace Identification (SSI) adalah sebuah metode dari teknik domain waktu *Operational Modal Analysis* (OMA) dalam identifikasi sistem yang bertujuan untuk mendapatkan suatu model matematis yang secara akurat menggambarkan karakteristik dinamik sistem berupa eigenfrekuensi dan rasio redaman. Metode SSI diklasifikasikan menjadi Covariance-SSI (SSI-Cov) dan Data Driven SSI (DD-SSI). Maksud dari penelitian ini adalah menerapkan metode DD-SSI dalam 3 analisis simulasi numerik, membandingkan hasil analisis DD-SSI dengan perhitungan eksak analisis dinamik, dan membandingkan hasil analisis DD-SSI antara struktur yang utuh dan rusak. Tujuannya adalah untuk mendapatkan parameter dinamik struktur dari respon percepatan hasil perhitungan eksak dan mendapatkan perbandingan parameter dinamik struktur utuh dan rusak. Pada penelitian ini ditinjau 3 model struktur yaitu, rangka geser, rangka batang, dan balok dengan konfigurasi utuh dan rusak. Skenario kerusakan dilakukan dengan mengurangi luas penampang elemen tiap-tiap struktur. Analisis dengan perhitungan eksak dilakukan menggunakan data massa dan kekakuan struktur untuk menghasilkan frekuensi alami, rasio redaman, dan respon percepatan struktur. Respon percepatan hasil analisis eksak dijadikan input untuk analisis DD-SSI. Frekuensi alami hasil analisis eksak dan DD-SSI untuk struktur rangka geser dan balok menunjukkan akurasi yang sangat baik dengan rasio perbedaan terbesar 1.613%. Sedangkan untuk rangka batang dengan 12 derajat kebebasan, analisis DD-SSI hanya dapat mengekstrak frekuensi alami sampai 4 mode pertama dengan akurasi yang sangat baik. Rasio perbandingan frekuensi alami antara struktur utuh dan rusak hasil analisis DD-SSI menunjukkan hasil yang sesuai dengan rasio pengurangan penampang elemen struktur. Semua perhitungan dalam analisis ini dilakukan dengan program Matlab R2015a.

Kata kunci : *Data Driven Stochastic Subspace Identification* (DD-SSI), analisis dinamik, frekuensi, Matlab R2015a

ABSTRACT

Stochastic Subspace Identification (SSI) is a method of time domain Operational Modal Analysis (OMA) technique in system identification that aims to obtain a mathematical model that accurately predicts the dynamic characteristics of the system in the form of eigen frequency and damping ratio. The SSI method is classified into Covariance-SSI (SSI-Cov) and Data Driven SSI (DD-SSI). The purpose of this study is to apply the DD-SSI method in three numerical simulation analyzes, compare the results of DD-SSI analysis with exact calculations, and compare the results of DD-SSI analysis between intact and damaged structures. The objective is to obtain the structural dynamic parameter from the acceleration measurement and obtain the comparison of the dynamic parameters of intact and damaged structure. In this research, there are 3 structural models namely shear frame, truss, and beam structures with intact and damaged configuration. The damage scenario is done by reducing the cross-sectional area of the elements of each structure. Analyzes with exact calculations were performed using mass and stiffness structural data to obtain natural frequencies, damping ratios, and acceleration responses. The acceleration response of the exact analysis is used as input for the DD-SSI analysis. The natural frequency of exact analysis and DD-SSI for shear frame and beam structures shows excellent accuracy with the largest difference ratio of 1.613%. As for the truss with 12 degrees of freedom, the DD-SSI analysis can only extract natural frequencies up to the first 4 modes with excellent accuracy. The ratio of natural frequency comparison between the intact and the damaged structure of DD-SSI analysis show the results corresponding to the reduction ratio of structural elements cross section. All calculations in this analysis were done with Matlab R2015a program.

Keywords: Data Driven Stochastic Subspace Identification (DD-SSI), dynamic analysis, natural frequency, damping ratio, Matlab R2015a.

KATA HANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan berkat dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Perbandingan Parameter Dinamik Struktur Utuh dan Rusak Berdasarkan *Ouput Only Operational Modal Analysis* Menggunakan Metode *Data Driven Stochastic Subspace Identification*”**.

Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi guna memperoleh gelar Strata 2 (S2) di Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan tesis ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun.

