

**PENERAPAN *MODE SHAPE DATA BASE INDICATOR*  
(MSDBI) UNTUK DETEKSI KERUSAKAN STRUKTUR  
JEMBATAN RANGKA BAJA BERDASARKAN *MODAL*  
*ASSURANCE CRITERION* (MAC)**

**TESIS**



**Oleh:**  
**Prima Adhiyasa**  
**8102001009**

**Pembimbing :**  
**Dr.-Ing. Dina Rubiana Widarda**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
BANDUNG  
AGUSTUS 2024**

## HALAMAN PENGESAHAN

**PENERAPAN MODE SHAPE DATA BASE INDICATOR (MSDBI)  
UNTUK DETEKSI KERUSAKAN STRUKTUR JEMBATAN RANGKA  
BAJA BERDASARKAN MODAL ASSURANCE CRITERION (MAC)**



**Oleh :  
Prima Adhiyasa  
8102001009**

**Telah Disidangkan pada Hari/Tanggal :  
Jumat/09 Agustus 2024**

**Pembimbing :**

**Dr.-Ing. Dina Rubiana Widarda**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
BANDUNG**

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Yang bertandatangan di bawah ini, saya dengan data diri sebagai berikut:

Nama : Prima Adhiyasa

NPM : 8102001009

Program Studi : Magister Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / tesis / disertasi\*) dengan judul:

**PENERAPAN *MODE SHAPE DATA BASE INDEX* (MSDBI) UNTUK  
DETEKSI KERUSAKAN STRUKTUR JEMBATAN RANGKA BAJA  
BERDASARKAN *MODAL ASSURANCE CRITERION* (MAC)**

adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan dosen pembimbing. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala risiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Bandung, 09 Agustus 2024



Prima Adhiyasa

NPM : 8102001009

**PENERAPAN *MODE SHAPE DATA BASE INDEX* (MSDBI) UNTUK  
DETEKSI KERUSAKAN STRUKTUR JEMBATAN RANGKA BAJA  
BERDASARKAN *MODAL ASSURANCE CRITERION* (MAC)**

**Prima Adhiyasa**

**NPM: 8102001009**

**Pembimbing : Dr.-Ing. Dina Rubiana Widarda**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
MAGISTER TEKNIK SIPIL**

**BANDUNG**

**AGUSTUS 2024**

**ABSTRAK**

**Abstrak:** Pemeriksaan berkala pada jembatan wajib dilakukan untuk menghindari kegagalan struktur yang serupa. Untuk menghindari kegagalan struktur perlu adanya identifikasi kerusakan pada struktur sehingga keruntuhan dapat dihindari. Dalam penelitian ini dilakukan analisis deteksi kerusakan pada jembatan menggunakan metode *Modal Assurance Criterion* (MAC) dan hasil analisis MAC digunakan pada metode *Mode Shape Data Base Index* (MSDBI) untuk komparasi deteksi kerusakan. Penelitian dilakukan dengan bantuan model elemen hingga menggunakan *software* analisis struktur dengan studi kasus jembatan rangka baja berdasarkan Laporan Uji Respon I Jembatan Citarum yang dikeluarkan oleh Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (PUSJATAN). Mengacu kepada laporan yang diteliti, identifikasi kerusakan difokuskan pada kerusakan akibat baut kurang kencang. Simulasi kerusakan dilakukan pada 5 titik sambungan baut dengan 3 titik lokasi berada di batang atas dan 2 titik lokasi di batang bawah. Dilakukan juga 6 simulasi kerusakan yang dikombinasikan berdasarkan titik kerusakan yang diteliti. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa analisis MAC memiliki nilai konsisten pada ragam getar di setiap simulasi kerusakan dengan ragam yang dihasilkan model kondisi sehat. Lokasi kerusakan terdeteksi oleh nilai indeks MSDBI pada setiap simulasi kerusakan. Terlihat bahwa indeks MSDBI berubah sesuai dengan lokasi kerusakan.

**Kata Kunci:** Deteksi kerusakan, jembatan rangka baja, MAC, MSDBI

**APPLICATION OF MODE SHAPE DATA BASE INDEX (MSDBI) FOR  
DAMAGE DETECTION OF STEEL FRAME BRIDGE STRUCTURES  
BASED ON MODAL ASSURANCE CRITERION (MAC)**

**Prima Adhiyasa**

**NPM: 8102001009**

**Advisor : Dr.-Ing. Dina Rubiana Widarda**

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY  
MAGISTER OF CIVIL ENGINEERING  
BANDUNG  
AUGUST 2024**

**ABSTRACT**

Abstract: Periodically inspections of bridges are mandatory to avoid similar structural failures. To avoid structural failure, it is necessary to identify damage of the structure so that collapse can be prevented. In this research, damage detection analysis was carried out on bridges using the Modal Assurance Criterion (MAC) method and the MAC analysis results were used in the Mode Shape Data Base Index (MSDBI) method for the comparison of damage detection. The research was carried out with the help of a finite element model using structural analysis software with a case study of a steel truss bridge based on Laporan Uji Respon I Jembatan Citarum issued by Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (PUSJATAN). Referring to the report studied, damage identification focused on damage caused by insufficiently tight bolts. Damage simulations were carried out at 5 bolt connection points with 3 location points on the upper rod and 2 location points on the lower rod. Six damage simulations were also carried out which were combined based on the damage points studied. The results of the analysis show that the MAC analysis has consistent values on mode shapes in each damage simulation with the mode shapes produced by the healthy condition model. Meanwhile, damage location is detected by the MSDBI index value in each damage simulation. It can be seen that the MSDBI index changes according to the location of the damage.

**Keywords:** Damage detection, steel truss bridge, MAC, MSDBI

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “PENERAPAN *MODE SHAPE DATA BASE INDEX* (MSDBI) UNTUK DETEKSI KERUSAKAN STRUKTUR JEMBATAN RANGKA BAJA BERDASARKAN *MODAL ASSURANCE CRITERION* (MAC)”. Tesis ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat Strata 2 pada Program Magister Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam penyusunan tesis ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun dengan adanya saran, kritik, dan dorongan semangat serta doa dari banyak pihak sehingga tesis ini dapat diselesaikan. Untuk itu penulis ingin menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Dr.-Ing. Dina Rubiana Widarda selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan masukan serta wawasan kepada penulis dalam penulisan tesis ini.
2. Prof. Bambang Suryoatmono, Ph.D. selaku dosen penguji, yang telah memberikan masukan-masukan berarti dalam penyelesaian tesis ini.
3. Liyanto Eddy, Ph.D. selaku dosen penguji, yang telah memberikan masukan-masukan berarti dalam penyelesaian tesis ini.
4. Seluruh dosen jurusan Teknik Sipil UNPAR yang telah membagikan ilmunya kepada penulis selama menjalani perkuliahan.
5. Orang Tua, Istri, Try Wida P dan kedua anak tercinta Naureen AR dan Namiya AL serta keluarga besar penulis yang telah memberikan dukungan, doa dan semangat serta perhatian selama proses penyusunan tesis ini.
6. Teman-teman seperjuangan, mahasiswa program studi magister Yudhi, Michael, Ackerley, Tiara, Ence dan Nurmali Bintang sebagai *reviewer* selama penulisan tesis.
7. Ersadi Wiguna dan Altho Sagara yang telah membantu dalam penyelesaian model dan diskusi mengenai dinamika struktur.

8. Rekan-rekan kantor yang selalu memberikan dukungan, doa dan semangat serta dispensasi pekerjaan selama proses penyusunan tesis ini
9. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa pada penulisan tesis ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari sempurna karena keterbatasan waktu, kemampuan, dan ilmu yang dimiliki penulis. Penulis berharap tesis ini dapat bermanfaat bagi kemajuan Teknik Sipil pada khususnya, dan bagi semua pihak yang memerlukan.

Bandung, 9 Agustus 2024

Penulis



Prima Adhiyasa

NPM : 8102001009

# DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	<b>xi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Inti Permasalahan .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Pembatasan Masalah .....	4
1.5 Metode Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	7
<b>BAB 2 STUDI LITERATUR</b>	<b>9</b>
2.1 Deteksi Kerusakan Struktur.....	9
2.2 Frekuensi Alami dan Ragam Getar .....	10
2.3 Metode Deteksi Kerusakan Berbasis Ragam Getar.....	13
2.3.1 <i>Modal Assurance Criterion (MAC)</i> .....	13
2.3.2 <i>Partial Modal Analysis Criterion (PMAC)</i> .....	16
2.3.3 <i>Modal Assurance Criterion with Frequency Scales (FMAC)</i> .....	16
2.3.4 <i>Coordinate Modal Assurance Criterion (COMAC)</i> .....	16
2.4 Metode Berbasis Kurva Ragam Getar .....	17
2.4.1 <i>Mode Shape Data Based Indicator (MSDBI)</i> .....	17
<b>BAB 3 STUDI KASUS</b>	<b>21</b>
3.1 Data Struktur Jembatan Eksisting .....	21
3.1.1 Data Material Jembatan.....	24

3.2	Identifikasi Kerusakan pada Struktur Jembatan .....	26
3.3	Studi Kasus Penelitian .....	29
3.3.1	Simulasi Sehat Struktur Jembatan .....	30
3.3.2	Simulasi Rusak 1 Struktur Jembatan .....	30
3.3.3	Simulasi Rusak 2 Struktur Jembatan .....	33
3.3.4	Simulasi Rusak 3 Struktur Jembatan .....	34
3.3.5	Simulasi Rusak 4 Struktur Jembatan .....	35
3.3.6	Simulasi Rusak 5 Struktur Jembatan .....	36
3.3.7	Simulasi Rusak 6 Struktur Jembatan .....	38
<b>BAB 4 ANALISIS DATA</b>		<b>41</b>
4.1	Frekuensi Alami dan Ragam Getar Struktur Jembatan Kondisi Sehat ...	41
4.2	Deteksi Kerusakan Jembatan dengan Metode MAC .....	42
4.3	Deteksi Kerusakan Jembatan dengan Metode MSDBI.....	47
4.4	Pembahasan .....	58
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>		<b>67</b>
5.1	Kesimpulan .....	67
5.2	Saran .....	68
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>71</b>
<b>LAMPIRAN 1 Laporan Uji Respon I Jembatan Citarum</b>		<b>73</b>
<b>LAMPIRAN 2 Contoh Analisis MSDBI Ragam 1 Arah X</b>		<b>91</b>
<b>LAMPIRAN 3 Contoh Analisis MAC Ragam 1</b>		<b>93</b>

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

ASTM	=	<i>American Society of Testing and Materials</i>
MAC(r, q)	=	Nilai skalar mewakili hubungan ragam q dan r
[M]	=	Matriks masa struktur
[K]	=	Matriks kekakuan struktur
T	=	Periode, detik
f	=	Siklus frekuensi alami per detik, Hertz
f' <sub>c</sub>	=	Kuat tekan beton, MPa
i	=	Titik ragam 1, 2, ..., n+1
l <sub>e</sub>	=	Jarak konstan yang memisahkan dua nodal yang berurutan dalam MSDBI, mm
nm	=	Jumlah ragam dalam MSDBI
q	=	Titik nodal 1, 2, ..., n + 1
{u}	=	Perpindahan, mm
{ü}	=	Percepatan, m/s <sup>2</sup>
ω	=	Frekuensi alami, Hertz
φ	=	Ragam getar
{φ <sub>X</sub> } <sub>q</sub>	=	Ragam getar kondisi sehat, ragam q
{φ <sub>A</sub> } <sub>r</sub>	=	Ragam getar kondisi rusak, ragam r
{φ <sub>X</sub> } <sub>q</sub> <sup>T</sup>	=	Transpos dari {φ <sub>X</sub> } <sub>q</sub>
{φ <sub>A</sub> } <sub>r</sub> <sup>T</sup>	=	Transpos dari {φ <sub>A</sub> } <sub>r</sub>
Φ <sub>(q,i)</sub>	=	Ragam getar dari nodal ke-q pada ragam ke-i
Φ <sub>h(q,i)</sub>	=	Ragam getar pada kondisi sehat

$\Phi'_{h(q,i)}$  = Ragam getar turunan pertama kondisi sehat

$\Phi''_{h(q,i)}$  = Ragam getar turunan kedua kondisi sehat

$\Phi_{d(q,i)}$  = Ragam getar pada kondisi rusak

$\Phi'_{d(q,i)}$  = Ragam getar turunan pertama kondisi rusak

$\Phi''_{d(q,i)}$  = Ragam getar turunan kedua kondisi rusak

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram alir penelitian	6
Gambar 2.1 Contoh MAC dalam plot 2D dan 3D (Allemang, 2003)	16
Gambar 3.1 Denah Girder Jembatan Rangka Baja (satuan mm)	22
Gambar 3.2 Denah Atas Jembatan Rangka Baja (satuan mm)	22
Gambar 3.3 Potongan Memanjang Jembatan Rangka Baja (satuan mm)	23
Gambar 3.4 Potongan Melintang Jembatan Rangka Baja (satuan mm)	23
Gambar 3.5 Sketsa penampang profil jembatan rangka baja (satuan mm)	23
Gambar 3.6 Material Baja pada Pemodelan	24
Gambar 3.7 <i>Input</i> Material Beton Bertulang	25
Gambar 3.8 Lokasi titik kurang kencang sisi hilir	26
Gambar 3.9 <i>Input</i> Pemodelan dalam 3 Dimensi	30
Gambar 3.10 Simulasi Rusak 1; (a) Sketsa kerusakan, (b) Titik nodal yang ditinjau pada arah X-Z pemodelan struktur	31
Gambar 3.11 <i>Input</i> pada titik B2 hilir sisi kiri; (a) Nodal 3 pada model, (b) <i>Input</i> reduksi kekakuan	32
Gambar 3.12 <i>Input</i> reduksi kekakuan pada titik B2 hilir sisi kanan; (a) Nodal 21 pada model, (b) <i>Input</i> reduksi kekakuan	33
Gambar 3.13 Model 3D struktur jembatan Rusak 2; (a) Sketsa kerusakan, (b) Titik nodal yang ditinjau pada arah X-Z pemodelan struktur	34
Gambar 3.14 Model 3D struktur jembatan Rusak 3; (a) Sketsa kerusakan, (b) Titik nodal arah X-Z pemodelan struktur	35
Gambar 3.15 Model 3D struktur jembatan Rusak 4; (a) Sketsa kerusakan, (b) Titik nodal arah X-Z pemodelan struktur	36
Gambar 3.16 Model 3D struktur jembatan Rusak 5; (a) Sketsa kerusakan, (b) Titik nodal arah X-Z pemodelan struktur sisi hilir, (c) Titik nodal arah X-Z pemodelan struktur sisi hulu	37
Gambar 3.17 Model 3D struktur jembatan Rusak 6; (a) sketsa kerusakan, Titik nodal arah X-Z pemodelan struktur sisi hilir, (c) Titik nodal arah X-Z pemodelan struktur sisi hulu	39

Gambar 4.1 Struktur jembatan rangka baja pada ragam getar 1	41
Gambar 4.2 Struktur jembatan rangka baja pada ragam getar 2	41
Gambar 4.3 Struktur jembatan rangka baja pada ragam getar 3	42
Gambar 4.4 Grafik MSDBI ragam 1 arah X pada simulasi Rusak 1	49
Gambar 4.5 Grafik MSDBI ragam 1 arah Y pada simulasi Rusak 1	49
Gambar 4.6 Grafik MSDBI ragam 2 arah Z pada simulasi Rusak 1	49
Gambar 4.7 Grafik MSDBI ragam 1 arah X pada simulasi Rusak 2	50
Gambar 4.8 Grafik MSDBI ragam 1 arah Y pada simulasi Rusak 2	51
Gambar 4.9 Grafik MSDBI ragam 2 arah Z pada simulasi Rusak 2	51
Gambar 4.10 Grafik MSDBI ragam 1 arah X pada simulasi Rusak 3	52
Gambar 4.11 Grafik MSDBI ragam 1 arah Y pada simulasi Rusak 3	52
Gambar 4.12 Grafik MSDBI ragam 2 arah Z pada simulasi Rusak 3	53
Gambar 4.13 Grafik MSDBI ragam 1 arah X pada simulasi Rusak 4	54
Gambar 4.14 Grafik MSDBI ragam 1 arah Y pada simulasi Rusak 4	54
Gambar 4.15 Grafik MSDBI ragam 2 arah Z pada simulasi Rusak 4	54
Gambar 4.16 Grafik MSDBI ragam 1 arah X pada simulasi Rusak 5	55
Gambar 4.17 Grafik MSDBI ragam 1 arah Y pada simulasi Rusak 5	56
Gambar 4.18 Grafik MSDBI ragam 2 arah Z pada simulasi Rusak 5	56
Gambar 4.19 Grafik MSDBI ragam 1 arah X pada simulasi Rusak 6	57
Gambar 4.20 Grafik MSDBI ragam 1 arah Y pada simulasi Rusak 6	57
Gambar 4.21 Grafik MSDBI ragam 2 arah Z pada simulasi Rusak 6	58
Gambar 4.22 Komparasi simulasi Rusak 2 dan simulasi Rusak 3 MSDBI arah X	60
Gambar 4.23 Komparasi simulasi Rusak 2 dan simulasi Rusak 3 MSDBI arah Y	60
Gambar 4.24 Komparasi simulasi Rusak 2 dan simulasi Rusak 3 MSDBI arah Z	61
Gambar 4.25 Komparasi simulasi Rusak 2 dan simulasi Rusak 4 MSDBI arah X	62
Gambar 4.26 Komparasi simulasi Rusak 2 dan simulasi Rusak 4 MSDBI arah Y	62

Gambar 4.27 Komparasi simulasi Rusak 2 dan simulasi Rusak 4 MSDBI arah Z	63
Gambar 4.28 Komparasi simulasi Rusak 3 dan simulasi Rusak 5 MSDBI arah X	64
Gambar 4.29 Komparasi simulasi Rusak 3 dan simulasi Rusak 5 MSDBI arah Y	64
Gambar 4.30 Komparasi simulasi Rusak 3 dan simulasi Rusak 5 MSDBI arah Z	64
Gambar 4.31 Komparasi simulasi Rusak 4, simulasi Rusak 5 dan simulasi Rusak 6 MSDBI arah X	65
Gambar 4.32 Komparasi simulasi Rusak 4, simulasi Rusak 5 dan simulasi Rusak 6 MSDBI arah Y	66
Gambar 4.33 Komparasi simulasi Rusak 4, simulasi Rusak 5 dan simulasi Rusak 6 MSDBI arah Z	66

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 3.1 Sketsa posisi baut kencang dan tidak kencang sisi hulu	27
Tabel 3.2 Sketsa posisi baut kencang dan tidak kencang sisi hilir	28
Tabel 3.3 Persentase reduksi kekakuan akibat baut kurang kencang pada buhul	29
Tabel 3.4 Simulasi kerusakan	30
Tabel 4.1 Frekuensi dan periode struktur jembatan rangka baja kondisi sehat	42
Tabel 4.2 Analisis MAC simulasi Rusak 1	43
Tabel 4.3 Analisis MAC simulasi Rusak 2	44
Tabel 4.4 Analisis MAC simulasi Rusak 3	44
Tabel 4.5 Analisis MAC simulasi Rusak 4	45
Tabel 4.6 Analisis MAC simulasi Rusak 5	46
Tabel 4.7 Analisis MAC simulasi Rusak 6	47
Tabel 4.8 Rangkuman analisis MAC	58

## **DAFTAR LAMPIRAN**

LAMPIRAN 1 Laporan Uji Respon I Jembatan Citarum	73
LAMPIRAN 2 Contoh Analisis MSDBI Ragam 1 Arah X	91
LAMPIRAN 3 Contoh Analisis MAC Ragam 1	93



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pertumbuhan ekonomi global yang cepat dan pertumbuhan daerah kota yang sangat signifikan dalam beberapa dekade terakhir ini, membuat struktur jembatan menjadi aspek penting dalam bidang transportasi. Hal ini membuat pemeliharaan struktur menjadi hal utama selama masa layan jembatan. Kerusakan atau kinerja yang buruk hingga jembatan runtuh menjadi kendala dalam sistem transportasi dan mengakibatkan kerugian yang nyata Liang Wang et al. 2009. Menurut (Wang, 2013), Kerusakan struktur jembatan karena umur material, korosi akibat lingkungan, kelebihan beban, dan tidak ada pemeliharaan yang cukup membuat struktur jembatan terus mengalami penurunan kinerja sehingga mempersingkat umur layan pada struktur.

Mengambil contoh kerusakan jembatan seperti negara Jepang dimana menurut statistik pada tahun 2012, sebanyak 9% dari total jembatan telah memasuki umur desain dan diperkirakan 20 tahun kedepan akan meningkat hingga mencapai 53% karena sebagian besar jembatan dibangun setelah Perang Dunia II (Chang & Kim, 2016; (Shrive, 2005); dan Wang, 2013). Contoh lainnya yaitu di Amerika Serikat sekitar 5000 jembatan per tahun perlu diperbaiki, diperkuat bahkan diganti untuk tetap dapat beroperasi (Wang, 2013).

Indonesia juga memiliki jembatan dengan usia lebih dari 100 tahun yang dibangun pada masa pemerintahan kolonial Belanda seperti jembatan Cikubang dan jembatan Cicolawing di Jawa Barat yang sampai saat ini masih dipergunakan untuk

melayani kereta api jurusan Bandung-Jakarta. Jembatan Cikolawing juga dicatat sebagai salah satu jembatan *heritage* oleh PT. KAI (Pramudya et al., 2022).

Runtuhnya jembatan Kutai Kartanegara pada tahun 2011, memberikan tanda bahwa pemeriksaan berkala pada bangunan infrastruktur wajib dilakukan untuk menghindari kegagalan struktur yang serupa (Pramudya et al., 2022). Salah satu cara untuk menghindari keruntuhan struktur adalah identifikasi kerusakan pada struktur sehingga keruntuhan dapat dihindari.

Deteksi kerusakan jembatan telah menjadi topik penelitian yang penting dalam masalah infrastuktur terutama di negara maju dimana pemeriksaan untuk mendeteksi kerusakan semakin diperlukan untuk menjaga kondisi jembatan tetap dalam kondisi baik guna memenuhi kebutuhan ekonomi yang terus meningkat (K. C. Chang & Kim, 2016).

Salah satu metode deteksi kerusakan yang populer adalah dengan menggunakan getaran di mana secara konseptual kerusakan terjadi pada sifat mekanik jembatan seperti kekakuan dan massa, maka terjadi perubahan pada respons dinamis. Salah satu metode deteksi kerusakan yang populer menggunakan ragam getar pada struktur adalah *Modal Assurance Criterion* atau MAC mendeteksi kerusakan berdasarkan perubahan pada ragam getar (Farrar & Worden, 2007).

MAC merupakan besaran skalar yang konsisten dalam dua data ragam dan digunakan untuk membandingkan bentuk ragam pada kondisi sehat dan rusak secara langsung. Metode ini tidak dapat digunakan untuk menunjukkan posisi atau lokasi kerusakan karena tidak sensitif terhadap perubahan bentuk ragam yang kecil, tetapi dapat digunakan sebagai indikasi adanya kerusakan.

Untuk mengidentifikasi lokasi kerusakan lokal pada elemen struktur jembatan digunakan *Mode Shape Data Base Index* (MSDBI). Metode ini diajukan oleh (Yazdanpanah et al., 2015) dengan menggunakan benda uji yaitu balok dengan tumpuan sederhana sebagai studi kasus penelitian. Hasil penelitian menunjukkan adanya sensitivitas indeks terhadap penurunan kekakuan penampang balok sehingga kenaikan nilai indeks MSDBI terhadap lokasi kerusakan pada elemen balok menunjukkan hasil yang akurat.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mendeteksi kerusakan pada jembatan dengan menggunakan ragam getar dari struktur kondisi sehat dan rusak sebagai data indikator. Untuk identifikasi ragam getar pada kondisi rusak digunakan *Modal Assurance Criterion* (MAC) dan identifikasi lokasi kerusakan menggunakan *Mode Shape Data Base Index* (MSDBI).

## **1.2 Inti Permasalahan**

Inti permasalahan dalam penelitian ini adalah mendeteksi kerusakan pada jembatan rangka baja. Dilakukan pemodelan jembatan kondisi sehat dibandingkan jembatan dengan kondisi rusak. Kedua model dianalisis untuk mengidentifikasi kerusakan dan lokasi kerusakan berdasarkan ragam getar.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Membandingkan struktur jembatan rangka baja berdasarkan kondisi sehat dan rusak dengan simulasi model menggunakan ragam getar sebagai data indikator.

- Melakukan simulasi kerusakan pada struktur jembatan rangka baja dengan membuat model simulasi kerusakan.
- Mengidentifikasi ragam getar kondisi rusak dengan *Modal Assurance Criterion* (MAC).
- Mengidentifikasi lokasi kerusakan dengan *Mode Shape Data Base Index* (MSDBI).

#### 1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada Tesis ini adalah sebagai berikut:

- Jenis jembatan dalam analisis adalah jembatan rangka baja yang dimodelkan dari data jembatan eksisting.
- Jenis kerusakan yang ditinjau adalah akibat baut tidak kencang pada buhul batang bawah dan batang atas.
- Ketidaktepatan pemasangan baut dimodelkan sebagai reduksi kekakuan.
- Pemodelan struktur menggunakan perangkat lunak MIDAS CIVIL.
- Reduksi kekakuan dimodelkan pada batang bawah dan batang atas yang diasumsikan sebagai elemen *frame* atau kaku.
- Pengurangan kekakuan tidak mempertimbangkan posisi baut longgar pada konfigurasi baut di buhul.
- Perubahan akibat suhu atau temperatur tidak ditinjau.
- Simulasi kerusakan yang ditinjau adalah beberapa lokasi pada batang bawah atau batang atas atau kombinasinya.
- Data ragam yang dianalisis dibatasi pada 3 ragam.

- Analisis *Mode Shape Data Base Index* (MSDBI) berdasarkan hasil analisis *Modal Assurance Criterion* (MAC).

## 1.5 Metode Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

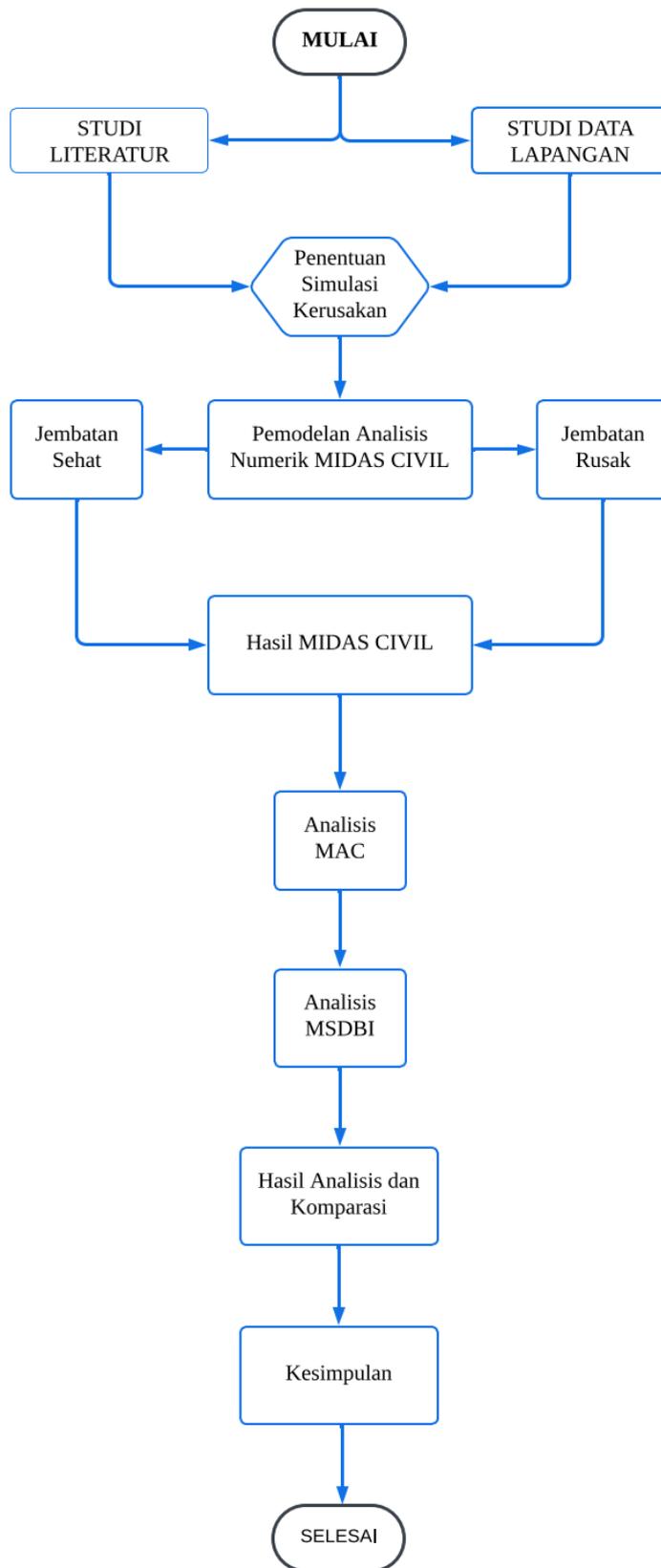
a) Studi literatur

Referensi yang digunakan sebagai studi literatur adalah *Paper*, jurnal, buku mengenai kerusakan struktur jembatan rangka baja dan metode deteksi kerusakan struktur jembatan rangka baja.

b) Analisis numerik

Analisis numerik pada penelitian ini dengan menggunakan bantuan program *MIDAS CIVIL* yaitu memodelkan struktur jembatan rangka baja kondisi sehat dan kondisi rusak sebanyak jumlah simulasi kerusakan. Dalam proses analisis menggunakan perhitungan manual menggunakan bantuan program *Microsoft Excel*.

Rangkaian proses setiap pekerjaan dalam penelitian ditunjukkan dengan diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 1.1.



**Gambar 1.1** Diagram alir penelitian

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tesis adalah sebagai berikut

a) BAB 1 PENDAHULUAN

Pembahasan latar belakang masalah, rumusan permasalahan, tujuan penulisan, ruang lingkup penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

b) BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pembahasan dasar teori sebagai landasan penulis dalam penyusunan tesis ini. Bab ini berisi studi literatur dan metode yang digunakan dalam analisis.

c) BAB 3 STUDI KASUS

Penjelasan dan uraian mengenai data eksisting struktur jembatan rangka baja, identifikasi kerusakan, simulasi kerusakan pada struktur jembatan dan pemodelan jembatan.

d) BAB 4 ANALISIS HASIL UJI

Hasil analisis pemodelan struktur, analisis *Modal Assurance Criterion* (MAC), Analisis *Mode Shape Data Base Index* (MSDBI) dan identifikasi lokasi kerusakan.

e) BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Pemaparan kesimpulan yang didapat dari hasil analisis dan pembahasan serta saran-saran yang dapat disimpulkan dari hasil analisis yang telah dilakukan.

