

TESIS

**DETEKSI KERUSAKAN STRUKTUR DENGAN
MENGUNAKAN *MODAL ASSURANCE CRITERION-
SYMBIOTIC ORGANISMS SEARCH ALGORITHM*
(MAC-SOS)**



ALEXANDER BAYU PATRIA YUDHANTA
NPM.: 195103001/PS/MTS

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

2021



UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : ALEXANDER BAYU PATRIA YUDHANTA
Nomor Mahasiswa : 195103001/PS/MTS
Konsentrasi : Struktur
Judul tesis : Deteksi Kerusakan Struktur dengan Menggunakan
*Modal Assurance Criterion-Symbiotic Organisms Search
Algorithm (MAC-SOS)*

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




Tanggal
17/4/2021

Tanda tangan



PENGESAHAN TESIS

Nama : ALEXANDER BAYU PATRIA YUDHANTA
Nomor Mahasiswa : 195103001/PS/MTS
Konsentrasi : Struktur
Judul tesis : Deteksi Kerusakan Struktur dengan Menggunakan
*Modal Assurance Criterion-Symbiotic Organisms Search
Algorithm (MAC-SOS)*

Nama Penguji	Tanggal	Tanda tangan
Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D. (Ketua / Pembimbing)	17 April 2021	
Prof. Dr. Ir. Ade Lisantono, M.,Eng. (Anggota)	16 April 2021	
Dr. Ir. Junaedi Utomo, M.Eng. (Anggota)	

Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil

Dr. Ir. Dwijoko Ansusanto., M.T.

PERNYATAAN

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

**DETEKSI KERUSAKAN STRUKTUR DENGAN MENGGUNAKAN
MODAL ASSURANCE CRITERION-SYMBIOTIC ORGANISMS SEARCH
ALGORITHM (MAC-SOS)**

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 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, Maret 2021

Yang membuat pernyataan



(Alexander Bayu Patria Yudhanta)

INTISARI

Suatu infrastruktur akan mengalami penurunan kekuatan seiring dengan berjalannya waktu. Bila hal tersebut terjadi, maka perlu dilakukan perbaikan dan perkuatan pada struktur. Oleh karena itu deteksi kerusakan struktur sejak dini menjadi penting untuk dilakukan agar dapat menekan dan mengurangi biaya perbaikan, bahkan dapat mencegah terjadinya kegagalan struktur yang dapat menyebabkan korban jiwa dan kerugian materi. Teknik deteksi kerusakan struktur dapat dikategorikan ke dalam 4 tingkatan identifikasi, yaitu: (1) menentukan apakah terjadi kerusakan pada struktur; (2) menentukan adanya kerusakan serta lokasi kerusakan; (3) menentukan adanya kerusakan, lokasi, serta menilai tingkat kerusakan yang terjadi; dan (4) menentukan adanya kerusakan, lokasi, tingkat kerusakan, serta memperkirakan sisa usia pakai struktur. Penelitian ini mengusulkan metode deteksi kerusakan struktur sampai dengan tingkat 3 yang disebut dengan *Modal Assurance Criterion-Symbiotic Organisms Search* (MAC-SOS). Pada tahap pertama metode vektor beban penentu lokasi kerusakan (VBPLK) diterapkan untuk mendeteksi lokasi elemen yang rusak. Kemudian pada tahap ke dua metode MAC-SOS digunakan untuk mendapatkan tingkat penurunan kekuatan dari elemen struktur tersebut. Untuk mengetahui kemampuan metode ini, peneliti meninjau dua tipe struktur, yaitu struktur rangka batang dan struktur portal bidang, dengan beberapa skenario kerusakan. Hasil analisis memperlihatkan metode MAC-SOS dapat memprediksi lokasi serta besarnya penurunan kekuatan dari elemen struktur yang terindikasi rusak.

