

# TESIS

## ANALISA STRUKTUR JEMBATAN MELENGO KABUPATEN SIAK TERHADAP HASIL UJI BEBAN DINAMIS

Diajukan Guna Melengkapi Syarat Dalam Mencapai  
Magister Teknik (MT)



Oleh :

NAMA : ARI NUFIZAL

NOMOR MAHASISWA : 153120028

BIDANG KAJIAN UTAMA : GEOTEKNIK DAN JALAN RAYA

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS ISLAM RIAU  
PEKANBARU**

**2019**

LEMBAR PENGESAHAN

TESIS

ANALISA STRUKTUR JEMBATAN MELENGO KABUPATEN SIAK  
TERHADAP HASIL UJI BEBAN DINAMIS

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Ari Nufizal

153120028

Program Studi : Teknik Sipil

Bidang Kajian Utama : Geoteknik dan Jalan Raya

Telah dipertahankan di depan dewan penguji

Pada Tanggal : Desember 2019

Dan dinyatakan **LULUS**

Dewan Penguji

Ketua Penguji

Prof. Dr. Ir. Sugeng Wiyono, MMT.

Anggota Penguji I

Anggota Penguji II

Dr. Anas Puri, ST., MT.

Dr. Elizar, ST., MT.

Mengetahui :

Direktur

Program Pascasarjana Universitas Islam Riau

Dr. Ir. Saipuf Bahri, M.Ec.

LEMBAR PENGESAHAN

TESIS

ANALISA STRUKTUR JEMBATAN MELENGO KABUPATEN SIAK  
TERHADAP HASIL UJI BEBAN DINAMIS

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Ari Nufizal  
153120028

Telah disetujui oleh :

Pembimbing I

Tanda Tangan

  
Prof. Dr. Ir. Sugeng Wiyono, MMT.

Tanggal : .....

Pembimbing II

Tanda Tangan

  
Dr. Anas Puri, ST., MT.

Tanggal : .....

Mengetahui:



Dr. Anas Puri, ST., MT.

Ketua Program Magister Teknik Sipil  
Universitas Islam Riau



**UNIVERSITAS ISLAM RIAU**  
**PROGRAM PASCASARJANA**  
 Jalan Kaharuddin Nasution No. 113 Pekanbaru 28284 Riau  
 Telp. (+62) (761) 674717 - 7047726 Fax. (+62) (761) 674717

SURAT KEPUTUSAN DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS ISLAM RIAU  
 NOMOR : 626 /KPTS/PPS/2019  
 TENTANG PENUNJUKAN PEMBIMBING PENULISAN TESIS MAHASISWA  
 PROGRAM MAGISTER (S2) TEKNIK SIPIL PPS UIR

DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS ISLAM RIAU

- Bahwa penulisan tesis merupakan tugas akhir dan salah satu syarat bagi mahasiswa dalam menyelesaikan studinya pada Program Magister (S2) Teknik Sipil PPS – UIR.
- Bahwa dalam upaya meningkatkan mutu penulisan dan penyelesaian tesis, perlu ditunjuk pembimbing yang akan memberikan bimbingan kepada mahasiswa tersebut.
- Bahwa nama – nama dosen yang ditetapkan sebagai pembimbing dalam Surat Keputusan ini dipandang mampu dan mempunyai kewenangan akademik dalam melakukan pembimbingan yang ditetapkan dengan Surat Keputusan Direktur Program Pascasarjana Universitas Islam Riau.

- Undang – Undang Nomor :12 Tahun 2012 Tentang : Pendidikan Tinggi
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor : 8 Tahun 2012 Tentang Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor : 37 Tahun 2009 Tentang Dosen
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor : 66 Tahun 2010 Tentang Pengelolaan dan Penyelenggaraan Pendidikan
- Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor : 63 Tahun 2009 Tentang Sistem Penjamin Mutu Pendidikan
- Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor : 49 Tahun 2014 Tentang Standar Nasional Pendidikan Tinggi
- Statuta Universitas Islam Riau Tahun 2018
- Peraturan Universitas Islam Riau Tahun Nomor : 001 Tahun 2018 Tentang Ketentuan Akademik Bidang Pendidikan Universitas Islam Riau

**MEMUTUSKAN**

- Menunjuk

No	Nama	Jabatan Fungsional	Bertugas Sebagai
1	Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT	Guru Besar	Pembimbing I
2	Dr. Anas Puri, ST., MT	Lektor Kepala	Pembimbing II

Untuk Penulisan Tesis Mahasiswa :

Nama : **ARI NUFIZAL**  
 N P M : **153120028**  
 Program Studi : **Teknik Sipil**  
 Judul Proposal Tesis : **PENGUJIAN DAN ANALISA DINAMIS STRUKTUR PADA JEMBATAN MELENGO KABUPATEN SIAK TERHADAP TINGKAT KERUSAKAN, KENYAMANAN DAN KEKAKUAN**

- Tugas – tugas pembimbing adalah memberikan bimbingan kepada mahasiswa Program Magister (S2) Teknik Sipil dalam penulisan tesis.
- Dalam pelaksanaan bimbingan supaya diperhatikan usul dan saran dari forum seminar proposal dan ketentuan penulisan tesis sesuai dengan Buku Pedoman Program Magister (S2) Teknik Sipil.
- Kepada yang bersangkutan diberikan honorarium, sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Riau.
- Keputusan ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan dengan ketentuan bila terdapat kekeliruan segera ditinjau kembali.

**KUTIPAN** : Disampaikan kepada yang bersangkutan untuk dapat diketahui dan diindahkan.



DI TETAPKAN DI : PEKANBARU  
 PADA TANGGAL : 15 Oktober 2019

**Dr. Ir. Saipul Bahri, M.Eng.**  
 NPK. 921102199

Disampaikan kepada :  
 a. Rektor Universitas Islam Riau di Pekanbaru  
 b. Program Magister (S2) Teknik Sipil PPS UIR di Pekanbaru.



PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS ISLAM RIAU  
**PERPUSTAKAAN**

Jalan KH. Nasution No. 113 Gedung B Pascasarjana Universitas Islam Riau  
Marpoyan, Pekanbaru, Riau

**SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT**

Nomor: 372/A-UIR/5-PSTK/PPs/2020

Perpustakaan Program Pascasarjana Universitas Islam Riau menerangkan:

Nama : Ari Nufizal  
NPM : 153120028  
Program Studi : Teknik Sipil

Telah melalui proses pemeriksaan kemiripan karya ilmiah (tesis) menggunakan aplikasi *Turnitin* pada tanggal 7 April 2020 dan dinyatakan memenuhi syarat batas maksimal tingkat kemiripan tidak melebihi 30 % (tiga puluh persen).

Surat keterangan ini digunakan untuk syarat ujian tesis dan pengurusan surat keterangan bebas pustaka.

Mengetahui

Ketua Prodi. Magister Teknik Sipil

  
Dr. Anas Puri, S.T., M.T.

Pekanbaru, 7 April 2020

Staf Perpustakaan

  
  
Sumardiono, S.IP

Lampiran:

- *Turnitin Originality Report*

Turnitin Originality Report

ANALISA STRUKTUR PADA JEMBRAN MELENGO KABUPATEN SIAK TERHADAP  
HASIL UJI BEBAN DINAMIS by An Nufzal



From Prodi. Teknik Sipil (Tesis 2)

- Processed on 07-Apr-2020 11:53 +08
- ID: 1291632419
- Word Count: 9507

Similarity Index

25%

Similarity by Source

Internet Sources:

25%

Publications:

0%

Student Papers:

4%

sources:

- 1 3% match (Internet from 16-Mar-2020)  
<https://www.scribd.com/document/437311178/Report-Structural-Assessment-and-Testing-Jetty-Dumai-rev-Belum-Analisis-pdf>
- 2 2% match (Internet from 01-Nov-2018)  
<https://www.scribd.com/document/384119662/Proposal-Jembatan-Pabrik-Gula-PT-SIL-Lampung-13226-pdf>
- 3 2% match (Internet from 01-Jan-2020)  
<http://library.binus.ac.id/eColls/eThesisdoc/Bab2HTML/2013201199SPBab2001/page32.html>
- 4 2% match (Internet from 01-Jan-2020)  
<http://library.binus.ac.id/eColls/eThesisdoc/Bab2HTML/2013201199SPBab2001/page35.html>
- 5 2% match (Internet from 01-Jan-2020)  
<http://library.binus.ac.id/eColls/eThesisdoc/Bab2HTML/2013201199SPBab2001/page34.html>
- 6 2% match (Internet from 01-Jan-2020)  
<http://library.binus.ac.id/eColls/eThesisdoc/Bab2HTML/2013201199SPBab2001/page36.html>
- 7 2% match (Internet from 30-Dec-2019)  
<http://library.binus.ac.id/eColls/eThesisdoc/Bab2HTML/2013201199SPBab2001/page38.html>
- 8 2% match (Internet from 01-Jan-2020)  
<http://library.binus.ac.id/eColls/eThesisdoc/Bab2HTML/2013201199SPBab2001/page37.html>
- 9 1% match (Internet from 01-Jan-2020)  
<http://library.binus.ac.id/eColls/eThesisdoc/Bab2HTML/2013201199SPBab2001/page31.html>
- 10 1% match (Internet from 01-Jan-2020)  
<http://library.binus.ac.id/eColls/eThesisdoc/Bab2HTML/2013201199SPBab2001/page33.html>

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Pekanbaru, Desember 2019



  
Ari Nufzal  
153120028

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warohmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur diucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan karunia dan rahmat serta hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan pembuatan tesis ini dengan judul Analisa Struktur Jembatan Melengo Kabupaten Siak Terhadap Hasil Uji Beban Dinamis. Adapun penulisan tesis ini dimaksudkan untuk memenuhi kurikulum akademis dalam rangka untuk memperoleh gelar Magister Teknik Sipil pada Program Pascasarjana Universitas Islam Riau Pekanbaru.

Penulisan Tesis ini dilakukan karena penulis ingin mengetahui perilaku struktur jembatan melengo yang didesign menyerupai kupu-kupu dan termasuk jembatan non standar. Disamping itu penulis juga ingin mengetahui kapasitas sisa dari jembatan tersebut karena kondisi strukturnya didesain dengan chamber minus atau posisi ditengah bentang lebih rendah dari posisi dipinggir bentang, hal ini tidak berlaku umum pada jembatan.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih terdapat kekurangan di sana sini, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang sifatnya membangun dari semua pihak untuk kesempurnaan tesis ini. Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkannya, terutama kepada penulis sendiri. Wassalamualaikum Warohmatullahi Wabarakatuh.

Pekanbaru, Desember 2019

ARI NUFIZAL  
NPM :153120028



## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur diucapkan kehadirat Allah SWT Tuhan yang maha pengasih dan maha penyayang yang telah melimpahkan karunia dan rahmat serta hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan pembuatan tesis ini dengan judul Analisa Struktur Jembatan Melengo Kabupaten Siak Terhadap Hasil Uji Beban Dinamis. Penulisan tesis ini dimaksudkan untuk memenuhi salah syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik Sipil pada Program Pascasarjana Universitas Islam Riau.

Dalam pelaksanaan penelitian dan pembuatan tesis ini terdapat banyak kesulitan dan kendala yang dihadapi. Untuk itu penulis dengan segala kerendahan hati menyampaikan ucapan terimakasih yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang sudah turut serta memberikan bantuan terutama kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi, SH. MCL. selaku Rektor Universitas Islam Riau beserta staf.
2. Bapak Dr. Saipul Bahri MEc. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Islam Riau beserta staf.
3. Bapak Dr. Anas Puri, ST. MT, selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Islam Riau sekaligus sebagai dosen pembimbing.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT, selaku Guru Besar Teknik Sipil Universitas Islam Riau sekaligus sebagai dosen pembimbing utama dalam penulisan Tesis ini.

5. Pimpinan dan staf Dinas Pekerjaan Umum, Tata Ruang, Perumahan Rakyat Dan Kawasan Permukiman Kabupaten Siak.
6. Pimpinan dan staf PT. Graha Survey Indonesia.
7. Rekan-rekan satu kelompok penelitian dan rekan-rekan mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
8. Istri dan anak-anak tercinta yang senantiasa mendorong dan mendoakan penulis serta semua pihak yang telah turut berpartisipasi baik secara langsung maupun tidak langsung membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian dan pembuatan tesis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhirnya semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkannya, terutama kepada penulis sendiri. Wassalamualaikum Warohmatullahi Wabarakatuh.

Pekanbaru, Desember 2019

ARI NUFIZAL  
153120028

## DAFTAR ISI

<b>COVER</b>	
<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>HALAMAN PERSETUJUAN TESIS</b>	
<b>HALAMAN PERNYATAAN LULUS</b>	
<b>HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN</b>	
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>ABSTRAK</b> .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Keaslian Penelitian.....	13
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b> .....	<b>14</b>
3.1 Umum.....	14
3.2 Struktur Jembatan.....	14
3.2.1 Bangunan Atas Jembatan.....	14
3.2.2 Bangunan Bawah Jembatan.....	15
3.3 Pengujian Jembatan.....	15
3.3.1 Uji Beban Statik.....	18
3.3.2 Uji Beban Dinamik.....	18
3.3.3 Uji Beban Dengan Metode Terintegrasi.....	18

3.4	Pengujian Dinamik Jembatan .....	19
3.4.1	Proses Umum Pengukuran Dinamik .....	19
3.4.2	Alat Uji Dinamik .....	20
3.4.2.1	Accelerometer .....	20
3.4.2.2	Exciter .....	21
3.4.2.3	Amplifier .....	21
3.5	Cara Menguji Jembatan .....	21
3.6	Standar Pembebanan Untuk Jembatan .....	22
3.7	Pengukuran Pengujian Dinamis .....	23
3.7.1	Pengukuran Regangan Dinamis .....	23
3.7.2	Pengukuran Lendutan .....	23
3.8	Pengolahan Data Pengujian .....	23
3.8.1	Fast Fourier Transform (FFT) .....	24
3.8.2	Frequency Response Function (FRT) .....	24
3.9	Evaluasi Pengujian Pembebanan Dinamis Pada Jembatan .....	25
3.9.1	Nilai Pembebanan Dinamis (DLA) .....	26
3.9.2	Frekuensi Natural .....	26
3.9.3	Frekuensi Aktual .....	26
3.9.4	Rating Faktor .....	26
3.10.	Perhitungan Frekuensi Alamiah Dengan Program Midas Civil .....	27
3.10.1	Sistem Koordinat .....	28
3.10.2	Material dan Section Properties .....	29
3.10.3	Boundary Condition .....	29
3.10.4	Analisa Dinamis Dalam Midas Civil .....	30
<b>BAB IV</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>31</b>
4.1	Objek Penelitian .....	31
4.2	Peralatan dan Bahan .....	31
4.3	Tahapan Penelitian .....	33
4.4	Prosedur Penelitian .....	35
4.4.1	Pemasangan Sensor .....	35

4.4.2	Loading Muatan dan Penimbangan Truk .....	37
4.4.3	Pengujian Beban Dinamis .....	38
4.4.4	Kombinasi Pembebanan Dinamis .....	40
4.4.5	Hasil dan Pembahasan.....	41
4.4.5	Kesimpulan dan Saran.....	42
<b>BAB V</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
5.1	Hasil Pemeriksaan Visual.....	43
5.1.1	Rangka Baja (Arch Beam) .....	43
5.1.2	Rangka Baja (Hanger).....	44
5.1.3	Rangka Baja (Edge Beam) .....	44
5.1.4	Rangka Baja (Cross Beam) .....	45
5.1.5	Slab.....	45
5.1.6	Abutment.....	46
5.1.7	Pipa Cucuran .....	47
5.1.8	Railing .....	47
5.2	Hasil Pengujian Beban Dinamis.....	48
5.2.1	Pengukuran Regangan Dinamis .....	49
5.2.2	Pengukuran Lendutan.....	51
5.2.3	Pengukuran Getaran Aktual .....	52
5.3	Pembahasan Pengujian. ....	54
5.3.1	Pengamatan Visual .....	54
5.3.2	Tegangan Aktual Yang Terjadi .....	55
5.3.3	Nilai Pembesaran Dinamis (DLA- <i>Dynamic Load Allowance</i> ).....	57
5.3.4	Evaluasi Lendutan Yang Terjadi.....	59
5.3.5	Komparasi Frekuensi Aktual dan Frekuensi Natural .....	59
5.3.6	<i>Rating Factor (Diagnostic Load Testing)</i> .....	64
<b>BAB VI</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>68</b>
6.1	Kesimpulan .....	68
6.2	Saran .....	69
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>70</b>
	<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b>	

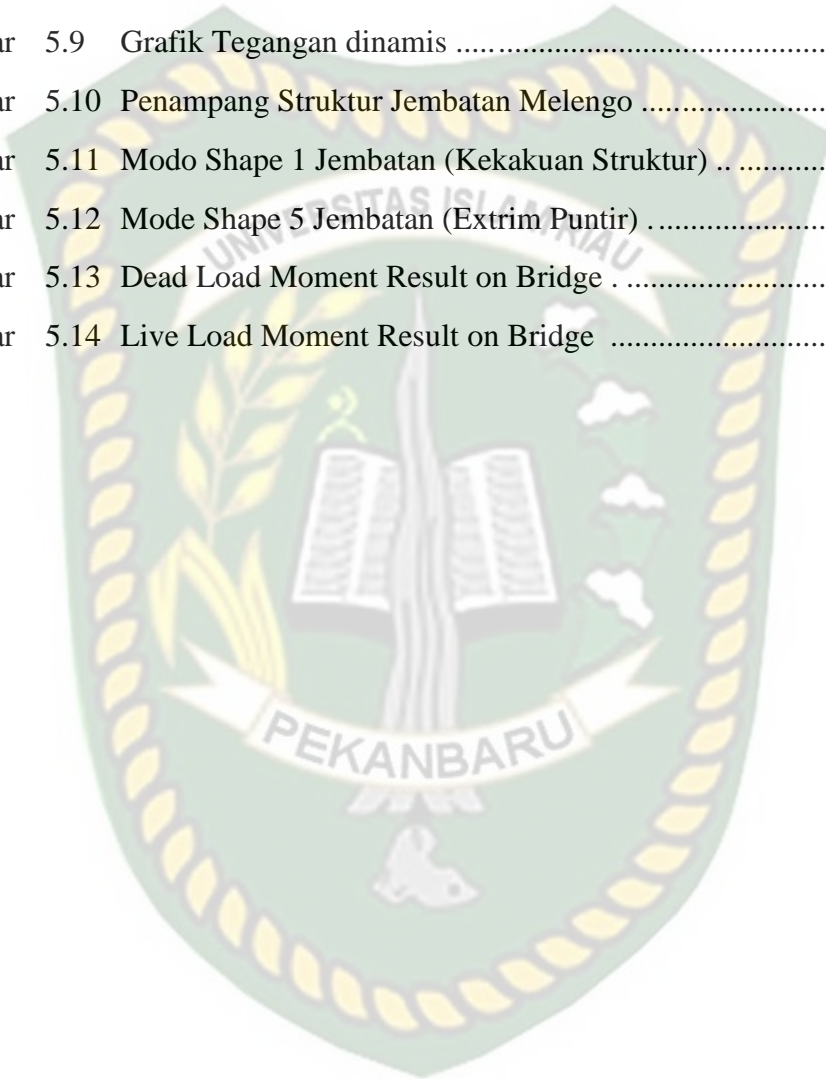
## DAFTAR TABEL

Tabel	2.1	Pembesaran Dinamis Pada Jembatan 4 Kobar Tipe BGC bentang 54.6 m.....	6
Tabel	2.2	Pembesaran Dinamis Pada Jembatan 4 Kabor Tipe PCI-Girder bentang 106 m.....	6
Tabel	2.3	Pembesaran Dinamis Pada Jembatan 4 Kabor Tipe PCI-Girder bentang 106 m.....	7
Tabel	2.4	Komparasi Frekuensi Natural Jembatan Siak II.....	12
Tabel	3.1	Kriteria penilaian terhadap Struktur.....	17
Tabel	3.2	Nilai Kerusakan Struktur.....	17
Tabel	4.1	Pemasangan Strain Gauge.....	38
Tabel	4.2	Berat Truk dan Muatan .....	39
Tabel	4.3	Kombinasi Beban Dinamis .....	41
Tabel	5.1	Keterangan Sensor Strain Gauge .....	49
Tabel	5.2	Regangan Dinamis Jembatan Melengo.....	50
Tabel	5.3	Lendutan Aktual Pengujian Pembebanan Dinamis.....	51
Tabel	5.4	Nilai Lendutan Pengujian Dan Lendutan Initial .....	52
Tabel	5.5	Frekuensi Aktual Jembatan Melengo.....	53
Tabel	5.6	Kesimpulan Nilai Kondisi Elemen Struktur Jembatan .....	54
Tabel	5.7	Nilai Tegangan Dinamis .....	56
Tabel	5.8	Regangan Statis Aktual Jembatan Melengo .....	57
Tabel	5.9	Pembesaran Dinamis Pada Jembatan Melengo.....	58
Tabel	5.10	Komparasi Frekuensi Aktual & Natural Jembatan Melengo. ....	63
Tabel	5.11	Force Result Based on Analysis Loading Test .....	65
Tabel	5.12	Estimation of Rating Factor (RF) .....	66

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Dokumentasi Pekerjaan .....	2
Gambar 2.1	Dinamis dengan Jump Test .....	9
Gambar 2.2	Grafik Akselerasi Hasil Pengujian Jembatan Siak II .....	10
Gambar 2.3	Nilai Frekuensi pada Jembatan Siak II Sampel 1 .....	11
Gambar 2.4	Nilai Frekuensi pada Jembatan Siak II Sampel 2 .....	11
Gambar 2.5	Nilai Frekuensi pada Jembatan Siak II Sampel 3 .....	11
Gambar 2.6	Nilai Frekuensi pada Jembatan Siak II Sampel 4 .....	12
Gambar 3.1	Skema Umum Pengukuran Dinamik .....	20
Gambar 3.2	Accelerometer .....	21
Gambar 3.3	Contoh Respon Jembatan Akibat Beban Impuls Dalam, Time Domain (kiri) Frekuensi Domain (kanan) .....	25
Gambar 4.1	Data Acquisition Instrument .....	32
Gambar 4.2	Strain Gauge .....	32
Gambar 4.3	Sensor Accelerometer .....	32
Gambar 4.4	Sensor LVDT .....	33
Gambar 4.5	Bagan Alur Tahapan Penelitian .....	35
Gambar 4.6	Tampak Atas Lokasi Pemasangan Sensor Pada Bentang Jembatan .....	36
Gambar 4.7	Tampak Samping Lokasi Pemasangan Sensor Pada Bentang Jembatan .....	36
Gambar 4.8	Pelaksanaan Pemasangan Sensor Pada Bentang Jembatan .....	37
Gambar 4.9	Jenis Dump Truk Uji .....	38
Gambar 4.10	Proses Setup Recording Data .....	40
Gambar 4.11	Skema Pembebanan Dinamis .....	41
Gambar 5.1	Kondisi Arch Beam .....	43
Gambar 5.2	Kondisi Hanger .....	44
Gambar 5.3	Kondisi Edge Beam .....	44

Gambar 5.4	Kondisi Cross Beam .....	45
Gambar 5.5	Kondisi Slab .....	46
Gambar 5.6	Kondisi Abutment .....	46
Gambar 5.7	Kondisi Pipa Cucuran .....	47
Gambar 5.8	Kondisi Railing .....	48
Gambar 5.9	Grafik Tegangan dinamis .....	57
Gambar 5.10	Penampang Struktur Jembatan Melengo .....	61
Gambar 5.11	Modo Shape 1 Jembatan (Kekakuan Struktur) ..	62
Gambar 5.12	Mode Shape 5 Jembatan (Extrim Puntir) .....	62
Gambar 5.13	Dead Load Moment Result on Bridge ..	64
Gambar 5.14	Live Load Moment Result on Bridge .....	64





# ANALISA STRUKTUR JEMBATAN MELENGO KABUPATEN SIAK TERHADAP HASIL UJI BEBAN DINAMIS

Ari Nufizal  
NPM:153120028

## ABSTRAK

*Jembatan Melengo merupakan salah satu jembatan yang ada di Kabupaten Siak, keberadaannya bukan hanya sebagai infrastruktur transportasi, bentuknya yang menyerupai kupu-kupu dijadikan sebagai salah satu objek wisata. Namun, dibalik kemegahannya juga menyimpan keunikan secara tehnik, dimana perletakan jembatan tersebut dibuat jepit kedua sisinya, hal ini tidak biasa dilakukan. Jembatan dengan struktur rangka baja arch taper box dengan panjang bentang 75m dengan struktur utama 66 m dan lebar bentang 8.5m Penelitian ini untuk mengetahui kondisi aktual jembatan dibandingkan dengan natural jembatan dengan cara pengujian loading test secara dinamis. Sensor yang digunakan yaitu strain gauge, accelerometer dan LVDT. Pengujian dilakukan dengan cara memberi beban menggunakan dump truk dengan beban 15 ton yang melewati jembatan dengan kecepatan 10 km/jam, 20 km/jam, 30 km/jam dan 40 km/jam serta tanpa speed trap, posisi kendaraan melalui jembatan ditengah badan jembatan. Nilai lendutan maksimum yang terjadi pada pengujian pembebanan dinamis terjadi pada skema 4 dengan kecepatan truk 40 km/jam dengan nilai lendutan hasil LVDT sebesar 11,37 mm. Nilai pembesaran dinamis (DLA – dynamic load allowance) berdasarkan hasil pengujian dan komparasi data diatas dapat disimpulkan bahwa pada jembatan melengo didapat hasil maksimum DAF = 1,35. Komparasi frekuensi aktual dan frekuensi natural jembatan melengo menghasilkan frekuensi sebesar 3,91 Hz, lebih besar dari frekuensi srtuktur jembatan hasil perhitungan yaitu 2,17 Hz, kriteria kondisi jembatan adalah baik dan tidak ada kerusakan. Hal ini membuktikan bahwa struktur eksisting jembatan lebih kaku dibandingkan dengan modeling struktur pada software. Rating factor (diagnostic load testing) jembatan melengo berdasarkan pengujian didapat nilai RF yang terkecil adalah RF inventory rating pada momen di elemen cross beam dengan nilai 1,17 dan 1,96 pada RF operating rating. Nilai RF > 1 mengindikasikan bahwa beban yang dipakai pada muatan harian aman terhadap jembatan teruji dengan kecepatan truk maksimum 20 km/jam. Beban Inventory Maksimum = 1,17 x 15 ton = 17,55 ton dan beban operating maksimum = 1,96 x 15 ton = 29,4 ton.*

**Kata Kunci :** jembatan, dinamis loading test, frekuensi, lendutan, beban inventory maksimum, beban operating maksimum



Dokumen ini adalah Arsip Milik :

**Perpustakaan Universitas Islam Riau**

## STRUCTURAL ANALYSIS OF MELENGO BRIDGE OF SIAK REGENCY DUE TO DYANMIC LOAD TEST RESULTS

Ari Nufizal  
NPM: 153120028

### ABSTRACT

*The Melengo Bridge is one of the bridges in Siak Regency, its existence not only as a transportation infrastructure, its shape resembling a butterfly is used as a tourism object. However, behind its grandeur also saves the uniqueness of the technique, where the placement of the bridge pinched both sides, this is not usually done. Bridge with an arch taper box steel frame structure with a span length of 75m with a main structure of 66m and a span width of 8.5m. This study is to determine the actual condition of the bridge compared to the natural bridge by dynamically loading test. The sensors used are strain gauge, accelerometer and LVDT. Testing is done by giving a load using a dump truck with a load of 15 tons that passes the bridge at speeds of 10 km / hour, 20 km / hour, 30 km / hour and 40 km / hour and without a speed trap, the position of the vehicle through the bridge in the middle of the bridge body. The maximum deflection value that occurs in dynamic loading testing occurs in scheme 4 with a truck speed of 40 km / h with a yield deflection value of LVDT of 11.37 mm. The value of dynamic magnification (DLA - dynamic load allowance) based on the results of testing and comparison of the data above can be concluded that on the Melengo Bridge, the maximum result is  $DAF = 1.35$ . Comparison of the actual frequency and natural frequency of the Melengo Bridge produces a frequency of 3.91 Hz, greater than the calculated bridge structure frequency of 2.17 Hz, the criteria for the bridge condition are good and there is no damage. This proves that the existing bridge structure is more rigid compared to structural modeling in software. The rating factor (diagnostic load testing) of the Melengo Bridge based on the test shows that the smallest RF value is the RF inventory rating at the moment in the cross beam element with a value of 1.17 and 1.96 at the RF operating rating. RF values  $> 1$  indicate that the load used on daily loads is safe against the bridge with a maximum truck speed of 20 km / h. Maximum Inventory Load =  $1.17 \times 15 \text{ tons} = 17.55 \text{ tons}$  and maximum operating load =  $1.96 \times 15 \text{ tons} = 29.4 \text{ tons}$ .*

**Keywords** : bridge, dynamic loading test, frequency, deflection, maximum inventory load, maximum operating load

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Jembatan Melengo atau sering disebut jembatan kupu-kupu merupakan jembatan berlokasi di Kampung Tengah Kecamatan Mempura, Kabupaten Siak. Jembatan ini digunakan untuk muatan ringan dan paling besar hanya truk dengan kapasitas maksimum 30 ton yang sering melewati. Jembatan ini bertipe struktur Rangka Baja *Arch Taper Box* dengan panjang bentang 75 m dan lebar bentang 8,5 m. Keresahan warga akibat jembatan dirasa bergoyang menjadi dasar dilakukan penelitian dengan cara pengujian dinamis yang bertujuan untuk mengetahui perilaku struktur jembatan ketika saat dibebani beban berjalan.

Jembatan direncanakan dengan tujuan utama untuk tujuan wisata, secara geografis posisi jembatan ini berhadapan langsung dengan Istana Siak dan Masjid Raya Syahabudin Siak di seberang sungai Siak. Konsep pembangunan yang mengkombinasikan antara tradisional dan modern menjadi dasar lahirnya ide kreatif untuk membuat jembatan ini. Jembatan ini memiliki keunikan tersendiri yaitu melengkung seperti kupu-kupu, sehingga dikenal dengan sebutan jembatan kupu-kupu. Dengan bentang sepanjang 75 meter dan lebar 10 meter, perletakan jembatan tersebut adalah jepit pada ke dua sisinya maka secara teknis dimasukkan ke dalam kategori jembatan non standar. Selanjutnya yang membuat jembatan ini menarik untuk diteliti adalah lendutan yang terjadi saat ini melengkung ke bawah. Berdasarkan penjelasan di atas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian pada Jembatan Melengo .



**Gambar 1.1** Dokumentasi Jembatan

### 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, ada beberapa kajian masalah yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi jembatan pada saat ini, apakah kondisi jembatan saat ini masih memenuhi syarat untuk digunakan?
2. Bagaimana tegangan yang terjadi pada elemen jembatan apabila jembatan tersebut dilalui oleh kendaraan?
3. Dengan lendutan yang terjadi saat ini apakah masih dalam batas toleransi yang diizinkan?

4. Bagaimana kondisi jembatan jika diberi beban dinamis apabila dilihat dari frekuensi jembatan?
5. Bagaimana dengan beban yang selama ini melewati jembatan, perlukah dilakukan pembatasan beban kendaraan?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui apabila dilakukan pemeriksaan visual pada jembatan apakah telah terjadi kerusakan
2. Untuk mengetahui nilai tegangan maksimum yang terjadi dibandingkan dengan tegangan izin baja apabila jembatan diberi beban dinamis.
3. Untuk mengetahui nilai pembesaran dinamis pada jembatan apakah masih memenuhi syarat jika dibandingkan dengan nilai pembesaran dinamis izin jembatan.
4. Untuk mengetahui lendutan jembatan apabila dibebani beban dinamis jika dibandingkan dengan lendutan izin.
5. Untuk mengetahui frekuensi jembatan dan dibandingkan antara frekuensi aktual dan natural jembatan
6. Untuk mengetahui kendaraan maksimal yang boleh melewati jembatan dengan menggunakan metode *rating factor*.

### **1.4. Manfaat Penelitian**

Manfaat dalam penelitian ini adalah untuk menambah ilmu pengetahuan dan juga informasi terkait pengujian jembatan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang pengujian jembatan terutama pengujian dinamis

Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan nilai tambah dari beberapa sudut pandang yaitu :

1. Memberikan tambahan wawasan dalam melakukan pengujian jembatan, terutama pengujian dinamis
2. Memberikan informasi pada pemangku kepentingan mengenai kondisi jembatan serta langkah-langkah pengamanan jembatan agar jembatan dapat berfungsi sesuai dengan umur rencana dan tujuan pembangunannya.
3. Sebagai referensi untuk melakukan perencanaan dan pembangunan jembatan dengan tipe yang sama.

#### **1.5. Batasan Masalah**

Batasan masalah ini memuat masalah-masalah yang dibahas secara spesifik dalam penelitian ini, yakni:

1. Lokasi penelitian adalah Jembatan Melengo di Kecamatan Mempura, Kabupaten Siak.
2. Penelitian ini menggunakan pembebanan dinamis dan dilakukan sesuai dengan standar yang berlaku, data primer yang digunakan didapat melalui loading test secara dinamis dengan peralatan yang standar dengan meletakkan sensor-sensor pada posisi tertentu.
3. Analisa struktur dilakukan dengan menggunakan Software midas civil versi 2019 v1.1, input beban mati disesuaikan dengan kondisi aktual jembatan dan beban hidup disesuaikan dengan kombinasi pembebanan pada pengujian tanpa memperhitungkan beban gempa dan angin sama dengan kondisi pada saat pengujian.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Untuk memastikan kondisi elemen – elemen struktur jembatan dalam kondisi baik serta mengetahui respon jembatan terhadap beban yang bekerja pada struktur dan mengetahui kemampuan jembatan terhadap kapasitas layannya perlu dilakukan pengujian. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian khusus beban statik dan pengujian beban dinamik. Pengujian beban dinamik yaitu perekaman perilaku dinamik jembatan saat diberikan beban dinamik pada struktur jembatan, maka sebagai tinjauan pustaka pada tesis ini diambil dari hasil laporan pemeriksaan statis dan dinamis Jembatan 4 Kota Baru Parahyangan Jawa Barat (2019), laporan hasil uji beban Jembatan Siak II Kota Pekanbaru (2018), Berikutnya adalah Jurnal analisis kapasitas jembatan rangka baja Austria tipe A60 dengan menggunakan *software Midas Civil* (2014).

Laporan pemeriksaan statis dan dinamis jembatan 4 Kota Baru Parahyangan Jawa Barat telah dilakukan pengujian dikhususkan pengujian dinamis. Data umum jembatan terdiri dari 4 bentang, tipe *box girder cantilever* 3 bentang (bentang 54,6 m, 106 dan 54,6 m) dan 1 bentang jembatan tipe *PCI Girder* (bentang 36,9 m).

Frekuensi aktual tinjauan berdasarkan hasil puncak pertama terkecil dari semua arah dan dirata-ratakan. Frekuensi aktual inilah yang akan dijadikan tinjauan yang akan dikomparasi dengan frekuensi natural. Hasil kesimpulan frekuensi aktual tinjauan pada jembatan 4 Kota Baru Parahyangan Tipe *PCI Girder* adalah Hasil



Puncak Getaran Pertama = 0.98 Hz, Puncak Getaran Kedua = 3.78 Hz, Puncak Getaran Ketiga = 7.14 Hz, Puncak Getaran Keempat = 10.72 Hz.

Nilai pembesaran dinamis pada 2 tipe jembatan kota 4 baru parahyangan. Tipe tersebut pada jembatan tipe *Box girder cantilever* dan *PCI Girder*. Berikut adalah hasil nilai pembesaran dinamis (DAF) berdasarkan hasil pengujian.

**Tabel 2.1** Pembesaran Dinamis Pada Jembatan 4 Kobar Tipe BGC Bentang 54,6 m

<b>Regangan Aktual Box Girder (Tumpuan) (54.6 m)</b>			
No Sensor	Nilai Tegangan Aktual (Mpa)		
	STG 4 (4a)	STG 5 (4b)	STG 6 (4c)
Regangan Statis	-25	-23	-42
Regangan Dinamis	-20	-26.8	-46.2
DAF (Regangan dinamis / Regangan Statis/=)	0.8	1.17	1.1
<b>Regangan Aktual Pilar Box Girder (54.6 m)</b>			
No Sensor	Nilai Tegangan Aktual (Mpa)		
	STG 1 (3a)	STG 2 (3b)	STG 3 (3c)
Regangan Statis	62	67	66
Regangan Dinamis	33.8	25.7	21.2
DAF (Regangan dinamis / Regangan Statis/=)	0.55	0.38	0.32

**Tabel 2.2** Pembesaran Dinamis Pada Jembatan 4 Kobar Tipe BGC Bentang 106 m

<b>Regangan Aktual Box Girder (Tumpuan) (105 m)</b>			
No Sensor	Nilai Regangan Aktual (Mikrostrain)		
	STG 4 (4a)	STG 5 (4b)	STG 6 (4c)
Regangan Statis	-28	-21	-45
Regangan Dinamis	-8.1	-6.3	-6.7
DAF (Regangan dinamis / Regangan Statis)	0.29	0.3	0.15
<b>Regangan Aktual Pilar Box Girder (105 m)</b>			
No Sensor	Nilai Regangan Aktual (Mikrostrain)		
	STG 1 (3a)	STG 2 (3b)	STG 3 (3c)
Regangan Statis	-55	-59	-58

Regangan Dinamis	-14	-18.9	-15
DAF (Regangan dinamis / Regangan Statis)	0.26	0.32	0.26
<b>Regangan Aktual Box Girder (Tengah Bentang) (105 m)</b>			
No Sensor	Nilai Regangan Aktual (Mikrostrain)		
	STG 13 (5a)	STG 14 (5b)	STG 15 (5c)
Regangan Statis	26	24	35
Regangan Dinamis	14.9	12.9	15.7
DAF (Regangan dinamis / Regangan Statis)	0.57	0.54	0.45

**Tabel 2.3** Pembesaran Dinamis Pada Jembatan 4 Kobar Tipe PCI-Girder

Deskripsi	Nilai Regangan Aktual (Mikrostrain)				
	STG 1 Girder	STG 2 Girder	STG 3 Girder	STG 4 Girder	STG 5 Pelat
Regangan Statis	37	42	19	22	-32
90 meter $K = 1 +$ Regangan Dinamis	35	47	21	24	-41
DAF (Regangan dinamis / Regangan Statis/=)	0.95	1.12	1.11	1.09	1.28

1. Pada jembatan tipe *box girder cantilever* (bentang 106 dan 54,6 m) didapat hasil maksimum DAF = 1,17 < 1,4. Persyaratan DAF < DLA telah memenuhi syarat
2. Pada jembatan tipe *PCI Girder* (bentang 36,9 m) didapat hasil maksimum DAF = 1,12 < 1,4. Persyaratan DAF < DLA telah memenuhi syarat.

Untuk Penentuan Frekuensi puncak aktual yang dipakai adalah struktur jembatan tipe BGC berdasarkan nilai frekuensi natural yang didapat. Untuk struktur PCI girder pengambilan puncak frekuensi dan frekuensi berdasarkan puncak pertama dan frekuensi alami secara analisis.

1. Pengujian getaran pada Jembatan 4 Kota Baru Parahyangan Tipe BGC menghasilkan frekuensi sebesar  $1.46 \text{ Hz} < 1.47 \text{ Hz}$  (Moda ke 2) dan  $3.35 < 3.38$ , kriteria kondisi jembatan adalah baik dan tidak ada kerusakan.
2. Pengujian getaran pada Jembatan 4 Kota Baru Parahyangan Tipe *PCI Girder* menghasilkan frekuensi sebesar  $0,98 \text{ Hz} < 1.045 \text{ Hz}$  dan  $3.78 \text{ Hz} < 2.52 \text{ Hz}$  , Pada Keadaan moda awal Frekuensi aktual  $<$  Frekuensi Natural, Kriteria Kondisi Jembatan = *Good Enough*- Kerusakan Minor (Non-Struktural) ; pada keadaan kritis (Torsi) Frekuensi Aktual  $>$  Frekuensi Alami, kriteria kondisi = baik dan tidak ada kerusakan.

Laporan Uji Beban Jembatan Siak II Kota Pekanbaru (2019), yang dibangun dengan struktur atas *Box Gider Balanced Cantilever* dan Pilar Beton pada struktur bawah memiliki bentang 200 meter ( $50 + 100 + 50$ ) dengan lebar 11,90 meter, pondasi menggunakan tiang pancang baja diameter 60 centimeter dengan jumlah lintasan 2 jalur 2 arah, pengujian dilakukan untuk mendapatkan respon yang sesungguhnya dari struktur jembatan terhadap beban aktual mengetahui kekuatan struktur dan perilaku getaran dan beban terhadap rencana.

Pada jembatan Siak II Pekanbaru untuk pengujian beban dinamik pada struktur atas jembatan dilakukan dengan *jump test*, yaitu dimana sebuah dump truk kosong sumbu tunggal bergerak dengan kecepatan rendah (20 – 30 km/jam) melewati balok kayu ukuran 8 x 10 centimeter. Akibat *jumping* tersebut, dump truk akan menyebabkan getaran pada struktur jembatan. Alat pengukur getaran berupa akselerometer ditempatkan pada tengah bentang yang akan diuji. Alat getar yang

digunakan yaitu sensor akselerometer 2 buah yang diletakkan ditengah bentang, *STS wifi Node* dan *STS Wifi base Station* dari *bridge Diagnostic Inc, USA*.

Sensor akselerometer dipasang dalam 2 posisi berbeda untuk merekam getaran dalam berbagai arah, yaitu :

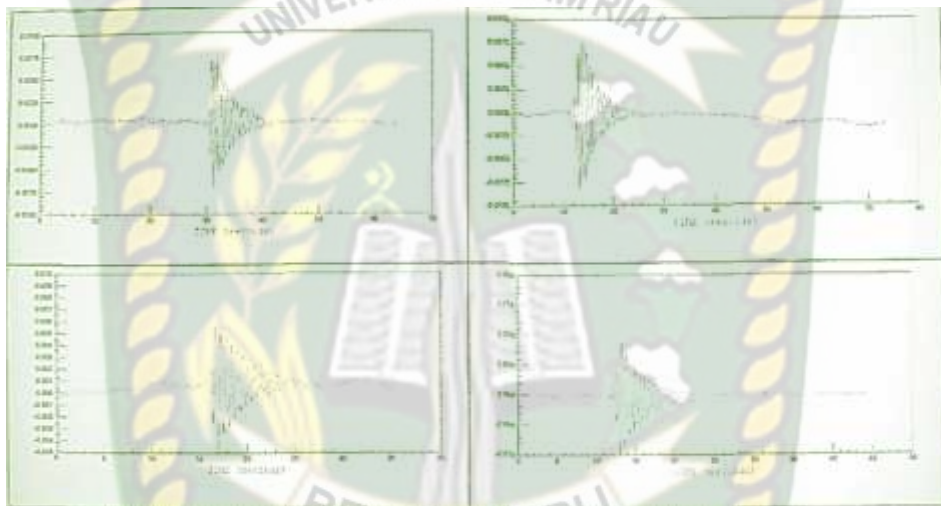
1. Sensor akselerometer dengan kode **A2015** untuk merekam getaran pada arah vertikal dipasang ditengah jembatan.
2. Sensor akselerometer dengan kode **A2016** untuk merekam getaran pada arah melintang jembatan, terpasang pada  $\frac{1}{4}$  atau  $\frac{3}{4}$  bentang.



**Gambar 2. 1** Dinamis dengan Jump Test

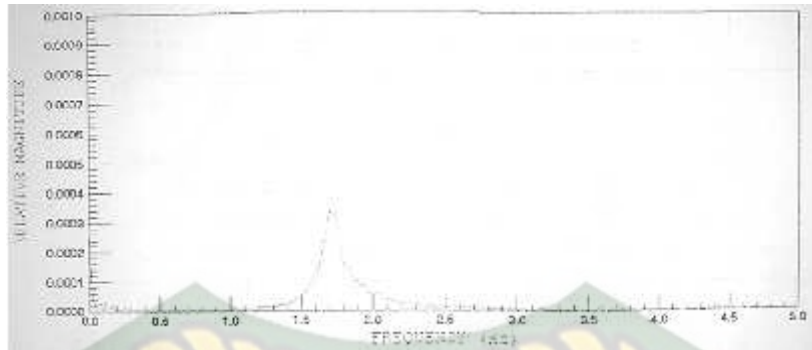
Sedangkan jembatan Siak II Pekanbaru digunakan akselerometer untuk mencatat getaran yang terjadi akibat beban impal dari truk uji dalam arah vertikal dan pemasangan sensor agar hasilnya lebih realistis dilakukan di plat beton sehingga perlu dilakukan pembongkaran terlebih dahulu. Dalam pengujian ini digunakan truk PS 110 atau truk dengan satu sumbu dibelakang yang melewati balok sehingga menimbulkan getaran di jembatan yang terekam dengan *accelerometer*.

Dari 4 (empat) kali hasil pengujian didapat hasil sebagai berikut :

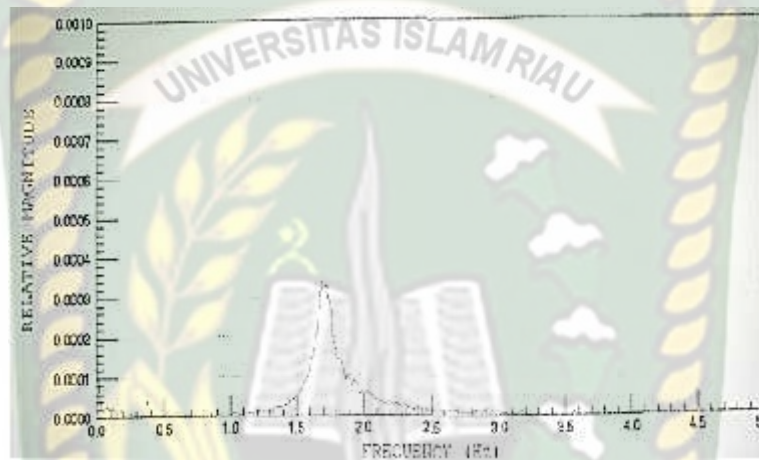


**Gambar 2. 2** Grafik Akselerasi Hasil Pengujian Jembatan Siak II

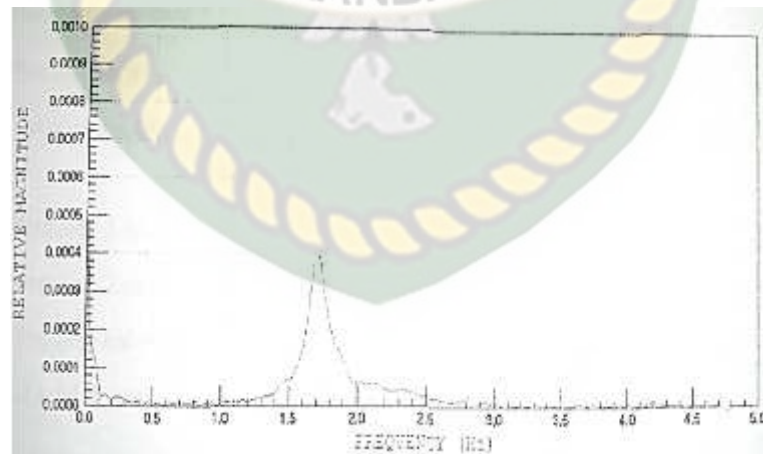
Dari grafik gambar 2.2, maka dilakukan formulasi dengan FFT (*Fast Fourier Transformation*) untuk mengetahui besarnya frekuensi yang terjadi pada jembatan tersebut. Berikut adalah hasil transformasi yang telah dilakukan berdasarkan hasil pengujian.



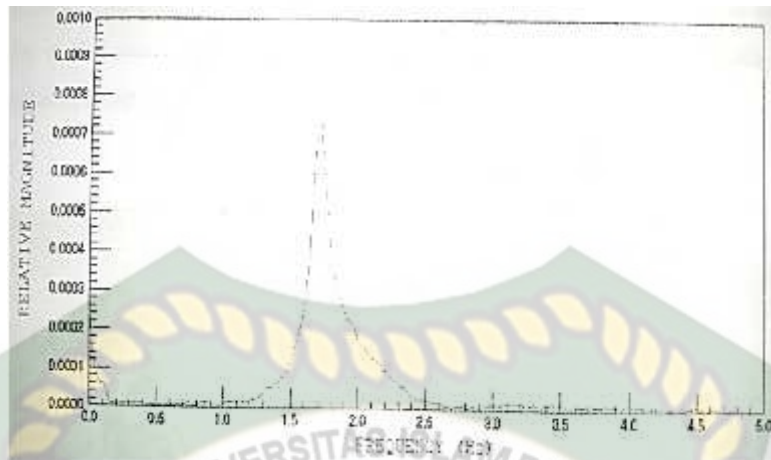
**Gambar 2. 3** Nilai Frekuensi pada Jembatan Siak II sampel 1



**Gambar 2. 4** Nilai Frekuensi pada Jembatan Siak II sampel 2



**Gambar 2. 5** Nilai Frekuensi pada Jembatan Siak II sampel 3



**Gambar 2.6** Nilai Frekuensi pada Jembatan Siak II sampel 4

Pada jembatan Siak II Pekanbaru, hasil frekuensi aktual yang terukur dalam arah vertikal hampir sama dengan frekuensi natural rencana, hal tersebut juga mengindikasikan jembatan memiliki kekuatan yang cukup baik.

**Tabel 2. 4** Komparasi Frekuensi Natural Jembatan Siak II

Lokasi Pengujian	Bentang (M)	Frekuensi (Hz)	
		Rencana	Aktual
Jembatan Siak II	100	1,63	1,7

Berdasarkan Jurnal analisis kapasitas jembatan rangka baja Austria tipe A60 dengan menggunakan *software midas civil* (studi kasus jembatan pintu air sepuluh), panjang bentang 60 m, diperoleh nilai frekuensi sebesar 2,089 Hz dan lendutan maksimum sebesar 22,1 mm. Nilai frekuensi pada model natural adalah 2,552 Hz, sedangkan nilai frekuensi dari pengujian frekuensi aktual di lapangan yaitu 2,08 Hz, lebih besar frekuensi natural artinya jembatan tidak aman. Pada pemodelan aktual nilai lendutan yang terjadi akibat kombinasi beban layan dan *ultimate* dibandingkan dengan nilai lendutan ijin  $L/800$  (dengan L merupakan panjang

bentang jembatan) yaitu sebesar 75 mm, artinya lendutan yang terjadi akibat beban dinamis masih lebih kecil dari lendutan izin jembatan.

## 2.2 Keaslian Penelitian

Penelitian atau hasil laporan yang dihasilkan bertujuan menganalisa pembebanan terhadap struktur bangunan, baik dengan metode statik ataupun dinamik agar dapat diketahui terjadi kerusakan ataupun penurunan struktur.

Yang membedakan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah lokasi dan struktur jembatan yang menjadi objek penelitian, penggunaan *loading test* langsung dilakukan terhadap objek jembatan tanpa menggunakan *prototype*. Hal ini dapat langsung menjawab seluruh permasalahan dan keraguan terhadap jembatan tersebut. Perencanaan stuktur jembatan yang selama ini hanya menggunakan rumus-rumus pendekatan atau empiris akan langsung dibuktikan melalui penelitian ini dengan cara pengujian beban dinamis.



## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Umum

Pengertian jembatan secara umum adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai, danau, saluran irigasi, kali, jalan kereta api, jalan raya yang melintang tidak sebidang dan lain-lain.

Jenis jembatan berdasarkan fungsi, lokasi, bahan konstruksi dan tipe struktur sekarang ini telah mengalami perkembangan pesat sesuai dengan kemajuan jaman dan teknologi, mulai dari yang sederhana sampai pada konstruksi yang mutakhir.

#### 3.2 Struktur Jembatan

Struktur jembatan dibagi menjadi dua bagian yaitu bangunan bawah dan bangunan atas yang memiliki fungsi masing-masing, secara umum dapat dijelaskan sebagai berikut

##### 3.2.1. Bangunan atas jembatan (*Superstructure*)

Bangunan atas jembatan terdiri dari:

- a. *Girder* atau gelagar adalah balok yang membentang secara memanjang maupun melintang diantara dua penyangga (*abutment* atau *pier*) jembatan yang berfungsi untuk menerima dan menyebarkan beban yang bekerja dari atas jembatan dan meneruskannya ke bagian struktur bawah jembatan.

- b. *Deck* atau pelat lantai jembatan adalah seluruh lebar bagian jembatan yang digunakan untuk lalu lintas kendaraan dan merupakan struktur pertama jembatan yang menerima beban dan meneruskan beban ke gelagar utama.

### 3.2.2. Bangunan bawah jembatan (*Substructure*)

Bangunan atas jembatan terdiri dari:

- a. *Abutment* adalah bangunan bawah tumpuan struktur jembatan yang terletak pada kedua ujung pilar-pilar jembatan, berfungsi sebagai pemikul seluruh beban hidup (angin, kendaraan, dll) dan beban mati (beban gelagar, dll) pada jembatan dan meneruskan ke pondasi.
- b. Pondasi adalah bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi untuk menempatkan bangunan dan meneruskan beban yang disalurkan dari struktur atas ke tanah dasar pondasi yang cukup kuat menahannya tanpa terjadinya *differential settlement* pada sistem strukturnya.

### 3.3. Pengujian Jembatan

Sebelum dilakukan pengujian pembebanan pada struktur jembatan, terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan visual. Pemeriksaan visual ini bertujuan untuk memperoleh data dan informasi mengenai keadaan di lapangan. Dari hasil tersebut diharapkan dapat diperoleh gambaran mengenai jenis-jenis kerusakan yang ada pada jembatan.

Pemeriksaan detail dilakukan dengan menggunakan indera penglihatan untuk memeriksa setiap elemen-elemen jembatan, yang kemudian setiap jenis kerusakan serta lokasi kerusakan akan didokumentasikan.

Sistem penilaian elemen untuk elemen yang rusak terdiri atas serangkaian pertanyaan yang berjumlah lima mengenai kerusakan yang ada. Pertanyaan-pertanyaan tersebut berkaitan dengan hal-hal berikut:

- Struktur - apakah struktur dalam keadaan berbahaya atau tidak
- Kerusakan - sampai manakah tingkat kerusakan yang telah dicapai karena kerusakan tersebut, parah atau ringan
- Perkembangan (Volume) - apakah kerusakan tersebut sudah atau belum meluas, artinya apakah kerusakan tersebut terdapat pada kurang atau lebih dari 50% dari panjang, luas atau volume elemen.
- Fungsi - apakah elemen tersebut masih berfungsi
- Pengaruh - apakah elemen yang rusak mempunyai dampak yang serius terhadap elemen yang lain atau arus lalu lintas

Suatu nilai yang diberikan sebesar 1 atau 0 diberikan kepada elemen sesuai dengan setiap kerusakan yang ada, menurut kriteria yang diperlihatkan dalam tabel 3.1.

**Tabel 3. 1** Kriteria penilaian terhadap Struktur

Nilai	Kriteria	Nilai
Struktur (S)	Berbahaya	1
	Tidak berbahaya	0
Kerusakan (R)	Dicapai sampai kerusakan parah	1
	Dicapai sampai kerusakan ringan	0
Perkembangan (K)	meluas > 50 % atau lebih mempengaruhi kerusakan	1
	Tidak meluas-kurang dari 50 % atau tidak lebih mempengaruhi kerusakan	0
Fungsi (F)	Elemen tidak berfungsi	1
	Elemen berfungsi	0
Pengaruh (P)	Dipengaruhi elemen lain	1
	Tidak dipengaruhi elemen lain	0
<i>NILAI KONDISI (NK)</i>	$NK = S + R + K + F + P$	0 - 5

Sistem penilaian kondisi elemen atau jembatan untuk pengamatan visual adalah seperti pada tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Nilai Kerusakan Struktur

0	Elemen / jembatan dalam kondisi baik dan tanpa kerusakan
1	Elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin
2	Elemen / jembatan mengalami kerusakan yang memerlukan pemantauan atau pemeliharaan berkala
3	Elemen / jembatan mengalami kerusakan yang memerlukan tindakan secepatnya
4	Elemen / jembatan dalam kondisi kritis
5	Elemen/ jembatan tidak berfungsi atau runtuh

Pengujian jembatan memiliki tujuan untuk menentukan kapasitas atau kemampuan dari suatu jembatan dalam menerima beban. Pada pelaksanaannya, ada 3 (tiga) jenis pengujian jembatan yang sering digunakan di lapangan.

### **3.3.1 Uji Beban Statik**

Pengujian beban statik umumnya dilakukan dengan cara menempatkan beban-beban di atas jembatan, pada kondisi ini beban tidak bergerak, beban yang digunakan adalah beban truk. Pengujian ini biasanya dilakukan untuk mengetahui kapasitas jembatan untuk menahan beban yang diterima. Besarnya beban yang diberikan dilakukan secara bertahap. Proses pemberian beban disebut dengan tahap *loading* sedangkan proses dimana beban dikurangi disebut tahap *unloading*. Pengujian ini menggunakan alat uji yaitu sensor.

### **3.3.2. Uji Beban Dinamik**

Pengujian beban dinamik jembatan dilakukan dengan cara melewati beban dalam hal ini kendaraan dari satu sisi ke sisi lain dari jembatan. Sama halnya dengan uji statik, uji dinamik jembatan juga dibantu dengan alat uji atau sensor untuk mendapatkan hasil pengujian. Biasanya pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya getaran yang terjadi pada jembatan.

### **3.3.3. Uji Beban dengan Metode Terintegrasi**

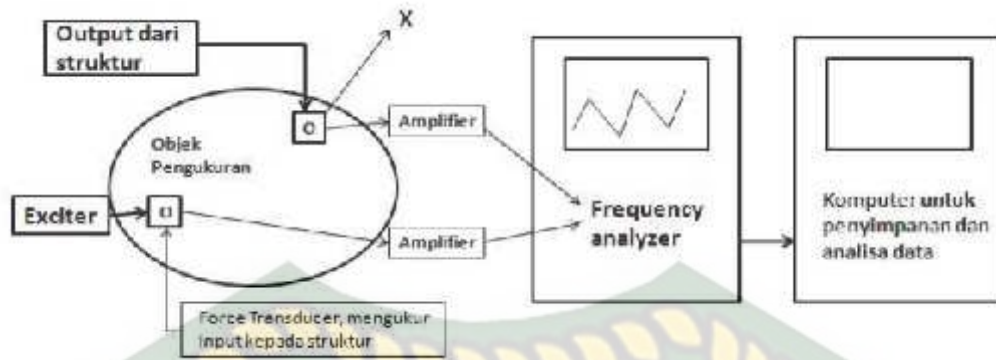
Pengujian beban jembatan dengan metode terintegrasi sudah banyak dilakukan. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan model yang sesuai atau dengan kata lain pengujian ini bertujuan untuk mengkalibrasi model. Model yang dimaksud adalah jembatan dimana pemodelan dalam metode ini dibantu oleh program. Metode ini sendiri merupakan gabungan dari pengujian yang dilakukan dilapangan dengan pemodelan yang dilakukan pada program.

### **3.4. Pengujian Dinamik Jembatan**

Pengujian jembatan dilakukan untuk mengetahui kemampuan jembatan akibat pembebanan langsung. Biasanya pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya getaran yang terjadi pada saat jembatan setelah dilalui oleh beban kendaraan bergerak karena dapat menunjukkan perubahan fisik pada jembatan, misalnya parameter frekuensi alamiah. Frekuensi alamiah struktur adalah getaran yang terjadi pada suatu struktur ketika struktur tersebut tidak menerima gaya-gaya luar. Frekuensi alami struktur dipengaruhi oleh besaran properti internal struktur, yaitu kekakuan dan massa struktur. Nilai dari frekuensi alami suatu struktur akan tetap kecuali apabila struktur tersebut mengalami perubahan pada kekakuan dan masa struktur. Kerusakan yang terjadi pada struktur akan menyebabkan degradasi pada kekakuannya. Hal ini akan mempengaruhi secara langsung pada nilai frekuensi alaminya. Dengan demikian frekuensi alami merupakan indikator yang baik terhadap kerusakan yang dialami oleh suatu sistem struktur (*Mahargya Lintang, 2012*), sehingga metode ini dapat dijadikan sebagai proses validasi dalam masa perawatan jembatan.

#### **3.4.1. Proses Umum Pengukuran Dinamik**

Pengukuran dinamik dilakukan dengan berbagai macam cara, sesuai dengan tujuan data yang dibutuhkan, ataupun tipe eksitasi yang diberikan kepada struktur dan lain-lain. Namun secara umum, proses pengukuran dinamik dapat dijelaskan pada gambar 3.1



**Gambar 3.1** Skema Umum Pengukuran Dinamik

Suatu sistem struktur dieksitasi suatu gaya (*input*) yang menghasilkan respon (*output*). *Input* dan *output* diukur oleh *transducer* dan *accelerator* yang kemudian sinyalnya diperbesar oleh *amplifier*. Untuk mengukur *input* dan *output* biasanya digunakan elemen *strain gage* sensing ataupun sensor *piezoelectric* yang merubah respon fisik (*deformasi*, kecepatan ataupun percepatan) menjadi sinyal elektrik. Kemudian setelah amplifikasi sinyal, sinyal dianalisa secara otomatis oleh *frequency analyzer*, dan hasil yang didapatkan dianalisa lebih mendalam oleh tenaga ahli dan kemudian disimpan untuk keperluan lebih lanjut.

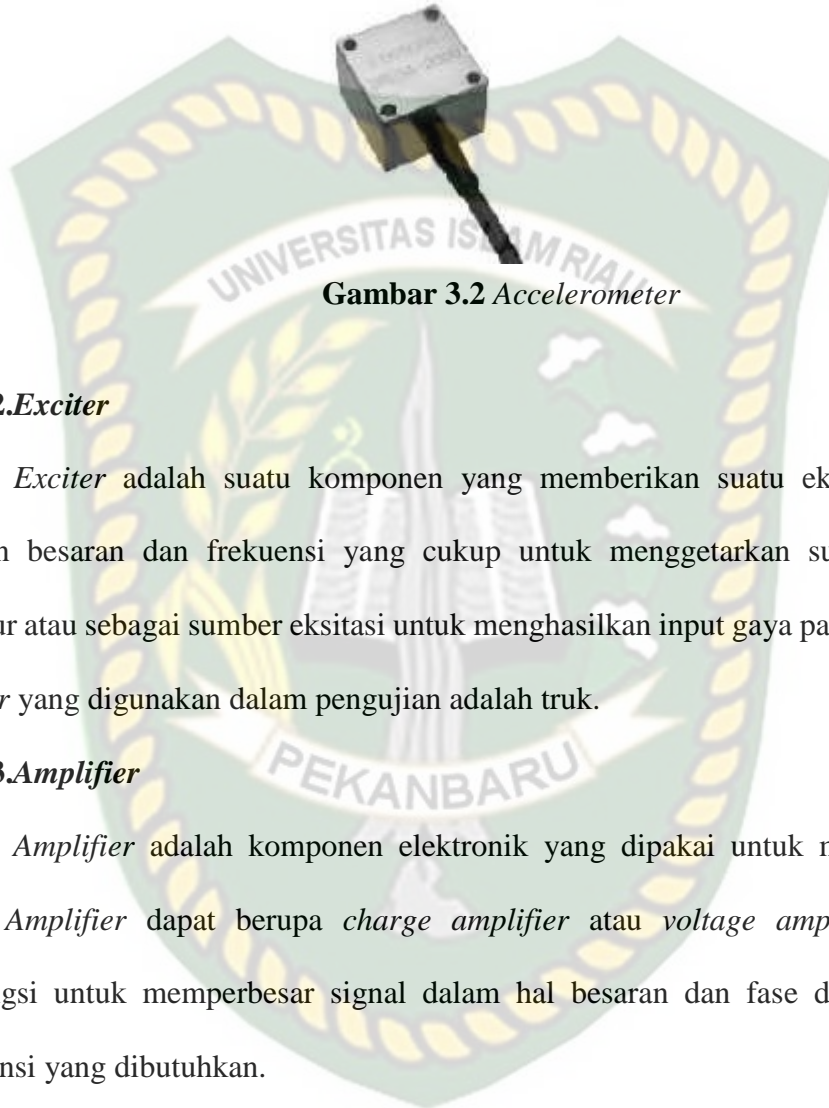
### 3.4.2. Alat Uji Dinamik

Peralatan yang digunakan dalam pengujian dinamik jembatan yaitu:

#### 3.4.2.1. Accelerometer

*Accelerometer* adalah sebuah *tranduser* yang berfungsi untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran (*vibrasi*), ataupun untuk mengukur percepatan akibat gravitasi bumi (*inklinasi*). Sensor *accelerometer* mengukur percepatan akibat gerakan benda yang melekat padanya. *Accelerometer* dapat digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi pada kendaraan, bangunan, mesin,

instalasi pengamanan, dan juga bisa digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi di dalam bumi, getaran mesin, jarak yang dinamis, dan kecepatan dengan ataupun tanpa pengaruh gravitasi bumi.



**Gambar 3.2 Accelerometer**

#### **3.4.2.2. Exciter**

*Exciter* adalah suatu komponen yang memberikan suatu eksitasi gaya dengan besaran dan frekuensi yang cukup untuk menggetarkan suatu sistem struktur atau sebagai sumber eksitasi untuk menghasilkan input gaya pada struktur. *Exciter* yang digunakan dalam pengujian adalah truk.

#### **3.4.2.3. Amplifier**

*Amplifier* adalah komponen elektronik yang dipakai untuk menguatkan daya. *Amplifier* dapat berupa *charge amplifier* atau *voltage amplifier* yang berfungsi untuk memperbesar signal dalam hal besaran dan fase diatas range frekuensi yang dibutuhkan.

### **3.5. Cara Pengujian Jembatan**

Cara pengujian di lapangan adalah sebagai berikut:

1. Siapkan sensor.
2. Tempatkan sensor pada titik-titik pengukuran getaran di bangunan atas jembatan.



3. Tempatkan alat pencatat getaran di lokasi yang aman dan bebas dari gangguan.
4. Kalibrasikan alat pencatat getaran untuk mendapatkan rekaman yang baik.
5. Lakukan penggetaran struktur bangunan atas jembatan. Selama melakukan pengujian diperlukan penutupan jembatan untuk beban tumbuk dan pengaturan lalu lintas (bila menggunakan beban kendaraan).
6. Lakukan pencatatan getaran.

### **3.6. Standar Pembebanan untuk Jembatan**

Berdasarkan RSNi T-02-2005 standar pembebanan memuat beberapa penyesuaian berikut :

1. Gaya rem dan gaya sentrifugal yang semula mengikuti Austroads, dikembalikan ke peraturan Nr. 12/1970 dan tata cara SNI 03-1725-1989 yang sesuai dengan AASHTO
2. Factor beban ultimit dari “beban jembatan” BMS-1992 direduksi dari nilai 2 ke 1,8 untuk beban hidup yang sesuai AASHTO
3. Kenaikan beban hidup layak atau normal (KBL) meliputi :
4. Beban T truk desain dari 45 ton menjadi 50 ton
  - Beban roda desain dari 10 ton menjadi 11,25 ton
  - Beban D terbagi rata (BTR) dari  $q = 8 \text{ kPa}$  menjadi  $9 \text{ kPa}$
  - Beban D garis terpusat (BGT) dari  $p = 44 \text{ kN/m}$  menjadi  $49 \text{ kN/m}$

5. Beban mati ultimit (KBU) diambil pada tingkat nominal (factor beban = 1) dalam pengecekan stabilitas geser dan guling dari pondasi langsung

### **3.7. Pengukuran Pengujian Dinamis**

Pengukuran Dinamis adalah perekaman perilaku dinamik jembatan saat diberikan beban dinamik pada struktur jembatan, pengujian pada jembatan dengan pembebanan Secara dinamik diperlukan untuk mengetahui frekuensi alami getaran, getaran serta perubahan bentuk. Peninjauan pengujian ini adalah berupa hasil pembacaan frekuensi getaran.

#### **3.7.1 Pengukuran Regangan Dinamis**

Pengukuran regangan dinamis diambil dengan cara mengambil nilai puncak regangan pada saat truk melintas tepat diatas *strain gauge*.

#### **3.7.2 Pengukuran Lendutan**

Pengukuran lendutan pada pengujian pembebanan dinamis dilakukan dengan menggunakan sensor LVDT dengan tahap pembebanan diawali dengan tanpa beban (initial data) kemudian dilanjutkan dengan kombinasi truk melaju dengan kecepatan rencana. Nilai tersebut kemudian diolah untuk menentukan nilai lendutan tiap kombinasi

### **3.8. Pengolahan Data Pengujian**

Analisis pengolahan data pengujian *accelerometer* digunakan untuk memperoleh parameter modal (frekuensi alami, rasio redaman, dan mode getar) dari struktur. Analisis yang paling umum digunakan adalah berdasarkan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) dan menghasilkan pengukuran langsung dari

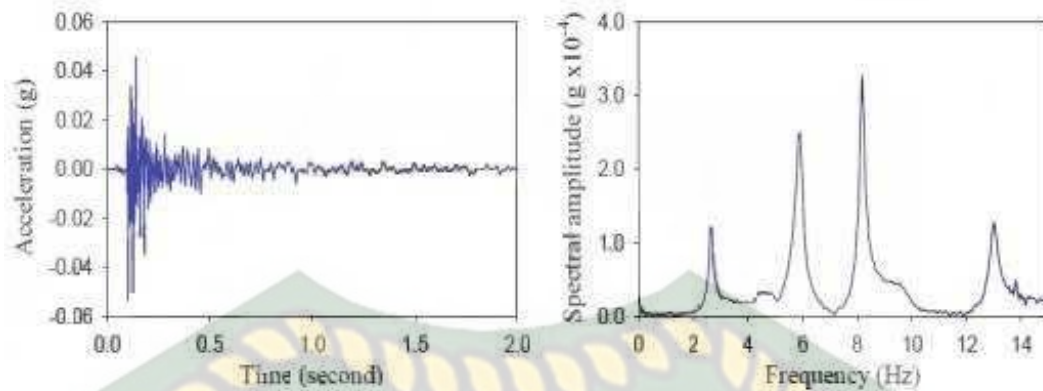
*Frequency Respon Function* (FRF). Keduanya disebut sebagai *spectrum analyzer* atau *FFT analyzers*.

### **3.8.1. *Fast Fourier Transform* (FFT)**

Data yang didapat dari *free vibration test* yaitu respon percepatan struktur dalam domain waktu. Respon dalam domain waktu tersebut kemudian ditransformasikan agar menjadi domain frekuensi dengan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) dengan bantuan program *geopsy*. Data respon struktur hasil FFT yang berubah menjadi dalam domain frekuensi, atau disebut juga sebagai *Frequency Response Function* (FRF). Dari FRF akan terlihat frekuensi alami struktur tiap mode yang diasosiasikan dengan frekuensi nilai puncak dari kurva tersebut.

### **3.8.2. *Frequency Response Function* (FRF)**

*Frequency Response Function* (FRF) adalah suatu kurva hasil pengukuran yang memisahkan parameter dinamik dari suatu struktur. Parameter dinamik yaitu frekuensi alami, rasio redaman, dan mode getar juga didapat dari pengukuran FRF. FRF mengdeskripsikan hubungan *input-output* antara dua titik pada struktur sebagai fungsi dari frekuensi. Karena gaya dan gerakan merupakan vektor, sehingga keduanya memiliki arah. Sehingga FRF sebenarnya mendefinisikan antara *input* tunggal DOF (titik dan arah) dan *output* tunggal DOF. Sebuah FRF mengukur berapa besar respon *displacement* kecepatan, dan percepatan suatu struktur pada *output* DOF per unit eksitasi pada *input* DOF.



**Gambar 3.3** Contoh Respon Jembatan Akibat Beban Impuls Dalam, *Time Domain* (kiri) *Frequency Domain* (kanan)

### 3.9. Evaluasi Pengujian Pembebanan Dinamis pada Jembatan

Evaluasi terhadap pengujian beban dinamis dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengujian di lapangan dengan perhitungan, atau hasil pengujian di lapangan dengan ketentuan yang berlaku.

#### 3.9.1 Tegangan Aktual

Hukum hooke menjelaskan bahwa terjadi hubungan yang linear atau proporsional antara tegangan dan regangan suatu material. Korelasi ini dipakai untuk menentukan tegangan aktual. Berikut adalah rumus yang dipakai untuk menentukan tegangan:

$$\sigma = E \times \epsilon$$

Keterangan:

$\epsilon$  = Regangan (mikrostrain);

E = Modulus Elastisitas (Mpa);

$\sigma$  = Tegangan (Mpa)

### 3.9.2 Nilai Pembesaran Dinamis (DLA-Dynamic Load Allowance)

Nilai pembesaran dinamis diambil dari perbandingan antara regangan dinamis dengan regangan truk akibat beban yang sama. Adapun rumus *Dynamic Amplification Factor* (DAF) sebagai berikut :

$$D = \frac{R}{R} \frac{D_1}{S}$$

### 3.9.2 Frekuensi Natural

Frekuensi natural dan rasio redaman adalah frekuensi alami atau frekuensi eigen adalah frekuensi osilasi yang cenderung dimiliki suatu sistem saat sistem tersebut dibiarkan bergetar tanpa damping (peredam) maupun eksitasi bagian dari sifat atau karakteristik dinamik suatu bahan atau struktur diakibatkan oleh pembebanan yang terjadi terhadapnya. Permodelan dengan menggunakan software dapat mempermudah perhitungan frekuensi natural jembatan

### 3.9.3 Frekuensi Aktual

Penilaian dengan prediksi getaran jembatan secara matematis yang berdasarkan parameter dinamis eksperimental, getaran menggunakan beban tumbuk atau beban lalu lintas pada bangunan di atas jembatan, getaran bebas dari bangunan atas jembatan direkam oleh pencatat getaran dan hasilnya berupa frekuensi aktual.

### 3.9.4 Rating Factor (*Diagnostic Load Testing*)

Uji pembebanan *Diagnostic Load Testing* dilakukan apabila:

1. Berdasarkan pada hasil inspeksi dan analisis teoritik jembatan tidak kuat menahan beban rencana/standar

2. Tidak tersedia beban rencana/standar untuk melakukan cara proof load testing
3. Berdasarkan pengalaman pada jembatan serupa sebenarnya jembatan itu mampu menahan beban rencana, tetapi diminta melakukan *rating factor* untuk beban yang lain.
4. Jembatan tidak dapat ditutup sepenuhnya seperti halnya pada *proof load testing*.
5. Penentuan rating factor pada jembatan berdasarkan metode dibawah ini yaitu:

$$R = \frac{\phi \cdot R_n - \sum(Y_D \cdot D)}{Y_L \cdot L \cdot (1 + I)}$$

$R$  = Rating Factor

$R_n$  = Nominal Capacity (Moment, Shear, Torsion, etc)

$Y_D$  = Dead Load Factor (Inventory rating and Operating Rating: 1.3)

$Y_L$  = Live Load Factor (Inventory rating : 2.17 and Operating Rating : 1.3)

$D$  = Force caused Dead Load

$L$  = Force Caused Live Load

$1 + I$  = Impact Factor (*Dynamic Amplification Factor*) didapat dari hasil pengujian

### 3.10. Perhitungan Frekuensi Alamiah dengan Program *Midas Civil*

*Midas Civil* merupakan suatu program aplikasi komputer dengan sistem solusi terpadu dalam bidang teknik sipil. *Midas Civil* mempunyai fitur dengan

jumlah node yang tidak terbatas, elemen dan kombinasi beban, analisis tahap konstruksi, analisis *non-linear geometris*. Program ini memiliki kemampuan untuk menganalisa berbagai jenis konstruksi jembatan seperti jembatan *cable-stayed*, jembatan segmental, jembatan struktur komposit, *subway*, terowongan, dan termasuk jembatan beton prategang dengan perhitungan yang cepat serta dapat menampilkan gambar dan perhitungan struktur yang berdimensi besar dan kompleks secara 2 dimensi (2D) maupun 3 dimensi (3D), sehingga dapat melakukan analisa perhitungan secara optimal.

### **3.10.1. Sistem Koordinat**

Dalam *Midas Civil* terdapat 3 jenis sistem koordinat diantaranya sistem koordinat global (GCS), sistem koordinat elemen (ECS), dan sistem koordinat nodal lokal (NCS). Sistem koordinat global (GCS) menggunakan huruf kapital “sumbu XYZ” pada sistem koordinat kartesian konvensional yang mengikuti aturan tangan kanan. GCS digunakan untuk memasukkan data nodal, dan semua hasil yang berhubungan dengan nodal seperti perpindahan nodal dan reaksi, serta mendefinisikan lokasi geometrik struktur yang akan dianalisis. Sistem koordinat elemen (ECS) menggunakan huruf kecil “sumbu xyz” pada sistem koordinat kartesian konvensional yang mengikuti aturan tangan kanan. Hasil analisis dalam ECS adalah seperti kekuatan elemen dan tekanan dan semua data yang dimasukkan terkait dengan unsur-unsur yang dinyatakan dalam sistem koordinat lokal. Sistem koordinat nodal lokal (NCS) digunakan untuk menentukan data jenis perletakan, nodal pegas, dan pengaturan perpindahan nodal.

### 3.10.2. Material dan Section Properties

*Midas Civil* menyediakan material dan database penampang yang sesuai dengan ASTM, AISC, CISC, CSA, BS, DIN, EN, UNI, IS, JIS, GB, dan lain-lain. *User-defined* material dan penampang juga dapat didefinisikan dalam *Midas Civil*. Sebanyak 37 bentuk bagian yang berbeda termasuk beton berbentuk penampang komposit yang diperkuat baja dapat diaplikasikan untuk melapisi elemen. Selain itu, *Midas Civil* juga mencakup *Section Property Calculator*, yang digunakan untuk menghitung potongan penampang dengan bentuk penampang yang tidak konvensional.

### 3.10.3. Boundary Conditions

Pada program *Midas Civil*, *boundary conditions* terbagi menjadi 2 yaitu berdasarkan kondisi batas nodal (*nodal boundary conditions*) dan kondisi batas elemen (*element boundary conditions*). *Nodal boundary conditions* sendiri terdiri dari 3 jenis diantaranya adalah perletakan untuk menahan derajat kebebasan yang di pilih (*constraint for degree of freedom*), elemen batas elastis (pegas) untuk menentukan kekakuan pegas nodal yang dipilih di setiap arah dari GCS atau sistem koordinat nodal lokal, elemen elastis link (*elastic link*) untuk menentukan kekakuan dalam arah yang relevan dalam menghitung reaksi. Sedangkan *element boundary conditions* terdiri dari 3 jenis diantaranya adalah *element end release* untuk menentukan kondisi rilis akhir (engsel, geser, rotasi) pada kedua ujung elemen balok, *rigid end offset distance (Beam End Offset)*, serta *rigid link* untuk membatasi derajat kebebasan nodal yang dipilih mengikuti nodal utama, dan juga digunakan untuk mewakili kekakuan elemen yang tak terhingga.



#### 3.10.4. Analisa Dinamis Dalam *Midas Civil*

Setiap struktur didesain untuk mampu menahan beban dinamis. Salah satu fitur analisis dalam *Midas Civil* adalah analisis dinamik, dan untuk memperhitungkan frekuensi alamiah dalam *Midas Civil* digunakan *eigenvalue* analisis. *Eigenvalue* analisis juga sering disebut dengan analisis getaran bebas yang digunakan untuk menganalisis karakteristik dinamik dari struktur.. Dalam *eigenvalue* analisis terdiri dari 2 jenis analisis, yaitu:

##### 1. *Eigen Vectors*

Dalam menggunakan *eigen vector* analisis ada dua jenis tipe analisis yaitu *subspace iteration* dan *lanzos*. *Subspace iteration* digunakan apabila dalam perhitungan *eigenvalue* analisis membutuhkan langkah iterasi perhitungan matriks, dan metode ini efektif digunakan untuk sistem elemen hingga skala besar (sistem matriks besar). Sedangkan *lanzos* digunakan apabila dalam perhitungan *eigen value* analisis digunakan matriks tridiagonal, dan metode ini efektif digunakan untuk mode yang lebih rendah.

##### 2. *Ritz Vectors*

Analisis *ritz vectors* adalah sebuah pendekatan, yang menemukan frekuensi alami dan fungsi bentuk mewakili sifat dinamis dari struktur. Metode ini merupakan penurunan dari pendekatan *rayleigh-ritz*, yang menemukan frekuensi alami dengan mengasumsikan fungsi bentuk dari MDOF dan mengubahnya menjadi SDOF. Analisa pembebanan dalam *ritz vector* menghasilkan hasil analisis dinamis yang mencerminkan karakteristik pembebanan dinamis.

## BAB IV

### METODE PENELITIAN

#### 4.1. Objek Penelitian

Objek penelitian dalam tesis ini adalah Jembatan Melengo yang berlokasi di Kampung Tengah, Kecamatan Mempura, Kabupaten Siak. Pengujian dilakukan dengan menggetarkan jembatan dengan melewati truk bermuatan pada kecepatan tertentu untuk mendapatkan frekuensi aktual jembatan. Hal-hal yang ditetapkan sebelum pelaksanaan penelitian dimulai antara lain meliputi mengenai bahan dan alat yang digunakan serta tahapan pelaksanaan penelitian.

#### 4.2. Peralatan dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini sebagai berikut ;

1. Form pengujian
2. Alat tulis
3. 1 Set Data *Acquisition Instrument*
4. Sensor *Strain Gauge*
5. Sensor *Accelerometer*
6. Sensor *LVDT*
7. Truk
8. Kabel *Connector Strain Gauge, LVDT dan Accelerometer*
9. Software *midas civil* versi 2019 v1.1
10. 1 Set *Toolbox*
11. Cat warna merk *Pilox*
12. Rol meter dan lain sebagainya



**Gambar 4. 1** *Data Acquisition Instrument*



**Gambar 4. 2** *Sensor Strain Gauge*



**Gambar 4. 3** *Sensor Accelerometer*



**Gambar 4.4** Sensor *LVDT*

#### **4.3. Tahapan Penelitian**

Untuk melaksanakan penelitian ini agar dapat berjalan dengan baik dan lancar sesuai dengan yang diinginkan, perlu dilakukan persiapan yang matang. Penyediaan bahan-bahan dan peralatan yang akan dipakai dalam pembuatan benda uji penelitian tentu harus dipersiapkan terlebih dahulu. Langkah-langkah dalam melaksanakan penelitian dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Pemasangan Sensor

Dalam pengujian ini digunakan beberapa sensor, diantaranya adalah *strain gauge*, *accelerometer* dan *LVDT*. Sensor-sensor tersebut harus sudah terpasang pada titik-titik yang ditentukan.

2. Penimbangan Benda Uji

Benda uji atau truk yang digunakan harus ditimbang terlebih dahulu sesuai dengan berat yang disyaratkan

3. Pengujian Beban Dinamis

Pengujian dilakukan dengan cara menggetarkan jembatan, yaitu melewati truk dengan beban dan kecepatan tertentu.

#### 4. Respon Struktur

Hal yang perlu diperhatikan adalah respon dari struktur, secara umum pengujian dengan cara dinamis adalah untuk mendapatkan nilai frekuensi jembatan, apabila tidak ada respon dari jembatan maka perlu dilakukan analisa kembali, apakah beban yang digunakan atau peralatan yang dipakai tidak sesuai. Apabila terlihat respon maka pengujian dapat dilanjutkan.

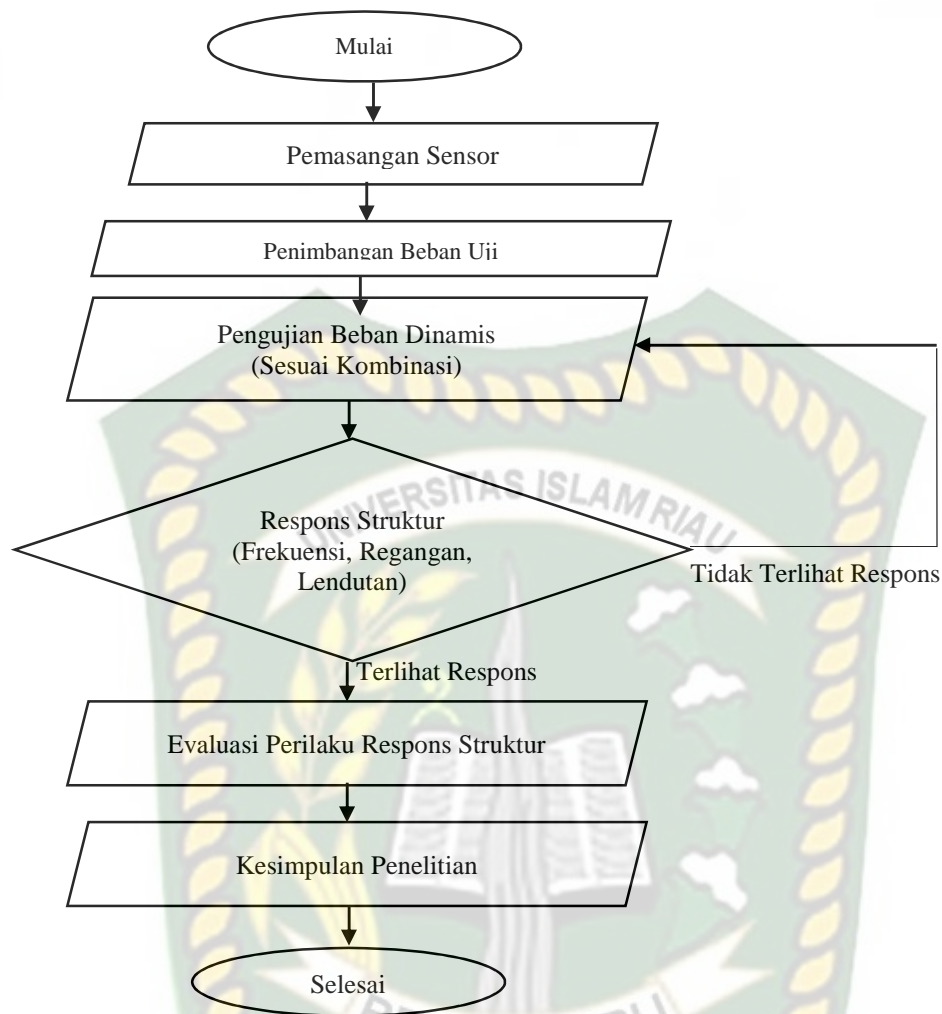
#### 5. Evaluasi Perilaku Respon Struktur

Setelah data didapat, dilanjutkan dengan melakukan evaluasi terhadap struktur, tahap ini dilakukan dengan membandingkan respon struktur (aktual) dengan analisa permodelan struktur atau membandingkan dengan aturan-aturan yang berlaku

#### 6. Kesimpulan Penelitian

Setelah dilakukan evaluasi terhadap penelitian secara keseluruhan maka didapat kesimpulan dari penelitian tersebut. kemudian diperiksa apakah sudah sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian

Untuk lebih jelasnya tahapan-tahapan penelitian ini dapat dilihat dalam gambar 4.5



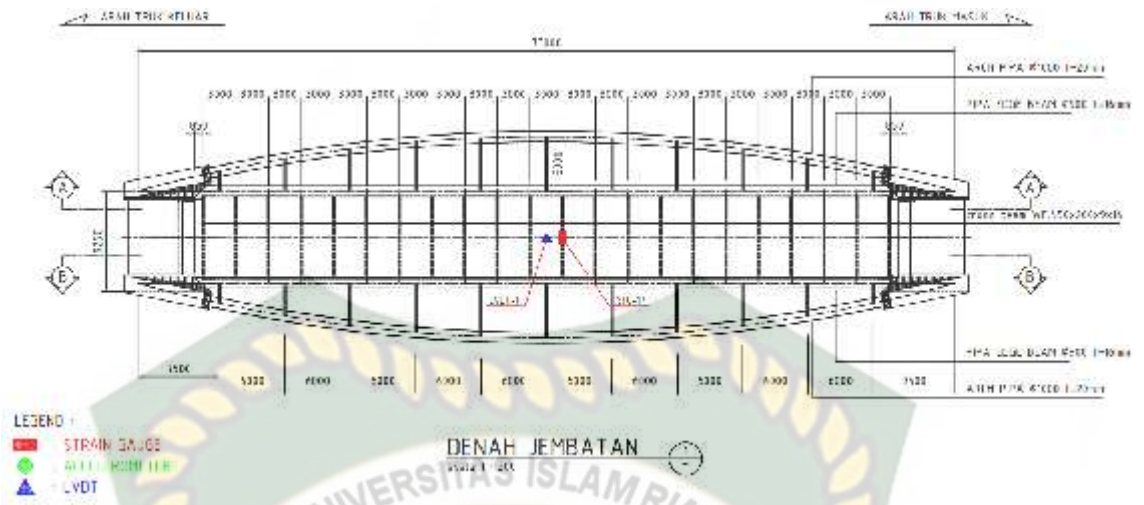
**Gambar 4.5** Bagan Alur Tahapan Penelitian

#### 4.4. Prosedur Penelitian

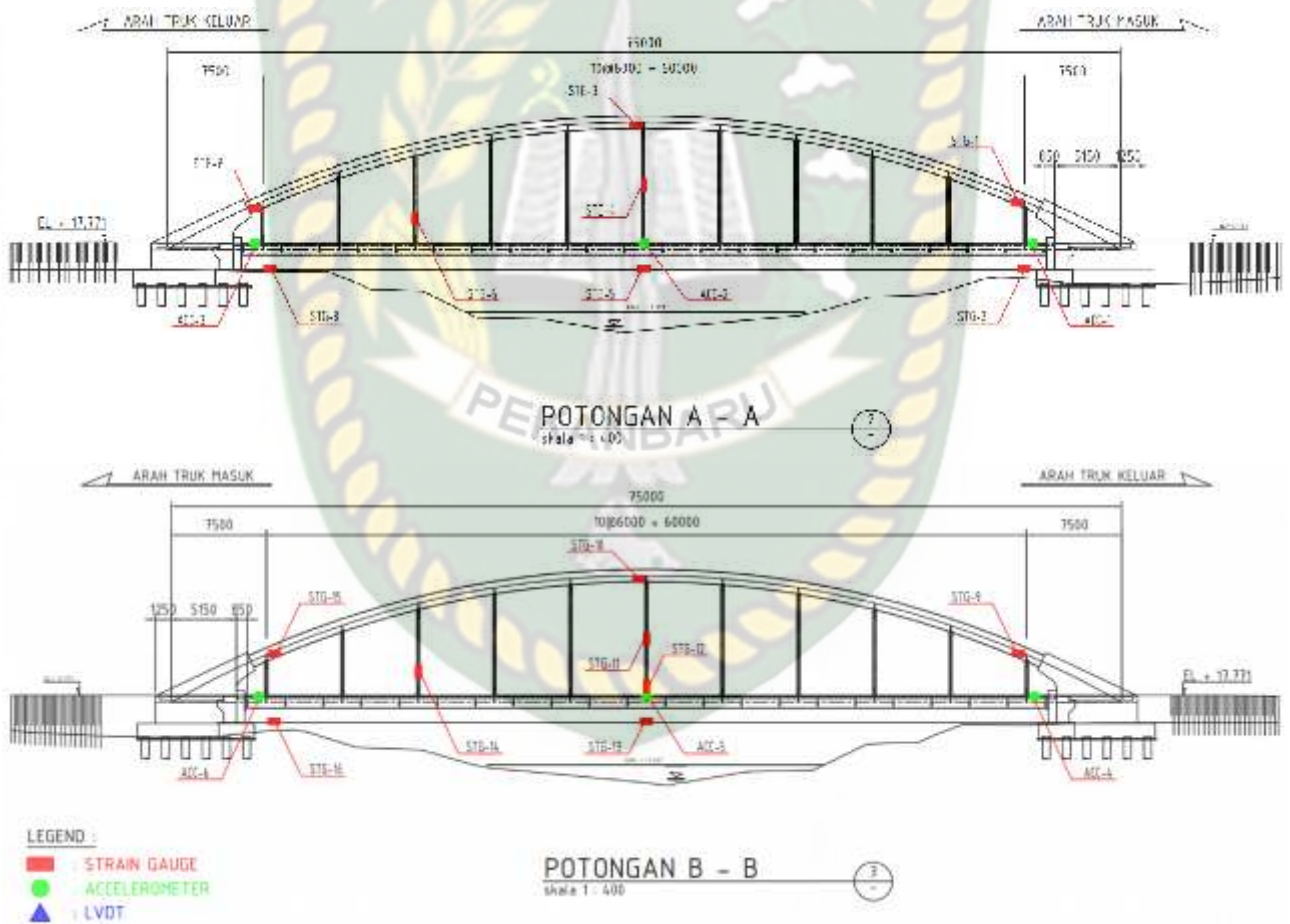
Prosedur penelitian ini menjelaskan bagaimana setiap proses penelitian dilaksanakan, mulai dari pemasangan sensor-sensor, penimbangan truk, kombinasi pembebanan, pelaksanaan pengujian, hasil dan pembahasan, kesimpulan penelitian.

##### 4.4.1 Pemasangan Sensor

Lokasi sensor ditetapkan berdasarkan nilai reaksi yang paling besar dari analisa truktur. Pada Jembatan ini lokasi sensor *strain gauge* dan *Accelerometer* ditetapkan pada area *Arch Beam*, *Edge Beam* dan *Hanger* pada bentang jembatan.



**Gambar 4. 6** Tampak Atas Lokasi Pemasangan Sensor Pada Bentang Jembatan



**Gambar 4. 7** Tampak Samping Lokasi Pemasangan Sensor Pada Bentang Jembatan



**Gambar 4. 8** Pelaksanaan Pemasangan Sensor Pada Bentang Jembatan

**Tabel 4. 1** Pemasangan Strain Gauge

No	Nomor Strain Gauge	Jenis Struktur
1	STG-1	<i>Arch beam</i> ujung kanan
2	STG-2	<i>Edg beam</i> ujung kanan
3	STG-3	<i>Arch beam</i> tengah kanan
4	STG-4	<i>Hangar</i> tengah kanan
5	STG-5	<i>Edg Beam</i> tengah kanan
6	STG-6	<i>Hangar</i> ke-3 kanan
7	STG-7	<i>Arch beam</i> pangkal kanan
8	STG-8	<i>Edg Beam</i> pangkal kanan
9	STG-9	<i>Edg Beam</i> pangkal kiri
10	STG-10	<i>Arch beam</i> tengah kiri
11	STG-11	<i>Hangar</i> tengah kiri
12	STG-12	<i>Hangar</i> tengah kiri (sambungan bawah)
13	STG-13	<i>Edg Baem</i> tengah kiri
14	STG-14	<i>Hangar</i> ke-9 kiri
15	STG-15	<i>Arch beam</i> ujung kiri
16	STG-16	<i>Edg Baem</i> ujung kiri
17	STG-17	<i>Cross beam</i> tengah

#### 4.4.2 Loading Muatan dan Penimbangan Truk

Truk yang dipakai sebagai beban atau penggetar jembatan harus diberi muatan dan ditimbang. Truk yang dipakai perlu diketahui karena untuk mengetahui seberapa besar penggunaan beban yang akan diuji. Dalam pengujian ini digunakan truk tipe 3 *axle* dengan total 4 truk. Berikut adalah detail berat truk aktual terpakai:





**Gambar 4. 9** Jenis dump truk uji

**Tabel 4. 2** Berat Truk dan Muatan

No Truk	Plat Nomor	TONNASE	
		KG	KN
1	BM 8671 MU	15090	147,882
2	B 9732 NYU	15170	148,666
3	BM 8672 MU	15170	148,666
4	BM 8673 MU	15120	148,176

#### 4.4.3 Pengujian Beban Dinamis

Pengujian dilakukan dengan cara memberi beban dinamis pada jembatan dengan menggunakan kecepatan tertentu melewati jembatan. Uji beban dinamis dilakukan untuk mengetahui kekakuan struktur jembatan terhadap beban dinamis dengan memanfaatkan beban lalu lintas harian di jembatan. Penilaian kondisi struktur berdasarkan perilaku dinamis lebih lanjut bergantung pada faktor parameter hasil uji seperti frekuensi natural, redaman, mode getar dan pembesaran dinamis struktur. Secara umum pengujian beban dinamis sebagai berikut :

##### 1. Persiapan Pengujian

Persiapan pengujian dilakukan sebagai berikut:

- a. Memetakan persiapan sesuai kombinasi pembebanan yang akan digunakan, termasuk mempersiapkan penutupan arus lalu lintas sementara dilokasi pengujian.
  - b. Mementukan posisi truk pada saat melewati jembatan, atau membuat marka pada lantai jembatan
  - c. Menentukan posisi pembacaan pada operator serta menyambungkan connector dengan masing-masing *Accelerometer*, *Strain Gauge* dan *LVDT*.
  - d. Menentukan dan memasang posisi *Accelerometer*, *Strain Gauge* dan *LVDT*.
  - e. Koordinasi dan Persiapan Pembebanan
2. Proses pengujian sebagai berikut :
- a. Perekaman data *Accelerometer*, *Strain Gauge* dan *LVDT* dimulai sesuai skema pembebanan yang sudah ditentukan.
  - b. Perekaman diakhiri dengan melihat respons jembatan setelah dilewati truk



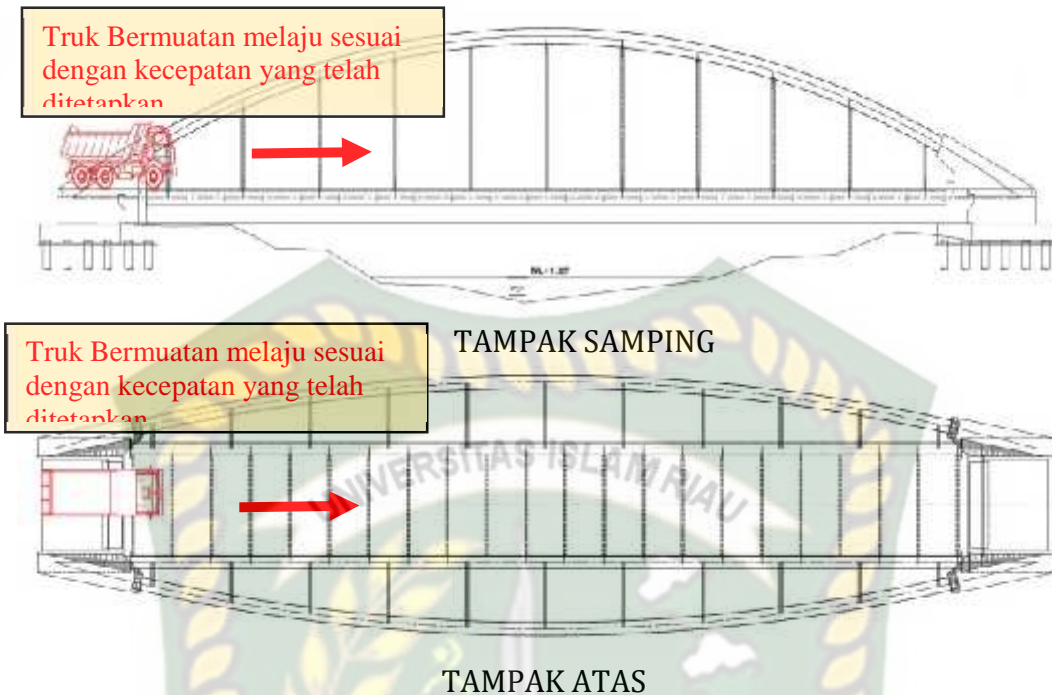
**Gambar 4. 10** Proses Setup Recording Data

#### 4.4.4 Kombinasi Pembebanan Dinamis

Kombinasi beban dilakukan dengan menggunakan dump truk dengan beban maksimum 15 ton yang melewati jembatan dengan kecepatan 10 km/jam, 20 km/jam, 30 km/jam dan 40 km/jam serta tanpa speed trap, posisi kendaraan melalui jembatan di tengah badan jembatan. Tabel 4.3 adalah Kombinasi Pembebanan Dinamis dan gambar 4.11 adalah skema pelaksanaan pembebanan dinamis

**Tabel 4. 3** Kombinasi Beban Dinamis

Tahapan	Status Beban	Jumlah Truk	Tonase (Ton)
Initial 1	Kosong	0	0
Initial 2	Diam Di Tengah Bentang	1	15
Skema 1	Kecepatan 10 km/jam	1	15
Skema 2	Kecepatan 20 km/jam	1	15
Skema 3	Kecepatan 30 km/jam	1	15
Skema 4	Kecepatan 40 km/jam	1	15



**Gambar 4. 11** Skema Pembebanan Dinamis

#### 4.4.5 Hasil dan Pembahasan

Setelah data pengujian didapatkan, langkah berikutnya adalah menganalisa data tersebut. Data dari hasil pengujian dianalisa dengan menggunakan rumus-rumus yang telah ada dan baku yang didapat dari literatur yang ada. Untuk mempermudah perhitungan frekuensi natural dan gaya dalam setiap elemen struktur digunakan permodelan struktur dengan menggunakan *software midas civil* versi 2019 v1.1.

Data-data yang sudah dianalisa, hasilnya disajikan dalam bentuk tabel dan gambar serta grafik untuk mempermudah pembacaannya, tabel, gambar dan grafik diberi keterangan, sehingga mudah dipahami dari hasil penelitian ini.

#### 4.4.6 Kesimpulan dan Saran Penelitian

Kesimpulan diambil berdasarkan hasil penelitian kemudian diperiksa apakah sudah sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian. Saran diberikan kepada semua pihak yang berkepentingan dengan penelitian ini untuk pengembangan dan perbaikan di waktu yang akan datang.



## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Pemeriksaan Visual

Berdasarkan pengamatan visual, struktur Jembatan Melengo memiliki kondisi sebagai berikut:

##### 5.1.1. Rangka Baja (*Arch Beam*)

Kondisi *Arch Beam* berdasarkan pengamatan visual masih dalam kondisi struktur baik, hanya terdapat beberapa kerusakan ringan yang bersifat permukaan seperti terkelupasnya lapisan cat. Secara kesatuan struktur.



**Gambar 5.1** Kondisi *Arch Beam*

Proses pengamatan secara visual setiap elemen *arch beam* termasuk sambungan, *arch beam* masih dalam kondisi baik dan tidak terlihat kerusakan struktur berarti. Nilai kondisi secara keseluruhan adalah 1 atau Elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin.

### 5.1.2. Rangka Baja (*Hanger*)

Kondisi Hanger berdasarkan pengamatan visual masih dalam kondisi baik, hanya terlihat beberapa kerusakan ringan seperti terkelupasnya lapisan cat. Secara kesatuan struktur.



**Gambar 5.2** Kondisi *Hanger*

*Hanger* masih dalam kondisi baik dan tidak terlihat kerusakan struktur berarti. Nilai kondisi secara keseluruhan adalah 1 atau Elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin.

### 5.1.3. Rangka Baja (*Edge Beam*)

Kondisi *Edge Beam* berdasarkan pengamatan visual masih dalam kondisi struktur baik, hanya terdapat beberapa kerusakan ringan yang bersifat permukaan seperti terkelupasnya lapisan cat. Secara kesatuan struktur.



**Gambar 5.3** Kondisi *Edge Beam*

*Edge Beam* masih dalam kondisi baik dan tidak terlihat kerusakan struktur berarti. Nilai kondisi secara keseluruhan adalah 1 atau Elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin.

#### 5.1.4. Rangka Baja (*Cross Beam*)

Kondisi *Cross Beam* berdasarkan pengamatan visual masih dalam kondisi struktur baik, hanya terdapat beberapa kerusakan ringan yang bersifat permukaan seperti terlihat telah terjadi karat pada profil baja. Secara kesatuan struktur.



**Gambar 5.4** Kondisi *Cross Beam*

*Cross Beam* masih dalam kondisi baik dan tidak terlihat kerusakan struktur berarti. Nilai kondisi secara keseluruhan adalah 1 atau Elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin.

#### 5.1.5. Slab

Kondisi slab jembatan masih dalam kondisi baik. Tidak terdapat kerusakan pada *slab* jembatan. Nilai kondisi secara keseluruhan adalah 0 atau Elemen / jembatan dalam kondisi baik dan tanpa kerusakan.





**Gambar 5.5** Kondisi *Slab*

#### **5.1.6. *Abutment***

Pada abutment tidak ditemukan kerusakan. Secara keseluruhan, kondisi abutment masih dalam kondisi baik. Nilai kondisi secara keseluruhan adalah 0 atau Elemen / jembatan dalam kondisi baik dan tanpa kerusakan.



**Gambar 5.6** Kondisi *Abutment*

### 5.1.7. Pipa Cucuran

Kondisi pipa cucuran berdasarkan pengamatan visual masih dalam kondisi baik, hanya perlunya pembersihan agar aliran air tidak tersumbat. Secara kesatuan struktur.



**Gambar 5.7** Kondisi Pipa Cucuran

Pipa cucuran masih dalam kondisi baik dan tidak terlihat kerusakan struktur berarti. Nilai kondisi secara keseluruhan adalah 1 atau Elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin.

### 5.1.8. Railing

Kondisi *railing* berdasarkan pengamatan visual masih dalam kondisi struktur baik, hanya terdapat beberapa kerusakan ringan yang bersifat permukaan seperti terkelupasnya lapisan cat. Secara kesatuan struktur.



**Gambar 5.8** Kondisi Railing

Railing masih dalam kondisi baik dan tidak terlihat kerusakan struktur berarti. Nilai kondisi secara keseluruhan adalah 1 atau elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin.

## **5.2 Hasil Pengujian Pembebanan Dinamis**

Dari 17 sensor *strain gauge* yang terpasang hanya 10 sensor yang didapat hasilnya, hal ini dikarenakan sebagian sensor mengalami *short*, penyebabnya adalah pengaruh suhu dan proses pemasangan (human error) atau pemasangan sensor yang sudah lama sebelum pelaksanaan pengujian dilakukan. dan ada beberapa sensor sebelum pengujian telah mengalami kerusakan dilihat secara visual, karena sensor-sensor tersebut sangat sensitif dan dipasang satu hari sebelum pengujian. Sensor-sensor tersebut dapat dilihat pada tabel 5.1.

**Tabel 5.1.**Keterangan Sensor Strain Gauge

No	No. Strain Gauge	Jenis Struktur	Keterangan
1	STG-1	<i>Arch beam</i> ujung kanan	Short
2	STG-2	<i>Edg beam</i> ujung kanan	
3	STG-3	<i>Arch beam</i> tengah kanan	
4	STG-4	<i>Hangar</i> tengah kanan	Terwakilkan dengan STG-12
5	STG-5	<i>Edg beam</i> tengah kanan	
6	STG-6	<i>Hangar</i> ke-3 kanan	Short
7	STG-7	<i>Arch beam</i> pangkal kanan	
8	STG-8	<i>Edg beam</i> pangkal kanan	Rusak Visual
9	STG-9	<i>Edg beam</i> pangkal kiri	
10	STG-10	<i>Arch beam</i> tengah kiri	Short
11	STG-11	<i>Hangar</i> tengah kiri	Terwakilkan dengan STG-12
12	STG-12	<i>Hangar</i> tengah kiri (sambungan bawah)	
13	STG-13	<i>Edg beam</i> tengah kiri	Rusak Visual
14	STG-14	<i>Hangar</i> ke-9 kiri	Rusak Visual
15	STG-15	<i>Arch beam</i> ujung kiri	Rusak Visual
16	STG-16	<i>Edg beam</i> ujung kiri	
17	STG-17	<i>Cross beam</i> tengah	

Dari 17 sensor yang terpasang, hanya 8 sensor yang dilakukan pembahasan lebih lanjut.

### 5.2.1 Pengukuran Regangan Dinamis

Pengukuran regangan dinamis diambil dengan cara mengambil nilai puncak regangan pada saat truk melintas tepat diatas *strain gauge*. Pengambilan nilai regangan dinamis pada pengujian ini dilakukan sebanyak 4 phase dengan memberikan beban pada jembatan dengan cara menggetarkan jembatan menggunakan 1 buah truk dengan kecepatan 10 km/jam, 20 km/jam, 30 km/jam dan 40 km/jam. Sesuai dengan tabel 5.3, dimana dari 17 sensor strain gauge yang

dipasang ada 7 sensor yang datanya tidak dapat dipakai, dan diambil 8 bacaan sensor untuk dilakukan analisa.

**Tabel 5. 2** Regangan dinamis Jembatan Melengo

NO	SENSOR	NILAI REGANGAN DINAMIS (MIKROSTRAIN)				REGANGAN EKSTRIM (MIKROSTRAIN)	KET.
		KOMB 1	KOMB 2	KOMB 3	KOMB 4		
		10 Km/h	20 Km/h	30 Km/h	40 Km/h		
1	STG-2	-13	-9	-14	-22	-22	EDG U K
2	STG-3	7	13	11	10	13	ARCH T K
3	STG-5	49	48	51	52	52	EDG T K
4	STG-7	-18	-15	-17	-33	-33	ARCH P K
5	STG-9	-14	-32	-41	-40	-40	ARC T KI
6	STG-12	7	6	4	7	7	HANGER T
7	STG-16	13	1	-21	-25	-25	EDG U KI
8	STG-17	66	43	56	43	66	CROSS T

Dari hasil pembacaan regangan dinamis pada tabel 5.2 kemudian disimpulkan dengan merata-ratakan nilai hasil regangan sehingga didapat kesimpulan nilai regangan dinamis pada Jembatan Melengo, Siak - Riau Tipe Jembatan Rangka Baja *Arch Taper Box* menghasilkan pada STG-2 (*Edg beam*) sebesar -22 mikrostrain, pada pada STG-3 (*Arch beam*) sebesar 13 mikrostrain, pada STG-5 (*Edge beam*) sebesar 52 mikrostrain, pada STG-7 (*Arch beam*) sebesar -33 mikrostrain, pada STG-9 (*Edg beam*) sebesar -40 mikrostrain, pada STG-12 (*Hanger*) sebesar 7 mikrostrain, pada STG-16 (*Edg beam*) sebesar -25 mikrostrain, dan pada STG-17 (*Cross beam*) sebesar 66 mikrostrain.

### 5.2.2 Pengukuran Lendutan

Pengukuran lendutan pada pengujian pembebanan dinamis dilakukan dengan menggunakan sensor *LVDT* dengan tahap pembebanan diawali dengan tanpa beban (initial data) kemudian dilanjutkan dengan kombinasi truk melaju dengan kecepatan rencana. Nilai tersebut kemudian diolah untuk menentukan nilai lendutan tiap kombinasi. Lokasi pengukuran lendutan adalah pada tengah bentang jembatan yang dipertimbangkan akan menghasilkan lendutan maksimum pada setiap kombinasi pembebanan. Berikut adalah hasil lendutan pada Jembatan Melengo dengan tipe Rangka Baja *Arch Taper Box*, Siak - Riau pada pengujian pembebanan dinamis:

**Tabel 5. 3** Lendutan Aktual Pengujian Pembebanan Dinamis

SENSOR	Nilai Lendutan Aktual (mm)			
	Skema 1	Skema 2	Skema 3	Skema 4
	10 Km/h	20 Km/h	30 Km/h	40 Km/h
LVDT	8,92	8,73	9,42	11,37

Berdasarkan tabel 5.3, tambahan lendutan akibat beban uji dimana terjadi maksimum pada skema 4 dengan kecepatan truk 40 km/jam dengan nilai lendutan hasil LVDT sebesar 11,37 mm.

Pada tahap initial (tanpa beban truk) jembatan sudah mengalami lendutan dengan nilai lendutan sebesar 94 mm pada sisi kanan dan 143 mm pada sisi kiri arah truk masuk, atau 118,5 mm pada titik tengah bentang jembatan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 5.4

**Tabel 5.4** Nilai Lendutan Pengujian Dan Lendutan Initial

No	Skema Pembebanan Dan Nilai Lendutan (mm)	Lendutan Initial (mm)	Lendutan total (mm)
1	Skema 1 10 Km/h	8,92	118,5
2	Skema 2 20 Km/h	8,73	118,5
3	Skema 3 30 Km/h	9,42	118,5
4	Skema 4 40 Km/h	11,37	118,5

### 5.2.3 Pengukuran Getaran Aktual

Dari hasil rekaman data pada pengujian pembebanan dinamis kemudian dilakukan pengolahan data dengan metoda *Fourier Transform* untuk mendapatkan nilai-nilai frekuensi struktur sesaat setelah truk melewati jembatan menggunakan *software dewetron*. Hasil-hasil pengambilan puncak getaran diambil berdasarkan waktu yang telah dicatat sesaat setelah memberikan beban dengan cara menggetarkan jembatan menggunakan 1 buah truk dengan kecepatan rentang 10-40 km/jam pada jembatan. Pengujian getaran dilakukan sebanyak 4 kali dengan memberikan beban dengan cara menggetarkan jembatan menggunakan 1 buah truk dengan kecepatan rentang 10-40 km/jam pada jembatan tanpa menggunakan speed trap. Pengujian perlu dilakukan beberapa kali guna untuk mendapatkan puncak-puncak getaran. Berikut adalah kesimpulan hasil pengujian getaran aktual pada Jembatan Melengo.

**Tabel 5. 5** Frekuensi Aktual Jembatan Melengo

No	Tahapan	Area Pemasangan Sensor	Sensor	Frekuensi (Hz)		
				Puncak 1	Puncak 2	Puncak 3
1	Tahapan 1 (10 km/jam)	<i>Edge Beam</i>	ACC 1	3,91	11,72	25,39
			ACC 2	3,91	9,77	27,34
			ACC 3	3,91	15,63	23,44
			ACC 4	3,91	15,63	29,30
			ACC 5	3,91	9,77	27,34
			ACC 6	3,91	11,72	19,53
2	Tahapan 2 (20 km/jam)	<i>Edge Beam</i>	ACC 1	3,91	9,77	21,48
			ACC 2	3,91	15,63	27,34
			ACC 3	3,91	9,77	13,67
			ACC 4	3,91	9,77	13,67
			ACC 5	3,91	19,53	27,34
			ACC 6	3,91	9,77	25,39
3	Tahapan 3 (30 km/jam)	<i>Edge Beam</i>	ACC 1	3,91	11,72	17,58
			ACC 2	3,91	11,72	17,58
			ACC 3	3,91	7,81	19,53
			ACC 4	3,91	7,81	19,53
			ACC 5	3,91	11,71	25,39
			ACC 6	3,91	13,67	23,44
4	Tahapan 4 (40 km/jam)	<i>Edge Beam</i>	ACC 1	3,91	9,77	15,63
			ACC 2	3,91	13,67	21,48
			ACC 3	3,91	9,77	15,63
			ACC 4	3,91	9,77	15,63
			ACC 5	3,91	11,72	29,30
			ACC 6	3,91	9,77	17,58
<b>Rata-Rata Frekuensi</b>				<b>3,91</b>	<b>11,56</b>	<b>21,65</b>



Berdasarkan hasil dari tabel 5.5 frekuensi aktual jembatan, dapat disimpulkan bahwa frekuensi aktual pada Jembatan Melengo adalah sebesar 3,91 Hz. Frekuensi aktual inilah yang akan dijadikan tinjauan sebagai pembandingan dengan frekuensi natural berdasarkan hasil analisa struktur dengan bantuan *software midas civil*.

### 5.3 Pembahasan Pengujian

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan maka selanjutnya akan menganalisis data yang telah terkumpul. Hal ini dilakukan agar data yang dihasilkan tersebut dapat dilakukan evaluasi dan perhitungan sehingga dapat mengambil kesimpulan penelitian sesuai dengan rumusan masalah yang diajukan.

#### 5.3.1 Pengamatan Visual

Berdasarkan hasil pengamatan visual tiap elemen struktur jembatan, didapat hasil kerusakan yang bervariasi. Secara umum hanya terlihat beberapa kerusakan ringan seperti terkelupasnya lapisan cat. Keseluruhannya dapat dilihat seperti tabel 5.6.

**Tabel 5.6** Kesimpulan Nilai Kondisi Elemen Struktur Jembatan

No.	Elemen Struktur	Nilai Kondisi	Deskripsi
1	<i>Arch Beam</i>	1	Elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin
2	<i>Hanger</i>	1	Elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin
3	<i>Edge Beam</i>	1	Elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin
4	<i>Cross Beam</i>	1	Elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin

No.	Elemen Struktur	Nilai Kondisi	Deskripsi
5	Slab	1	Elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin
6	Abutmen	0	Elemen / jembatan dalam kondisi baik dan tanpa ada kerusakan
7	Pipa Cucuran	1	Elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin
8	Railing	1	Elemen / jembatan mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin

Dari hasil tabel 5.6, terhadap 8 elemen jembatan yang dilakukan pemeriksaan visual dapat disimpulkan secara umum elemen jembatan hanya mengalami kerusakan ringan, hanya memerlukan pemeliharaan rutin

### 5.3.2 Tegangan Aktual Yang Terjadi

Berdasarkan dokumen pelaksanaan jembatan diketahui nilai modulus baja dan tegangan leleh baja yang dipakai, yaitu

$E$  (Modulus Elastisitas Baja) = 200000 Mpa

$f_y$  (Tegangan leleh baja) = 305,02 Mpa

Nilai inilah yang akan dikorelasikan terhadap regangan aktual dari hasil lapangan. Table 5.7 adalah hasil perhitungan tegangan korelasi regangan dengan modulus elastitasnya.

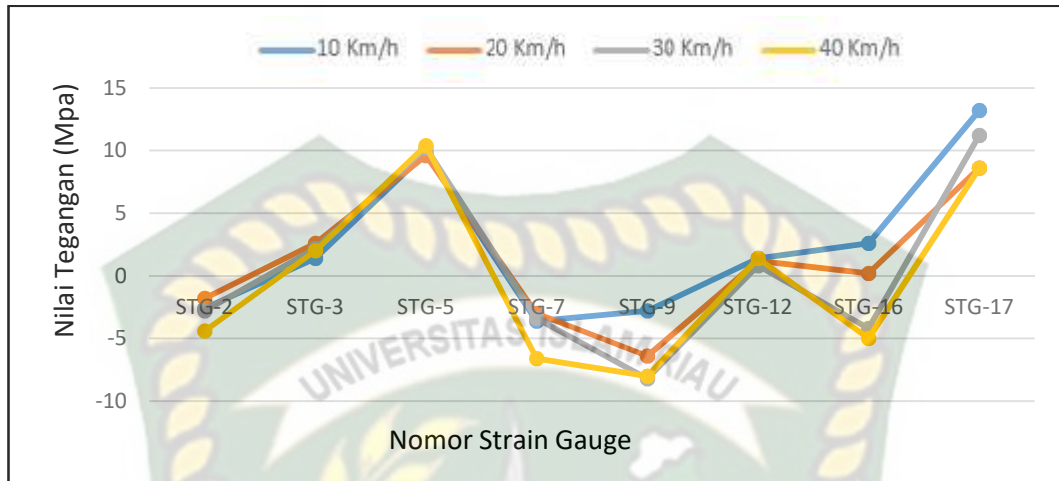
**Tabel 5.7** Nilai Tegangan Dinamis

NO	SENSOR	SAT.	NILAI TEGANGAN DINAMIS (Mpa)				TEGANGAN MAKSIMUM (Mpa)
			KOMB 1	KOMB 2	KOMB 3	KOMB 4	
			10 Km/h	20 Km/h	30 Km/h	40 Km/h	
1	STG-2	Mpa	-2,6	-1,8	-2,8	-4,4	-4,4
2	STG-3	Mpa	1,4	2,6	2,2	2	2,6
3	STG-5	Mpa	9,8	9,6	10,2	10,4	10,4
4	STG-7	Mpa	-3,6	-3	-3,4	-6,6	-6,6
5	STG-9	Mpa	-2,8	-6,4	-8,2	-8	-8
6	STG-12	Mpa	1,4	1,2	0,8	1,4	1,4
7	STG-16	Mpa	2,6	0,2	-4,2	-5	-5
8	STG-17	Mpa	13,2	8,6	11,2	8,6	13,2

Nilai tegangan maksimum yaitu 13,2 Mpa hasil pengujian lebih kecil dibandingkan dengan tegangan leleh baja 305,02 Mpa. Dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan yang terjadi akibat pengujian beban dinamis pada jembatan tersebut masih aman.

Tegangan terkecil yang terjadi pada struktur akibat beban dinamis yang melintasi jembatan dominan pada **Kombinasi 2** dengan **kecepatan 20 km/jam**. Semakin kecil (mendekati 0) tegangan yang terjadi pada struktur akibat beban truk maka struktur semakin aman dan tidak merusak struktur, untuk lebih jelasnya dapat

dilihat pada gambar 5.9 dimana garis tegangan pada skema 2 dengan kecepatan truk 20 km/h lebih kecil dari skema yang lainnya.



**Gambar 5.9** Grafik Tegangan dinamis

### 5.3.3 Nilai Pembesaran Dinamis (DLA-Dynamic Load Allowance)

Nilai pembesaran dinamis diambil dari perbandingan antara regangan dinamis dengan regangan truk akibat beban yang sama. Dari hasil pengujian statis yang telah dilakukan sebelumnya, telah diperoleh data nilai regangan statis aktual jembatan adalah seperti tabel 5.8.

**Tabel 5. 8** Regangan Statis Aktual Jembatan Melengo

No	SENSOR	REGANGAN AKTUAL (Mikrostrain)
		KOMBINASI 1 1 TRUK
1	STG-2	-17
2	STG-3	10
3	STG-5	58
4	STG-7	-39

No	SENSOR	REGANGAN AKTUAL (Mikrostrain)
		KOMBINASI 1
		1 TRUK
5	STG-9	38
6	STG-12	-13
7	STG-16	50
8	STG-17	49

Setelah diperoleh nilai regangan statis aktual jembatan, kemudian dihitung nilai pembesaran dinamis dengan cara membandingkan nilai regangan dinamis dengan regangan statis jembatan. Hasil nilai pembesaran dinamis (DAF) berdasarkan hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 5.9.

**Tabel 5. 9** Pembesar Dinamis Pada Jembatan Melengo

NO	SENSOR	REGANGAN DINAMIS (Mikrostrain)	REGANGAN STATIS (Mikrostrain)	DLA (Regangan Dinamis/Regangan Statis)
1	STG-2	-22	-17	1,29
2	STG-3	13	10	1,30
3	STG-5	52	58	0,90
4	STG-7	-33	-39	0,85
5	STG-9	-40	38	1,05
6	STG-12	7	-13	0,54
7	STG-16	-25	50	0,50
8	STG-17	66	49	1,35

Persyaratan Dynamic Load Allowance (DLA) ini pada peraturan perencanaan jembatan **BMS 1992 adalah 1.4**. Persyaratan Besar nilai  $DAF < DLA$ . Berdasarkan peraturan tersebut didapat hasil maksimum  $DAF = 1,35 < 1,4$ . Persyaratan  $DAF < DLA$  telah memenuhi syarat.

#### **5.3.4 Evaluasi Lentutan Yang Terjadi**

Berdasarkan pengujian, sebelum pengujian dilakukan jembatan sudah mengalami lentutan melengkung kebawah, kondisi ini tidak biasa pada jembatan umumnya, dimana sebuah jembatan biasanya dirancang dengan melengkung ke atas, tetapi tidak dengan jembatan ini dengan melengkung ke bawah

Aturan yang berlaku dimana nilai lentutan maksimum jembatan adalah  $L/800$  (*AASHTO LRFD*, 2003), maka nilai maksimum lentutan jembatan adalah 82,5 mm. Jika diperhitungkan bahwa lentutan *initial* merupakan lentutan yang terjadi pada jembatan, maka lentutan total yang terjadi pada saat pengujian jembatan telah melebihi nilai lentutan maksimum yang diizinkan, 129,87 mm > 82,5 mm, kondisi ini menyebabkan jembatan tidak aman.

#### **5.3.5 Komparasi Frekuensi Aktual dan Frekuensi Natural**

Berdasarkan pengujian dinamis pada struktur Jembatan Melengo yang menghasilkan perilaku getaran dan frekuensi aktual struktur jembatan. Data-data yang diperoleh dari pengujian dan data hasil Analisa struktur. Analisa truktur dilakukan dengan menggunakan progam *midas civil versi 2019 v1.1* dengan analisis *ritz vectors* yang mengasumsikan fungsi bentuk dari *MDOF* dan mengubahnya menjadi *SDOF*. Analisa pembebanan dalam *ritz vector* menghasilkan hasil analisis

dinamis yang mencerminkan karakteristik pembebanan dinamis, adapun data input sebagai berikut:

1. Mutu Baja

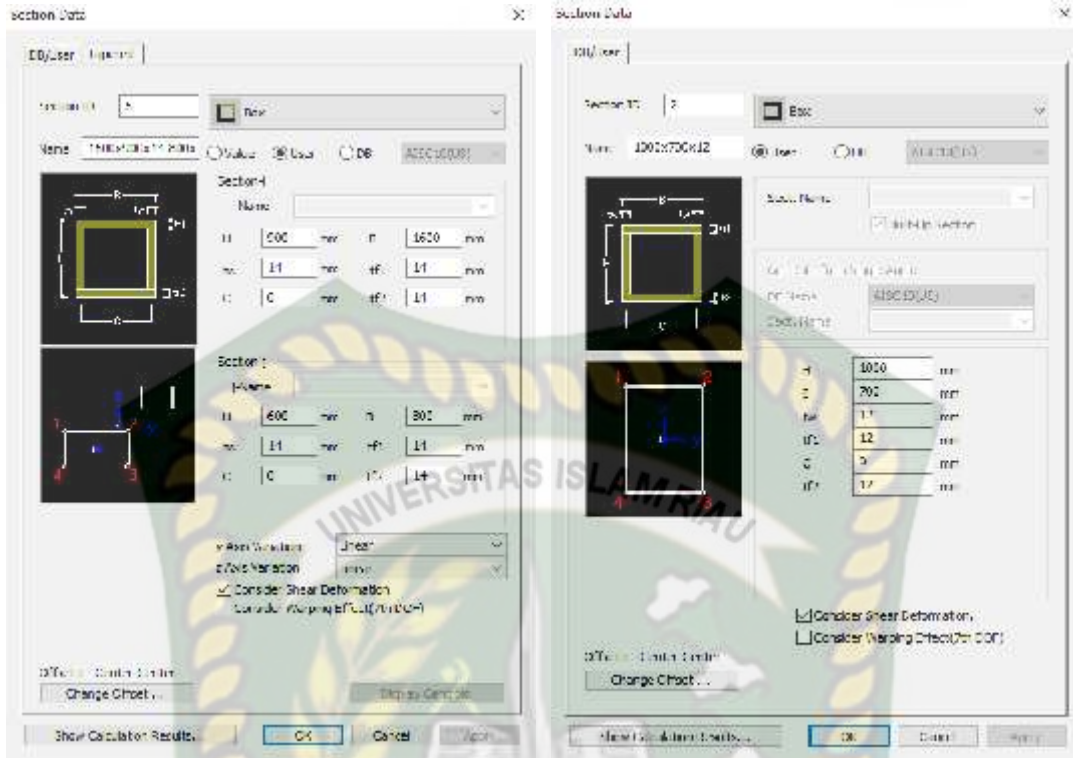
Mutu baja penampang menggunakan mutu baja dengan  $f_y = 305,02 \text{ Mpa}$

2. Penampang Struktur

Data penampang elemen struktur disesuaikan dengan *Asbuilt Drawing* pembangunan jembatan.

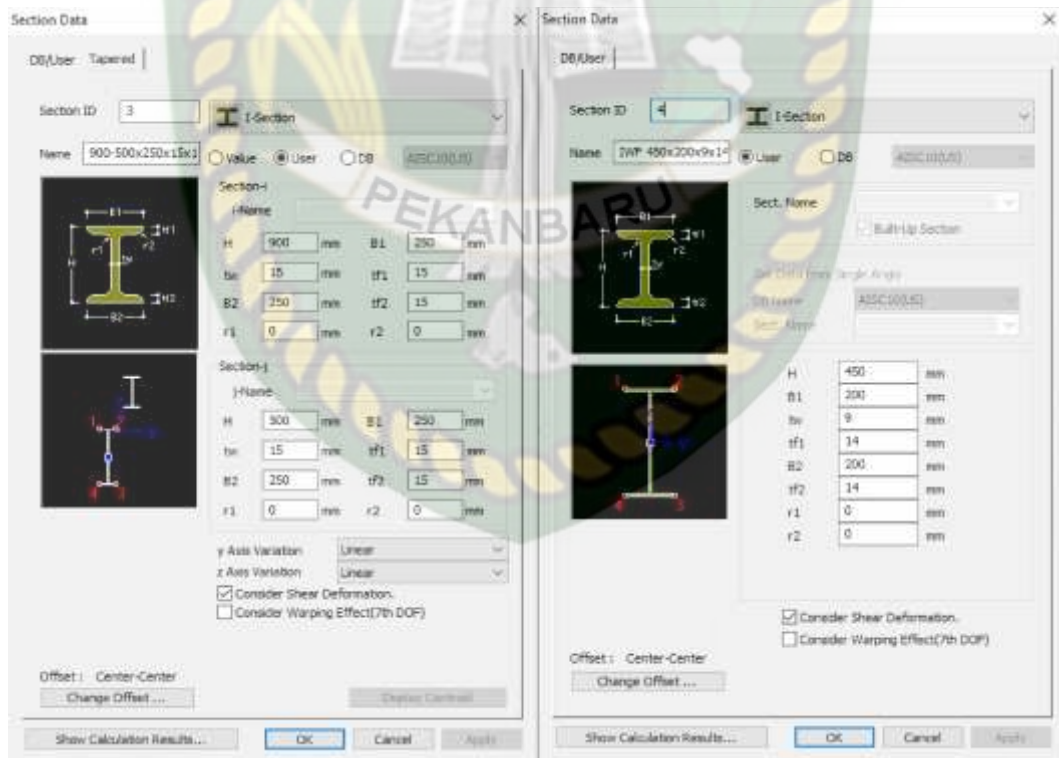
- a. *Arch Beam*, Bentuk penampang *Box Tapered* 1600x900x14 s/d 800x600x14 mm (semakin ketengah bentang semakin mengecil)
- b. *Edge Beam*, Bentuk penampang Box 1000x700x12 mm)
- c. *Hanger Beam*, Bentuk penampang IWF *Tapered* 900x250x15x15 s/d 500x250x15x15 mm (semakin ketengah bentang semakin mengecil)
- d. *Cross Beam*, Bentuk penampang IWF 450x200x9x14 mm

Data-data tersebut diinput dan digambarkan dalam program *midas civil*, mendesain ulang struktur pada program *midas civil* harus disesuaikan dengan bentuk sebenarnya jembatan, termasuk jenis perletakan dan sambungan-sambungan. Data input tersebut seperti gambar 5.3



Arch Beam

Edge Beam



Hanger Beam

Cross Beam

**Gambar 5.10** Penampang Struktur Jembatan Melengko



Setelah data-data diinput ke dalam program *midas civil*, selanjutnya program tersebut *dirunning* dan didapat hasil sebagaimana gambar 5.10 dan 5.11



**Gambar 5.11** Mode Shape 1 Jembatan (Kekakuan Struktur)



**Gambar 5.12** Mode Shape 5 Jembatan (Extrim Puntir)

Penentuan Moda analisa yang dipakai berdasarkan bentuk perilaku yang terjadi terhadap struktur. Untuk Moda puncak pertama moda yang dipakai adalah

moda 1 (Kekakuan struktur), untuk moda 5 adalah moda dimana struktur mengalami perilaku ekstrim. Berdasarkan hasil data-data di atas kemudian dibuatkan tabel komparasi dan dievaluasi berdasarkan tabel 5.10.

**Tabel 5. 10** Komparasi Frekuensi Aktual dan Natural Jembatan Melengo

No.	Tipe Jembatan	Frekuensi (Hz)	Frekuensi (Hz)	Rating Persentase Kerusakan (%)	Keterangan
		Aktual (pengujian)	Natural (Analisis)		
		Puncak 1	Moda 1		
1	Rangka Baja Arch Taper Box	3,91	2,17	-	Frekuensi aktual > Frekuensi Natural , Kriteria Kondisi Jembatan = Baik dan tidak ada kerusakan

Berdasarkan tabel komparasi 5.10 yang membandingkan antara frekuensi aktual dan natural jembatan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pengujian getaran pada Jembatan Melengo menghasilkan frekuensi sebesar 3,91 Hz > 2,17 Hz (Moda ke 1), nilai kriteria kondisi jembatan adalah baik dan tidak ada kerusakan.
2. Berdasarkan hasil pengujian pembebanan dinamis, nilai frekuensi aktual jembatan lebih besar dibandingkan dengan nilai frekuensi struktur jembatan berdasarkan hasil analisis. Membuktikan bahwa struktur eksisting jembatan lebih kaku dibandingkan dengan modeling struktur pada software, faktor utama yang membuat jembatan lebih kaku adalah setiap sambungan menggunakan las

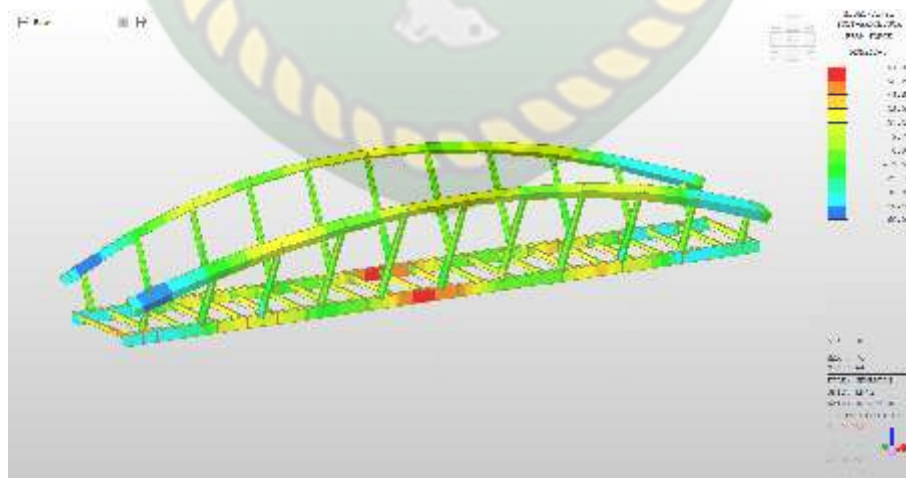
Pembahasan frekuensi jembatan hanya membandingkan antara frekuensi aktual pada saat pengujian dibandingkan dengan frekuensi natural yang didapat dari *software midas civil*.

### 5.3.6 Rating Factor (Diagnostic Load Testing)

Uji pembebanan yang dilakukan pada Jembatan Melengo adalah dengan jenis pembebanan *Diagnostic Load Testing*. Pemodelan struktur dan pembebanan untuk proses analisis disimilarkan sesuai proses aktual *loading test*. Reaksi gaya yang ditinjau adalah reaksi yang dihasilkan oleh beban mati jembatan dan beban live load truk. Pemodelan tersebut kemudian *dirunning* pada program Analisa Struktur *midas civil* menghasilkan reaksi seperti gambar 5.13, gambar 5.14 dan tabel 5.11.



Gambar 5.13 Dead Load Moment Result on Bridge



Gambar 5. 14 Live Load Moment Result On Bridge

**Tabel 5. 11** Force Result Based On Analysis Loading Test

<i>Element Structure</i>	<i>Number</i>	<i>Maximum Force</i>	<i>Nominal Design Capacity</i>	<i>DL</i>	<i>LL</i>	<i>Units</i>
<b>Arch Beam</b>	1	<i>Momen Maksimum</i>	6930,02	323,29	60,09	kNm
	2	<i>Shear</i>	3369,53	39,24	14,93	kN
	3	<i>Axial</i>	8204,85	2480,82	344,12	kN
<b>Edge Beam</b>	1	<i>Momen Maksimum</i>	2800,73	359,52	67,93	kNm
	2	<i>Shear</i>	2921,86	64,41	21,40	kN
	3	<i>Axial</i>	8980,01	3,53	0,91	kN
<b>Cross Beam</b>	1	<i>Momen Maksimum</i>	174,74	13,45	45,72	kNm
	2	<i>Shear</i>	552,01	3,07	27,58	kN
	3	<i>Axial</i>	2098,10	0,93	0,30	kN
<b>Hanger Beam</b>	1	<i>Momen Maksimum</i>	701,16	49,35	30,03	kNm
	2	<i>Shear</i>	1022,25	8,99	3,90	kN
	3	<i>Axial</i>	4587,79	185,02	41,39	kN

Dengan memasukkan nilai *Impact Factor* berdasarkan hasil pengujian sebesar 1.35. Berikut adalah hasil perhitungan *rating factor* pada jembatan uji seperti tabel 5.12.

**Tabel 5.12** Estimation of Rating Factor (RF)

<i>Element Structure</i>	<i>Number</i>	<i>Maximum Force</i>	<i>Nominal Design Capacity</i>	<i>DL</i>	<i>LL</i>	<i>Units</i>	<i>RF Inventory Rating</i>	<i>RF Operating Rating</i>
<i>Arch Beam</i>	1	<i>Momen Maksimum</i>	6930,02	323,29	60,09	kNm	<b>36,98</b>	<b>61,73</b>
	2	<i>Shear</i>	3369,53	39,24	14,93	kN	<b>75,87</b>	<b>126,65</b>
	3	<i>Axial</i>	8204,85	2480,82	344,12	kN	<b>4,94</b>	<b>8,25</b>
<i>Edge Beam</i>	1	<i>Momen Maksimum</i>	2800,73	359,52	67,93	kNm	<b>11,73</b>	<b>19,57</b>
	2	<i>Shear</i>	2921,86	64,41	21,4	kN	<b>45,27</b>	<b>75,57</b>
	3	<i>Axial</i>	8980,01	3,53	0,91	kN	<b>3366,82</b>	<b>5620,00</b>
<i>Cross Beam</i>	1	<i>Momen Maksimum</i>	174,74	13,45	45,72	kNm	<b>1,17</b>	<b>1,96</b>
	2	<i>Shear</i>	552,01	3,07	27,58	kN	<b>6,78</b>	<b>11,32</b>
	3	<i>Axial</i>	2098,1	0,93	0,3	kN	<b>2385,95</b>	<b>3982,70</b>
<i>Hanger Beam</i>	1	<i>Momen Maksimum</i>	701,16	49,35	30,03	kNm	<b>7,24</b>	<b>12,09</b>
	2	<i>Shear</i>	1022,25	8,99	3,9	kN	<b>88,45</b>	<b>147,65</b>
	3	<i>Axial</i>	4587,79	185,02	41,39	kN	<b>35,85</b>	<b>59,85</b>

Berdasarkan hasil diatas diketahui nilai RF yang terkecil adalah pada Momen di elemen *Cross Beam* dengan nilai 1,17 dan 1,96 pada *RF Operating Rating*. Nilai  $RF > 1$  mengindikasikan bahwa Beban Yang dipakai pada muatan harian aman terhadap jembatan teruji dengan kecepatan truk maksimum 20 km/jam.

Dari hasil *Rating Factor* (RF) Pengujian pada Jembatan Melengo, maka akan dapat diperoleh beban *inventory* maksimum dan beban *operating* maksimum pada jembatan. Beban *inventory* maksimum merupakan beban harian maksimum yang dapat melewati jembatan, sedangkan Beban *Operating* Maksimum merupakan beban operasi maksimum yang dapat melewati jembatan tetapi akan

merusak jembatan sehingga akan mengurangi umur jembatan tersebut. Jadi, beban maksimum pada Jembatan Melengo adalah: beban *inventory* maksimum =  $1,17 \times 15 \text{ ton} = 17,55 \text{ ton}$ , beban *operating* maksimum =  $1,96 \times 15 \text{ ton} = 29,4 \text{ ton}$ .

Berdasarkan SNI 1725 2016 Pembebanan Untuk Jembatan, mengacu beban lajur yang dipakai, maka dengan panjang bentang jembatan 75 m dan lebar jalur lalu lintas 8,5 m, maka didapat beban yang dapat melewati jembatan adalah 180,9 ton. Dengan analisa *Rating Faktor*, maka kondisi layan jembatan saat ini hanya 9,7% dari yang direncanakan.



## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisis data serta pembahasan yang dilakukan, maka dapat disimpulkan

1. Hasil pemeriksaan visual jembatan dapat disimpulkan bahwa secara umum elemen jembatan hanya mengalami kerusakan ringan seperti terkelupasnya lapisan cat dan hanya memerlukan pemeliharaan rutin.
2. Nilai tegangan maksimum yaitu 13,2 Mpa hasil pengujian lebih kecil dibandingkan dengan tegangan leleh baja (305,02 Mpa), artinya tegangan yang terjadi akibat beban dinamis pada jembatan tersebut masih aman.
3. Nilai Pembesaran Dinamis (DLA – *Dynamic Load Allowance*) Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa pada Jembatan Melengo (Bentang 66 m) didapat hasil maksimum  $DAF = 1,35 < 1,4$ . Persyaratan  $DAF < DLA$  telah memenuhi syarat.
4. Berdasarkan hasil pengujian pembebanan dinamis, dapat disimpulkan bahwa jika diperhitungkan lendutan *initial* merupakan lendutan yang terjadi pada jembatan, maka lendutan total yang terjadi pada saat pengujian jembatan telah melebihi nilai lendutan maksimum yang diizinkan,  $129,87 \text{ mm} > 82,5 \text{ mm}$ , kondisi ini menyebabkan jembatan tidak aman.
5. Komparasi frekuensi aktual dan frekuensi natural Jembatan Melengo menghasilkan frekuensi sebesar  $3,91 \text{ Hz} > 2,17 \text{ Hz}$  (Moda ke 1), kriteria

kondisi jembatan adalah baik dan tidak ada kerusakan. Nilai frekuensi aktual jembatan lebih besar dibandingkan dengan nilai frekuensi struktur jembatan berdasarkan hasil analisis. Hal ini membuktikan bahwa struktur eksisting jembatan lebih kaku dibandingkan dengan modeling struktur pada software.

6. *Rating Factor (Diagnostic Load Testing)* Jembatan Melengo berdasarkan pengujian didapat nilai RF yang terkecil pada momen di elemen *Cross beam* dengan nilai *RF Inventory Rating* 1,17 dan *RF Operating Rating* 1,96. Nilai RF > 1 mengindikasikan bahwa beban yang dipakai dalam pengujian lebih kecil dari muatan harian yang diizinkan. Beban *Inventory* Maksimum =  $1,17 \times 15$  ton = 17,55 ton dan beban *Operating* Maksimum =  $1,96 \times 15$  ton = 29,4 ton. Hal ini sesuai jalan yang dihubungkan jembatan tersebut yaitu jalan kelas III dengan MST 8 ton.

## 6.2 Saran

Berikut beberapa saran berdasarkan hasil pengujian pada Jembatan Melengo yang telah dilakukan:

1. Untuk selanjutnya perlu dilakukan pemeriksaan rutin secara berkala untuk memastikan bahwa struktur masih berfungsi secara layak.
2. Perlu dilakukan tinjauan analisa struktur jembatan kembali berdasarkan data-data aktual supaya dapat menggambarkan kondisi aktual struktur jembatan itu sendiri.
3. Kepada pemangku kepentingan terhadap jembatan Melengo, penulis menyarankan agar dipasang rambu pada jembatan yaitu rambu jalan kelas III dengan MST 8 ton sesuai dengan jalan yang dihubungkan jembatan tersebut.



## DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials. 2000. *Manual for Condition Evaluation of Bridges. 2nd edition.* Washington, DC: AASHTO
- Cantieni, R. 1983. *Dynamic Load Test On Highway Bridges In Swizerland Report No.211.* EMPA, CH-8600 Dubendorf, Switzerland. 79 PP.
- Badan Standardisasi Nasional SNI 03-1725-1989, 1989, *Tata Cara Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya*, Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional RSNI T-02-2005, 2005, *Standar Pembebanan Untuk Jembatan*, Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional SK.SNI T-03-2005, 2005, *Perencanaan struktur baja untuk jembatan*, Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional SNI 1725:2016, 2016, *Pembebanan untuk jembatan*, Jakarta
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 1992, *Bridge Management System 1992*, Jakarta
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 1993, *Panduan Pemeriksaan Jembatan (Bridge Management System 1993): Petunjuk untuk Menilai Struktur dan Tingkat Kerusakannya.* Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia
- Direktorat Jenderal Bina Marga 024/BM/2011, 2011, *Pedoman Penentuan Sisa Kapasitas Jembatan*, Jakarta
- Hardiansyah, Cahya, 2014, *Perbandingan Nilai Daya Dukung Ultimit Tiang Tunggal Berdasarkan Hasil Pengujian Beban Dinamik dan Statik*, Bandung

- Hou, T. and P. J. Lynch. 2006. "Rapid-to-deploy wireless monitoring systems for static and dynamic load-testing of bridges: validation on the grove street bridge," in *13th Annual International Symposium on Smart Structures and Materials, Proceedings of SPIE*. San Diego: SPIE
- Kementerian Pekerjaan Umum, Puslitbang Jalan dan Jembatan. 2012. *Laporan Uji Pembebanan Statis dan Dinamis Jembatan Integral Sinapeul B Kabupaten Sumedang*. Bandung: Pusjatan
- Lintang, Mahargya, 2012, *Analisa Pengaruh Korosi Pada Girder Terhadap Perubahan Kapasitas Penampang Dan Frekuensi Alamiah Jembatan Komposit (Baja-Beton)*, Jakarta
- Manual for Condition Evaluation and Load and Resistance Factor Rating (LRFR) of Highway Bridge*. 2003. AASHTO
- Ministry of Public Work Republic of Indonesia 1992, *Bridge Management System (BMS)*, Jakarta
- N. Retno Setiati, Anton Surviyanto, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan 2013, *Analisis Uji Beban Kendaraan Terhadap Jembatan Integral Penuh (Loading Test Analysis Of Full Integral Bridge)*, Bandung
- Pedoman Penentuan Sisa Kapasitas Jembatan*, 024/BM/2011 Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Penilaian Kondisi Jembatan Untuk Bangunan Atas Dengan Cara Uji Getar*, Pt-05-2002-B, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah
- PT. Graha survei indonesia, 2019. *Laporan Pemeriksaan (Static & Dinamic Test di Jembatan 4 Kota Baru Parahyangan)*, Tangerang

PT. Graha survei indonesia, 2019. *Loading Test Jembatan East Connection Taxway*

*Bandara Soekarno-Hatta, Jakarta*

PT. Hutama Karya (Persero), *Laporan Uji Beban Jembatan Siak II Kota Pekanbaru*

*2019, Pekanbaru*

Tristanto, L. 1990. *Bridge Vibration Criteria, proceeding 6th REAAA conference,*

*Kuala Lumpur, Malaysia. 16 PP.*

Wahyudi, Agung, Setiya Budi, Agus, Purwanto, Edy. 2014. *analisis kapasitas*

*jembatan rangka baja Austria tipe A60 dengan menggunakan software*

*Midas Civil (studi kasus jembatan pintu air sepuluh).*Surakarta: e-Jurnal

MATRIKS TEKNIK SIPIL Vol. 2

