# PENENTUAN NILAI FREKUENSI ALAMI STRUKTUR PELAT LANTAI JEMBATAN LENGKUNG MENGGUNAKAN METODE *OPERATIONAL MODAL ANALYSIS* (OMA)

**TUGAS AKHIR**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana*
*Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik*
*Universitas Islam Riau*
*Pekanbaru*




**DISUSUN OLEH:**

**QOIDDUL ADLI**
**183110171**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK**
**UNIVERSITAS ISLAM RIAU**
**PEKANBARU**
**2023**

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

HALAMAN PERSETUJUAN

# TUGAS AKHIR

## PENENTUAN NILAI FREKUENSI ALAMI STRUKTUR PELAT LANTAI JEMBATAN LENGKUNG MENGGUNAKAN METODE OPERATIONAL MODAL ANALYSIS (OMA)


**Disusun Oleh :**

**QOIDDUL ADLI**
**NPM : 183110171**


*Diperiksa dan Disetujui Oleh :*

**Mahadi Kurniawan S.T., M.T**
**Pembimbing**

**Tanggal 12 April 2023**


Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

HALAMAN PENGESAHAN

# TUGAS AKHIR

## PENENTUAN NILAI FREKUENSI ALAMI STRUKTUR PELAT LANTAI JEMBATAN LENGKUNG MENGGUNAKAN METODE OPERATIONAL MODAL ANALYSIS (OMA)

**Disusun Oleh :**

**QOIDDUL ADLI**
**NPM : 183110171**

*Telah Disetujui Didepan Dewan Penguji Pada Tanggal 12 April 2023 Dan Menyatakan Telah Memenuhi Syarat Untuk Diterima*

**SUSUNAN DEWAN PENGUJI**

**Mahadi Kurniawan, S.T., M.T**
**Pembimbing**

**Harmiyati, S.T., M.Si.**
**Dosen Penguji 1**

**Firman Syarif, S.T., MEng**
**Dosen Penguji 2**

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan :

1. Karya tulis ini asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (strata satu ) di Universitas Islam Riau.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan oleh pembimbing.
3. Dalam karya ini tidak terdapat karya atau pendapat orang kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan tidak kebenaran dalam pernyataan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang suda diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Pekanbaru, 12 April 2023

Yang Bersangkutan Pernyataan




**QOIDDUL ADLI**
**183110171**

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

# KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT Yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi tugas akhir yang berjudul "**Penentuan Nilai Frekuensi Alami Struktur Pelat Lantai Jembatan Lengkung Menggunakan Metode *Operational Modal Analysis* (OMA)**". Adapun penulisan tugas akhir dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan kurikulum akademis untuk menyelesaikan program studi (Strata I) pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau. Penulis mengakui bahwa kesempurnaan itu hanya mlik Allah SWT. Untuk itu, dengan kelapangan hati penulis menerima kritik dan saran yang membangun guna kesempurnaan dalam pembuatan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalmu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Pekanbaru, 12 April 2023



QOIDDUL ADLI
NPM. 183110171



Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

## UCAPAN TERIMAKASIH

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Alhamdullilah segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah Subhanallahu Wa Ta'ala berkat limpah rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "**Penentuan Nilai Frekuensi Alami Struktur Pelat Lantai Jembatan Lengkung Menggunakan Metode *Operational Modal Analysis* (OMA)**". Tugas akhir ini berupa skripsi sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar serjana strasa 1 (S1) pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini tidak akan terwujud tanpa adanya do'a dan berkah Allah Subhanallahu Wa Ta'ala, serta dorongan, motivasi, berkat bantuan, bimbingan dan kerjasama dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih dan rasa hormat disampaikan kepada:

1. Bapak Prof.Dr.Syafrinaldi, S.H.,MCL., selaku Rektor Universitas Islam Riau.
2. Bapak Dr. Eng. Muslim, ST., MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Ibu Dr. Mursyidah, SSI., MSc, selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak Dr. Anas Puri, ST., MT, selaku Wakil Dekan II Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
5. Bapak Ir. Akmar Efendi S.Kom, M.Kom, selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
6. Ibu Harmiyati, ST., M.Si, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau sekaligus dosen penguji 1 dalam Tugas Akhir.
7. Ibu Sapitri, ST., MT, Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau.
8. Bapak Mahadi Kurniawan, ST., MT selaku Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, saran, nasihat dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tugas akhir ini



Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

9. Bapak Firman Syarif ST.,M.Eng. selaku Dosen Penguji 2 dalam Tugas Akhir.
10. Bapak dan Ibu dosen pengajar Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
11. Seluruh karyawan dan karyawati Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
12. Kepada PT. TESTINDO, terkhusus Bapak Zulfikri, Bapak Abdul Latif, Bapak Rafael, Bapak Rizki dan Bapak Reyvaldi Albert yang telah membantu peneliti dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
13. Teristimewa keluarga penulis Bapak Wajiran dan Almarhumah Ibuk Mariati selaku orang tua yang telah berjuang dengan gigih membesarkan dan mendidik dengan penuh cinta dan kasih sayang.
14. Saudara kandung, Nur Fadhilah Aulia, Wulan Khairunnisa dan Suci Hanifah yang telah memberikan dukungan semangat dan saran-saran terbaik.
15. Kepada Mutia Rizqa yang selalu memberi dukungan ke pada peneliti untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
16. Kepada teman-teman seperjuangan Tugas Akhir, M Javier Nabil, Qonita Ritonga, dan Citra Raveena Putri yang telah mendukung dan membatu dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
17. Kepada teman-teman seperjuangan pada grup NOLEP yang telah menemani keluh kesah bagi penulis, sekaligus mahasiswa angkatan 18 Teknik Sipil yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas dukungan dan semangat serta saran yang diberikan.
18. *Last but not least, thank myself for always being healthy physically and mentally, for continuing to believe in me, for never stopping fighting, and for never getting tired of continuing to be myself.*

Pekanbaru, 12 April 2023



QOIDDUL ADLI
NPM. 183110171



Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

# DAFTAR ISI

**KATA PENGANTAR** ..... **i**
**UCAPAN TERIMAKASIH** ..... **ii**
**DAFTAR ISI** ..... **iv**
**DAFTAR GAMBAR** ..... **vi**
**DAFTAR TABEL** ..... **viii**
**DAFTAR NOTASI** ..... **ix**
**DAFTAR LAMPIRAN** ..... **xi**
**ABSTRAK** ..... **xii**
**BAB I** ..... **1**
1.1 Latar Belakang ..... 1
1.2 Rumusan Masalah ..... 3
1.3 Tujuan Penelitian ..... 3
1.4 Manfaat Penelitian ..... 3
1.5 Batasan Masalah ..... 3

**BAB II** ..... **5**
2.1 Umum ..... 5
2.2 Penelitian Terdahulu ..... 5
2.3 Keaslian Penelitian ..... 8

**BAB III** ..... **9**
3.1 Jembatan Lengkung ..... 9
3.2 Pemodelan Jembatan Lengkung ..... 11
3.3 Akselerometer ..... 11
3.4 Teori Dasar Dinamika Stuktur ..... 12
3.4.1 Derajat Kebebasan (DOF) ..... 13
3.4.2 Parameter Dinamik ..... 16
3.5 Analisis Modal ..... 18
3.5.1 Persamaan Gerak ..... 18
3.5.2 Expansi Modal ..... 19



Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

3.5.3 Persamaan Modal ..... 20
3.5.4 Jumlah Moda Yang Dibutuhkan Dalam Analisis Modal ..... 22
3.6 Respon Sistem Akibat Beban Impuls ..... 23
3.7 Operational Modal Analysis ..... 23
3.8 Frequency Response Function ..... 24
3.9 Frekuensi Alami ..... 24

**BAB IV ..... 26**
4.1 Lokasi Penelitian ..... 26
4.2 Teknik Penelitian ..... 26
4.3 Deskripsi Umum Jembatan ..... 26
4.4 Tahap Pelaksanaan Penelitian ..... 27
4.5 Pengolahan Data (*Operational Modal Analysis*) ..... 30

**BAB V ..... 32**
5.1 Hasil Modelisasi ..... 32
5.2 Penentuan Lokasi dan Jumlah Titik Sensor ..... 33
5.3 Pengujian Penentuan Nilai Frekuensi Alami ..... 34
5.3.1 Persiapan dan Pengujian ..... 35
5.3.2 Data Hasil Pengujian ..... 36
5.3.3 Perbandingan Hasil Pengujian Dengan Hasil Permodelan ..... 43

**BAB VI ..... 45**
6.1 Kesimpulan ..... 45
6.2 Saran ..... 45

**DAFTAR PUSTAKA ..... 46**

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

## DAFTAR GAMBAR

**Gambar 3. 1** Modelisasi SDOF (Chopra, 2014) ..... 13
**Gambar 3. 2** Modelisasi Kesetimbangan SDOF Dinamik (Chopra, 2014) ..... 14
**Gambar 3. 3** Modelisasi MDOF (Chopra, 2014)..... 15
**Gambar 3. 4** Getaran bebas sistem tak teredam pada mode getar pertama (Chopra, 2014) ..... 16
**Gambar 3. 5** Getaran bebas sistem tak teredam pada mode getar kedua (Chopra, 2014) ..... 17
**Gambar 4. 1** Lokasi Penelitian ..... 26
**Gambar 4. 2** Jembatan Lengkung UIR ..... 27
**Gambar 4. 3** Bagan Alir Penelitian..... 29
**Gambar 4. 4** Skema Pengolahan Data ..... 30
**Gambar 5. 1** Model Jembatan Lengkung UIR menggunakan SAP 2000 ..... 33
**Gambar 5. 2** Tampilan model jembatan lengkung UIR pada *software* Femtools 33
**Gambar 5. 3** Lokasi Sensor Pada Pelat Jembatan..... 34
**Gambar 5. 4** Instrumen pengujian ( akselerometer, USB, dan Laptop) ..... 35
**Gambar 5. 5** Layout Arah Akselerometer ..... 35
**Gambar 5. 6** (a) Pengujian dengan metode OMA (b) pembacaan respon percepatan jembatan..... 36
**Gambar 5. 7** Grafik domain waktu dan hasil FFT respon jembatan *channel* 11941 "nilai rekuensi alami 7,02 Hz" ..... 37
**Gambar 5. 8** Grafik domain waktu dan hasil FFT respon jembatan *channel* 56531 "nilai rekuensi alami 7,02 Hz" ..... 38
**Gambar 5. 9** Grafik domain waktu dan hasil FFT respon jembatan *channel* 56532 titik 3 "nilai rekuensi alami 7,02 Hz" ..... 39
**Gambar 5. 10** Grafik domain waktu dan hasil FFT respon jembatan *channel* 56534 titik 4 "nilai rekuensi alami 7,02 Hz"..... 39
**Gambar 5. 11** Grafik domain waktu dan hasil FFT respon jembatan *channel* 56531 titik 5 "nilai rekuensi alami 6,40 Hz"..... 40

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

**Gambar 5. 12** Grafik domain waktu dan hasil FFT respon jembatan *channel* 56532 titik 6 “nilai rekuensi alami 6,42 Hz”..... 41
**Gambar 5. 13** Grafik domain waktu dan hasil FFT respon jembatan *channel* 56534 titik 7 “nilai rekuensi alami 6,76 Hz”..... 41
**Gambar 5. 14** Grafik domain waktu dan hasil FFT respon jembatan *channel* 56531 titik 8 “nilai rekuensi alami 6,76 Hz”..... 42
**Gambar 5. 15** diagram perbandingan nilai frekuensi alami struktur pelat lantai jembatan lengkung UIR hasil pengujian dan hasil permodelan..... 44

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

# DAFTAR TABEL

**Tabel 3. 1** Tipe pelengkung, bahan rib dan pencapaian bentang (Kementerian Pekerjaan Umum Perumahan, 2018)..... 10
**Tabel 3. 2** Ketentuan sensor *Accelerometer 3-axis* tipe komunikasi *wireless* (Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2020) ..... 12
**Tabel 4. 1** Deskripsi Umum Jembatan Lengkung UIR ..... 27
**Tabel 5. 1** *Modal Periods and Frequencies* ..... 32
**Tabel 5. 2** Channel Akselerometer ditiap titik dan waktu pengukuran ..... 37
**Tabel 5. 3** Tabel nilai frekuensi alami hasil pengujian dan hasil modelisasi struktur pelat lantai jembatan lengkung UIR ..... 43

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

## DAFTAR NOTASI

| | |
|---|---|
| C | = Redaman |
| ej | = *Error margin* |
| $F(\omega)$ | = Sinyal *input transformasi fourier* |
| $f_n(t)$ | = Gaya static ekivalen |
| $H(\omega)$ | = Matriks FRF |
| J | = Moda terakhir |
| K | = Kekakuan |
| M | = Massa |
| *mi* | = Spatial dari gaya gempa efektif |
| *n* | = Jumlah Mode |
| $q_n(t)$ | = Koordinat modal |
| r | = