

TESIS

**PARAMETER MODAL STRUKTUR BERDASARKAN  
METODE ANALISIS *STOCHASTIC SUBSPACE  
IDENTIFICATION***



MARIANUS JEFRI MOA  
NMP: 165102654/PS/MTS

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
2019

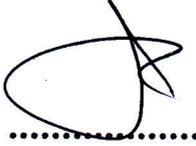


UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
PROGRAM PASCASARJANA  
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

---

PENGESAHAN TESIS

Nama : MARIANUS JEFRI MOA  
Nomor Mahasiswa : 165102654/PS/MTS  
Konsentrasi : Struktur  
Judul Tesis : Parameter Modal Struktur Berdasarkan Metode Analisis  
*Stochastic Subspace Identification*

Nama Pembimbing	Tanggal	Tanda tangan
Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D.	24/07/2019 .....	 .....
Dr. Ir. Junaedi Utomo, M.Eng.	24/7/19 .....	 .....



UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
PROGRAM PASCASARJANA  
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : MARIANUS JEFRI MOA  
Nomor Mahasiswa : 165102654/PS/MTS  
Konsentrasi : Struktur  
Judul Tesis : Parameter Modal Struktur Berdasarkan Metode Analisis  
*Stochastic Subspace Identification*

Nama Penguji	Tanggal	Tanda tangan
Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D.	24/6/2019	
Dr. Ir. Junaedi Utomo, M.Eng.	24/7/19	
Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng.	25/07/2019	

Ketua Program Studi  
  
(Dr. Ir. Imam Basuki, M.T.)  
PROGRAM PASCASARJANA

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Nama : MARIANUS JEFRI MOA

Nomor Mahasiswa : 165102654/PS/MTS

Konsentrasi : Struktur

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis dengan judul :

**PARAMETER MODAL STRUKTUR BERDASARKAN METODE ANALISIS *STOCHASTIC SUBSPACE IDENTIFICATION***

Merupakan hasil karya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari tesis atau karya tulis orang lain. Apabila dikemudian hari ternyata terdapat ketidaksesuaian dengan pernyataan diatas maka penulis bersedia menerima segala sanksi yang akan dikenakan.

Yogyakarta, 25 Juli 2019



Marianus Jefri Moa

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan berkat dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi guna memperoleh gelar Strata 2 (S2) pada Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Dalam penyusunan tesis ini, penulis telah mendapatkan banyak masukan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Bapak Dr. Imam Basuki, M.T., dan Para Dosen Program Pascasarjana Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah bersedia mendidik, mengajar dan membantu penulis selama masa perkuliahan.
2. Bapak Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D., selaku pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. Junaedi Utomo, M.Eng., selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan dan motivasi dalam penyusunan tesis ini.
3. Bapak Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan banyak masukan dan bantuan sehingga tesis ini menjadi lebih baik.
4. Staf administrasi pada Program Pascasarjana Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah bersedia melayani dan membantu penulis selama masa perkuliahan

5. Keluarga tercinta, Ayah dan Ibu terkasih; adik dan kakakku tersayang, Afli, Lucio, K'Nini, K'Elni, K'Lody, K'Aristoe, juga Nastri, Mama Helmi, K Vian, saudaraku Putu dan semuanya yang telah senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan, serta perhatian.
6. Teman-teman seangkatan pada Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta: Stev, Alan, Kenichi, Salman, Gil, Ricky, Ana, Jitu, dan Abang Happy; serta yang telah membantu: Franyo, Boy, Vian, Gege, Novi, Pak Step, K'Diva, yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan studi.
7. Seluruh teman-teman Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta, teman teman kos dan para sahabat yang tidak sempat saya sebutkan. Terima kasih untuk kebersamaannya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan tesis ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati, penulis menerima segala kritikan dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi penyempurnaan tesis ini. Akhirnya besar harapan penulis, semoga tesis ini dapat bermanfaat dan memberikan kontribusi nyata bagi pembaca, dunia akademis, praktisi, dan terutama bagi mahasiswa Teknik Sipil.

Yogyakarta, 24 Juli 2018

Penulis,



Marianus Jefri Moa

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING</b> .....	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xi
<b>ABSTRAK</b> .....	xii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	4
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Batasan Masalah .....	4
1.4. Manfaat Penelitian .....	4
1.5. Tujuan Penelitian .....	5
1.6. Sistematika Penulisan.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b> .....	7
2.1. Tinjauan Pustaka .....	7
2.1.1. Sistem Identifikasi Metode SSI .....	7
2.1.2. Test Getaran <i>Ambient</i> .....	9
2.1.2. <i>Low Cost Sensor Accelorometer MEMS</i> .....	9
2.2. Landasan Teori.....	10
2.2.1. Metode Simulasi Numerik .....	10
2.2.1.1. Persamaan Gerak Sistem Dinamik.....	10
2.2.1.2. Kekakuan Struktur .....	13
2.2.1.3. Massa.....	14
2.2.1.4. Redaman .....	15
2.2.1.5. Kondensasi Statik .....	17
2.2.2. <i>Operation Modal Analisis (OMA)</i> .....	18
2.2.2.1. Domain Waktu .....	19
2.2.2.2. <i>State Space Model</i> .....	20

2.2.3. Metode Stochastic Subspace Identification (SSI) .....	25
2.2.3.1. Fomulasi DD-SSI.....	25
2.2.3.2. Ekstrasi Parameter Modal .....	29
2.2.3.3. Diagram Stabilisasi .....	30
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>31</b>
3.1. Alat dan Bahan Penelitian.....	31
3.2. Alir Penelitian .....	32
3.3. Langkah-Langkah Eksperimen .....	35
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>38</b>
4.1. Deskripsi Penelitian .....	38
4.2.1. Hasil Penelitian .....	40
4.2.1. Analisis Frame .....	40
4.2.1.1. Model Frame Simulasi .....	41
4.2.1.2. Model Frame Eskperimen .....	44
4.2.2. Analisis Tower .....	46
4.2.2.1. Model Tower Simulasi .....	47
4.2.2.2. Model Tower Eskperimen .....	48
4.3. Perbandingan Parameter Modal Struktur.....	51
4.3.1. Frame.....	51
4.3.2. Tower .....	53
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>56</b>
5.1. Kesimpulan .....	56
5.2. Saran.....	58
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>59</b>
<b>LAMPIRAN LAMPIRAN.....</b>	<b>61</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Rekomendasi nilai rasio redaman untuk tipe dan jenis struktur .....	16
Tabel 1.2. Data parameter modal <i>frame</i> berdasarkan analisis simulasi numerik	42
Tabel 1.3. Rekapitulasi Parameter modal <i>frame</i> simulasi berdasarakan analisis metode DD-SSI .....	43
Tabel 1.4. Data parameter modal <i>frame</i> model eskperimen berdasarkan analisis metode DD-SSI	45
Tabel 1.5. Rekapitulasi data parameter modal pada tower .....	50
Tabel 1.6. Perbandingan parameter modal frame analisis simulasi numerik dengan metode DD-SSI model simulasi .....	51
Tabel 1.7. Perbandingan parameter modal frame analisis simulasi numerik dengan metode DD-SSI model eskperimen.....	51
Tabel 1.8. Perbandingan parameter modal frame analisis metode DD-SSI pada model simulasi dan model eskperimen-SSI.....	51
Tabel 1.9. Perbandingan parameter modal Tower, analisis simulasi numerik dan metode DD-SSI simulasi .....	53
Tabel 2.0. Perbandingan parameter modal Tower, analisis simulasi numerik dan metode DD-SSI model eksperimen .....	53
Tabel 2.1. Perbandingan analisis DD-SSI pada model tower simulasi dan model eksperimenbatang .....	54

## DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 1.1. Modelisasi kesetimbangan dinamik sistem SDOF.....	10
Gambar 1.2. Contoh model <i>frame</i> .....	12
Gambar 1.3. Modelisasi kesetimbangan dinamik sistem MDOF .....	12
Gambar 1.4. Sensor <i>accelerometer</i> MEMS USB X16-1D .....	31
Gambar 1.5. Model simulasi .....	32
Gambar 1.6. Konfigurasi model eskperimen .....	32
Gambar 1.7. Diagram alir penelitian.....	33
Gambar 1.8. Diagram alir analisis simulasi numerik.....	37
Gambar 1.9. Konfigurasi pada sensor akselerometer X16-1D .....	38
Gambar 2.0. Model <i>Frame</i> Simulasi dan Eksperimen.....	40
Gambar 2.1. Grafik data percepatan pada model <i>frame</i> simulasi .....	41
Gambar 2.2. Diagram stabilisasi frekuensi alami pada model <i>frame</i> simulasi .	42
Gambar 2.3. Diagram stabilisasi rasio redaman pada model <i>frame</i> simulasi ...	43
Gambar 2.4. Grafik data percepatan pada model <i>frame</i> eksperimen .....	44
Gambar 2.5. Diagram stabilisasi frekuensi alami model <i>frame</i> eksperimen....	45
Gambar 2.6. Diagram stabilisasi rasio redaman model <i>frame</i> eksperimen.....	45
Gambar 2.7. Model <i>Tower</i> .....	46
Gambar 2.8. Grafik data percepatan pada model <i>tower</i> simulasi .....	47
Gambar 2.9. Diagram stabilisasi frekuensi alami pada model <i>tower</i> simulasi .	47
Gambar 3.0. Diagram stabilisasi rasio redaman pada model <i>tower</i> simulasi....	48
Gambar 3.1. Grafik data percepatan pada model <i>tower</i> eskperimen .....	48
Gambar 3.2. Diagram stabilisasi frekuensi alami model <i>tower</i> eksperimen.....	49
Gambar 3.3. Diagram stabilisasi rasio redaman model <i>tower</i> eksperimen.....	50

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Program alogartima simulasi numerik.....	62
Lampiran 2. Program alogartima metode DD-SSI.....	69



## ABSTRAK

Kesehatan struktur bangunan dapat dimonitoring dengan mengevaluasi karakteristik dinamikanya berdasarkan data parameter modal frekuensi alami, damping ratio dan mode shape. Salah satu metode identifikasi yang paling mutakhir untuk mengekstrak parameter modal berdasarkan test getaran menggunakan output-only data adalah metode Data-Driven Stochastic Subspace Identification (DD-SSI). Penelitian ini bertujuan untuk mengestrak parameter modal dari struktur dan mengetahui akurasi metode DD-SSI. Objek penelitian ini adalah struktur model frame dan tower. Idealisasi parameter modal struktur dianalisis dengan algoritma numerik yang digunakan sebagai pembanding. Perbandingan dilakukan pada ketiga komponen analisis yaitu antara analisis simulasi numerik dengan metode DD-SSI model simulasi, analisis simulasi numerik dengan DD-SSI model eksperimental dan perbandingan antara analisis DD-SSI pada model simulasi dengan model eksperimen. Jika perbandingan hasilnya lebih kecil dari 10%, maka dikatakan akurat dan jika lebih besar dari 10%, dapat dikatakan kurang akurat. Hasil penelitiannya adalah:(a) pada model tower, selisih perbandingan frekuensi alami ( $\omega_n$ ) sebagai berikut 4.8 %, 4.42% , 0.23% dan pada rasio redaman ( $\xi$ ): 20.65%, 14.35% dan 7.95%; (b) pada model frame 2 lantai, selisih perbandingannya frekuensi alami ( $\omega_n$ ) pada masing masing modenya adalah 0.1%, 6.5%; 3%, 9%; 3%, 2% dan perbandingan rasio redaman ( $\xi$ ) sebagai berikut: 17.97%, 6.32%; 12%, 16%; dan 7%, 10%. Berdasarkan data hasil perbandingan dapat disimpulkan bahwa metode DD-SSI sangat akurat dalam menganalisis parameter modal frekuensi alami dan kurang akurat dalam menganalisis rasio redaman.

**Kata kunci:** analisis numerik, getaran ambien, *stochastic subspace identification*, , frekuensi alami, rasio redaman

## ABSTRACT

The health of structural building can be detected by evaluating changes in identified vibration characteristics by modal parameters are eigen frequency, damping ratio and mode shape. One of the most powerful method to extract modal parameter based on output-only data vibration test is Data Driven-Stochastic Subspace Identification (DD-SSI) method. The purpose of study is to extract modal parameter of the structure to know how accurate the DD-SSI methods. The object of research are frame dan tower model. The numerical analysis is computed as idealization modals parameter as a comparison. The result are compared in three part are between numerical analyze to DD-SSI simulation model, numerical analyze to DD-SSI experimental model and DD-SSI simulation model to DD-SSI experimental model. If percentage of deviation less than 10% the results are accurate. The results are: (a) On the tower model, the difference of natural frequency are 4.8 %, 4.42%, and 0.23%; the difference of damping ratio are 20.65%, 14.35%, 7.95%; (b) On the frame second floor model, the difference of natural frequency on each mode are 0.1%, 6.5%; 3%, 9%; 3%, 2% and the difference of damping ratio are 17.97%, 6.32%; 12%, 16%; 7%, 10%. Based on the result of research can be concluded that analysis by DD-SSI method is very accurate to obtained parameter modal of natural frequency and inaccurate to analyze damping ratio.

**Key words:** numerical analysis, ambient vibration, stochastic subspace identification, natural frequency, damping ratio