Dalam kesempatan ini penulis tidak lupa menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Imam Basuki M.T. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
2. Bapak Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D. dan Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing yang telah begitu sabar serta memberikan begitu banyak bantuan dan dorongan sehingga tesis ini dapat terselesaikan.

3. Bapak Dr. Ir. Junaedi Utomo, M.Eng. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan banyak masukan dan bantuan sehingga tesis ini menjadi lebih baik.
4. Segenap dosen Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah bersedia mendidik, mengajar dan membagikan ilmunya kepada penulis.
5. Bapak dan Ibu tersayang, yang telah senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan, serta perhatian.
6. Saudara-saudari ku tersayang Theresia Tri Utami Wijayanti , Yohanes C. Tawa, yang selalu memberikan semangat dalam menyelesaikan tesis ini serta terimakasih terkhusus kepada yang tersayang Tri Yuniati S.Pd. yang telah memberikan perhatian dan motivasi.
7. Teman-teman seperjuanganku Pak Stephanus Ola Demon, Mas Sungsang, Eric, Stef, Salman, Ken, Alan, Gil, Jefri yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan tesis ini.
8. Seluruh teman-teman Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta baik yang seangkatan maupun lain angkatan. Terima kasih untuk kebersamaannya.

Akhir kata penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca sekalian terutama bagi mahasiswa Teknik Sipil.

Yogyakarta, 30 Januari 2018

Penulis

Asisi Happy Kurniawan

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
INTISARI	iv
ABSTRACT	v
KATA HANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah	5
1.4. Keaslian Penelitian	6
1.5. Manfaat Penelitian	6
1.6. Tujuan Penelitian	6
1.7. Sistematika penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Metode <i>Stochastic Subspace Identification</i>	9
2.2. Pengujian getaran <i>Ambient</i>	11
BAB III LANDASAN TEORI	13
3.1. Analisis Dinamis Struktur Rangka dimodelisasi sebagai sistem diskrit berderajat kebebasan banyak	13
3.1.1. Analisis dinamis balok dengan massa terdistribusi merata	13
3.1.2. Analisis dinamis rangka batang	16
3.1.3. Analisis dinamis bangunan geser bertingkat banyak	17
3.1.4. Reduksi matriks dinamik dengan kondensasi statik	20
3.1.5. Matriks redaman struktur	22
3.2. Analisis Modal dalam Domain Waktu	23
3.3. Model <i>State Space</i>	25
3.4. <i>Operational Modal Analysis</i> (OMA)	31
3.5. <i>Data Driven Stochastic Subspace Identification</i> (DD-SSI)	32
3.5.1. Input	32
3.5.2. Perhitungan awal	33
3.5.3. Matriks <i>state</i>	35

3.5.4. Parameter modal	36
3.5.5. Diagram stabilisasi	38
3.6. Analisis Struktur dengan Program Matlab.....	39
3.6.1. Program yang berlaku umum.....	39
3.6.2. Program untuk rangka bidang.....	40
3.6.3. Program untuk portal bidang.....	40
3.6.4. Program untuk balok.....	41
3.7. Program Untuk Analisis Dinamik Struktur.....	42
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	43
4.1. Bahan Penelitian	43
4.1.1. Konfigurasi struktur utuh/kuat	43
4.1.2. Konfigurasi struktur rusak/lemah	45
4.2. Alat Penelitian.....	46
4.3. Langkah-langkah Penelitian.....	46
4.3.1. Studi pustaka.....	46
4.3.2. Pemrograman perhitungan eksak dengan Matlab	48
4.3.3. Pemrograman algoritma DD-SSI dengan Matlab	48
4.3.4. Analisis	48
4.3.5. Komparasi	49
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	51
5.1. Analisis Konfigurasi Utuh	51
5.1.1. Analisis eksak rangka geser	52
5.1.2. analisis eksak rangka batang	54
5.1.3. analisis eksak balok.....	57
5.1.4. analisis DD-SSI rangka geser	59
5.1.5. analisis DD-SSI rangka batang	61
5.1.6. analisis DD-SSI balok.....	63
5.1.7. Hasil analisis	64
5.2. Analisis Konfigurasi Rusak	66
5.2.1. Analisis struktur rangka geser.....	67
5.2.2. Analisis struktur rangka batang	69
5.2.3. Analisis struktur balok	71
5.3. Komparasi Parameter Dinamik Struktur Utuh dan Rusak	73
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	75
6.1. Kesimpulan	75
6.2. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN	81

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 3.1. Segmen balok dengan gaya-gaya serta perpindahan pada koordinat nodal	15
Gambar 3.2. Elemen balok dengan massa terdistribusi dan 4 koordinat nodal .	15
Gambar 3.3. Elemen struktur <i>truss</i> dengan koordinat global	16
Gambar 3.4. Model kolom tunggal, model matematis, <i>free body diagram</i>	19
Gambar 3.5. Kondensasi statik pada bangunan geser	22
Gambar 4.1. Model struktur rangka geser	44
Gambar 4.2. Model struktur rangka batang	45
Gambar 4.3. Model struktur balok	45
Gambar 4.4. Diagram alir penelitian	47
Gambar 5.1. Model struktur rangka geser tiga lantai	52
Gambar 5.2. Model struktur rangka batang	55
Gambar 5.3. Model struktur balok	57
Gambar 5.4. Diagram stabilisasi frekuensi alami rangka geser	60
Gambar 5.5. Diagram stabilisasi rasio redaman rangka geser	60
Gambar 5.6. Diagram stabilisasi frekuensi alami rangka batang	62
Gambar 5.7. Diagram stabilisasi rasio redaman rangka batang	62
Gambar 5.8. Diagram stabilisasi frekuensi alami balok	63
Gambar 5.9. Diagram stabilisasi rasio redaman balok	64
Gambar 5.10. Diagram stabilisasi frekuensi alami rangka geser rusak	68
Gambar 5.11. Diagram stabilisasi rasio redaman rangka geser rusak	68
Gambar 5.12. Diagram stabilisasi frekuensi alami rangka batang rusak	70
Gambar 5.13. Diagram stabilisasi rasio redaman rangka batang rusak	70
Gambar 5.14. Diagram stabilisasi frekuensi alami balok rusak	71
Gambar 5.15. Diagram stabilisasi rasio redaman balok rusak	72

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 5.1. Parameter dinamik rangka geser tiga lantai	54
Tabel 5.2. Parameter dinamik rangka batang.....	57
Tabel 5.3. Parameter dinamik balok	59
Tabel 5.4. Parameter dinamik rangka geser hasil DD-SSI	61
Tabel 5.5. Parameter dinamik rangka batang hasil DD-SSI	61
Tabel 5.6. Parameter dinamik balok hasil DD-SSI.....	64
Tabel 5.7. Perbandingan frekuensi alami struktur rangka geser	65
Tabel 5.8. Perbandingan rasio redaman struktur rangka geser	65
Tabel 5.9. Perbandingan frekuensi alami struktur rangka batang.....	65
Tabel 5.10. Perbandingan rasio redaman struktur rangka batang.....	66
Tabel 5.11. Perbandingan frekuensi alami struktur balok	66
Tabel 5.12. Perbandingan rasio redaman struktur balok.....	66
Tabel 5.13. Perbandingan frekuensi alami struktur rangka geser rusak	68
Tabel 5.14. Perbandingan rasio redaman struktur rangka geser rusak	69
Tabel 5.15. Perbandingan frekuensi alami struktur rangka batang rusak	70
Tabel 5.16. Perbandingan rasio redaman struktur rangka batang rusak	71
Tabel 5.17. Perbandingan frekuensi alami struktur balok rusak.....	72
Tabel 5.18. Perbandingan rasio redaman struktur balok rusak.....	72
Tabel 5.19. Perbandingan frekuensi alami hasil DD-SSI pada rangka geser	73
Tabel 5.20. Perbandingan frekuensi alami hasil DD-SSI pada rangka batang ...	73
Tabel 5.21. Perbandingan frekuensi alami hasil DD-SSI pada balok.....	73

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Fungsi-fungsi yang dibutuhkan untuk analisis eksak.....	81
Lampiran 2. Fungsi-fungsi yang dibutuhkan untuk analisis DD-SSI.....	84
Lampiran 3. Program-program untuk analisis eksak struktur utuh.....	88
Lampiran 4. Program-program untuk analisis eksak struktur rusak	98
Lampiran 5. Program-program untuk analisis DD-SSI struktur utuh.....	107
Lampiran 6. Program-program untuk analisis DD-SSI struktur rusak	110
Lampiran 7. Output-output hasil analisis eksak.....	113
Lampiran 8. Output-output hasil analisis DD-SSI.....	119