Kata kunci : deteksi kerusakan struktur, vektor beban penentu lokasi kerusakan, *modal assurance criterion, symbiotic organisms search* (SOS)

ABSTRACT

An infrastructure will experience a decrease in strength over time. When this happens, it is necessary to repair and strengthen the structure. Therefore, early detection of structural damage is important to do to reduce and reduce repair costs and even prevent structural failures that can cause casualties and material loss. Structural damage detection techniques can be categorized into 4 levels of identification, namely: (1) determining whether there is damage to the structure; (2) determine the damage and the location of the damage; (3) determine the presence of damage, the location and assess the level of damage that occurred; and (4) determine the presence of damage, location, level of damage, and estimate the remaining useful life of the structure. This study proposes a structural damage detection method up to level 3 called the Modal Assurance Criterion-Symbiotic Organisms Search (MAC-SOS). In the first stage, the damage locating vector (DLV) method is applied to detect the location of the damaged element. Then in the second stage, the MAC-SOS method is used to obtain the loss of strength of these structural elements. The results show that the MAC-SOS method can predict the location and loss of strength in the structural elements that are indicated to be damaged.

Keywords : structural damage detection, damage locating vector, *modal assurance criterion*, *symbiotic organisms search* (SOS)

KATA HANTAR

Puji Syukur kepada Tuhan yang Maha Esa atas berkat dan karunia yang selalu tercurah untuk penulis, sehingga penulis untuk menyelesaikan laporan Tesis ini.

Dalam menyusun maupun mengumpulkan data untuk Tesis ini penulis telah banyak mendapat bimbingan, bantuan, dan dorongan moral dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D., selaku dosen pembimbing atas bantuan dan bimbingannya mulai dari awal hingga akhir proses penyusunan tesis;
2. Dr. Ir. Dwijoko Anusanto., M.T., sebagai Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta;
3. Prof. Dr., Ir., Ade Lisantono., M. Eng.dan Dr. Ir. Junaedi Utomo, M.Eng., selaku dosen penguji, terima kasih atas segala masukan dan usulannya;
4. Seluruh Dosen Program Pascasarjana Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah bersedia mendidik, mengajar, dan memberi ilmunya kepada penulis;
5. Keluarga penulis, terutama Mama, Bapak, Upi, Depi, Mas Prpto, dan Mas Miko, Pakdhe Giyoto yang selalu memberikan semangat dan senantiasa mendukung dalam doa serta kasih sayang yang luar biasa;
6. Leo Agung Krisna Yudhanta dan Leo Agung Bintang Kejora yang selalu menyertai setiap langkah penulis dimanapun dan kapanpun;

7. Teman-teman terkasih dan seperjuangan yang telah membantu penulis selama proses perkuliahan maupun pada saat penyusunan Laporan Tesis : Samsul, Bella, Bang Fandi, Joshua, Mito, Mbak Rahma;
8. Bapak Richard Frans atas bimbingan dan masukannya kepada penulis;
9. Teman-teman Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta;
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah membantu proses penyusunan Laporan Tesis.

Dalam Laporan Tesis ini penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan Tesis masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun.

Yogyakarta, Maret 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
INTISARI	v
ABSTRACT	vi
KATA HANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Batasan Masalah	3
D. Keaslian Penelitian	4
E. Manfaat Penelitian	4
F. Tujuan Penelitian	5
G. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	7
A. Nilai <i>Eigen</i>, Vektor <i>Eigen</i>, dan Dekomposisi Nilai Singular	7
1. Nilai <i>Eigen</i> (<i>Eigen Value</i>).....	7
2. Vektor <i>Eigen</i> (<i>Eigen Vector</i>)	8
3. Dekomposisi Nilai Singular	9

B.	Getaran Bebas Tanpa Redaman	9
C.	Analisis Struktur dengan Metode Matriks	12
	1. Metode Kekakuan (<i>Stiffness Method</i>)	12
	2. Metode Metode Fleksibilitas (<i>Flexibility Method</i>)	13
	3. Pendekatan berdasarkan Matriks Fleksibilitas	13
D.	Metode Deteksi Kerusakan Struktur	18
E.	Vektor Beban Penentu Lokasi Kerusakan (VBPLK)	21
	1. Penelitian Terdahulu	21
	2. Tinjauan Umum	24
	3. Menentukan Vektor Beban Penentu Lokasi Kerusakan	25
	4. Normalisasi Tegangan Kumulatif	26
	5. Ringkasan Langkah untuk Mendeteksi Kerusakan Struktur menggunakan Metode VBPLK	27
F.	<i>Modal Assurance Criterion (MAC)</i>	27
G.	<i>Symbiotic Organism Search (SOS) Algorithm</i>	29
	1. <i>Mutualism Phase</i>	31
	2. <i>Commensalism Phase</i>	32
	3. <i>Parasitism Phase</i>	32
	4. Bagan Alir Algoritma SOS	34
H.	Algoritma Deteksi Kerusakan	36
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN		39
A.	Data Penelitian	41

1. Data Geometri Struktur Uji	41
2. Data Elemen Struktur Uji	41
B. Skenario Kerusakan Elemen Struktur	42
C. <i>Modal Assurance Criterion-Symbiotic Organism Search (MAC-SOS)</i>	43
D. Program Bantu yang Digunakan	44
E. Bagan Alir Penelitian	45
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	47
A. Aplikasi pada Struktur Rangka Batang	47
1. Kasus Kerusakan 1 Struktur Rangka Batang	50
2. Kasus Kerusakan 2 Struktur Rangka Batang	47
3. Kasus Kerusakan 3 Struktur Rangka Batang	52
B. Aplikasi pada Struktur Portal Bidang	55
1. Kasus Kerusakan 1 Struktur Portal Bidang	56
2. Kasus Kerusakan 2 Struktur Portal Bidang	59
3. Kasus Kerusakan 3 Struktur Portal Bidang	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	65
A. Kesimpulan	65
B. Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67

DAFTAR TABEL

No. Tabel	Judul Tabel	Halaman
4.1	Hasil analisis MAC-SOS kasus kerusakan 1 struktur rangka batang	49
4.2	Perbandingan nilai penurunan kekakuan kasus kerusakan 1 struktur rangka batang	49
4.3	Hasil analisis MAC-SOS kasus kerusakan 2 struktur rangka batang	52
4.4	Perbandingan nilai penurunan kekakuan kasus kerusakan 2 struktur rangka batang	52
4.5	Hasil analisis MAC-SOS kasus kerusakan 3 struktur rangka batang	54
4.6	Perbandingan nilai penurunan kekakuan kasus kerusakan 3 struktur rangka batang	54
4.7	Karakteristik material struktur portal bidang	56
4.8	Gaya-gaya Dalam Akibat Kasus Kerusakan 1 Struktur Portal Bidang	58
4.9	Hasil analisis MAC-SOS kasus kerusakan 1 struktur portal bidang	58
4.10	Perbandingan nilai penurunan kekakuan kasus kerusakan 1 struktur portal bidang	59
4.11	Gaya-gaya Dalam Akibat Kasus Kerusakan 2 Struktur Portal Bidang	60
4.12	Hasil analisis MAC-SOS kasus kerusakan 2 struktur portal bidang	61
4.13	Perbandingan nilai penurunan kekakuan kasus kerusakan 2 struktur portal bidang	61
4.14	Gaya-gaya Dalam Akibat Kasus Kerusakan 3 Struktur Portal Bidang	63
4.15	Hasil analisis MAC-SOS kasus kerusakan 3 struktur portal bidang	63
4.16	Perbandingan nilai penurunan kekakuan kasus kerusakan 3 struktur portal bidang	64

DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Judul Gambar	Halaman
2.1	Kesalahan pada matriks kekakuan vs jumlah ragam	17
2.2	Kesalahan pada matriks fleksibilitas vs jumlah ragam	17
2.3	Bagan alir algoritma SOS	35
3.1	Struktur rangka batang	40
3.2	Struktur portal bidang	41
3.3	Diagram alir MAC-SOS	44
3.4	Bagan alir penelitian	46
4.1	Struktur rangka batang	47
4.2	Kasus kerusakan 1 struktur rangka batang	48
4.3	Tegangan kumulatif ternormalisasi pada kasus kerusakan 1	48
4.4	Kasus kerusakan 2 struktur rangka batang	50
4.5	Tegangan kumulatif ternormalisasi pada kasus kerusakan 2	51
4.6	Kasus kerusakan 3 struktur rangka batang	53
4.7	Tegangan kumulatif ternormalisasi pada kasus kerusakan 3	53
4.8	Struktur portal bidang	56
4.9	Kasus kerusakan 1 struktur portal bidang	57
4.10	Kasus kerusakan 2 struktur portal bidang	60
4.11	Kasus kerusakan 3 struktur portal bidang	62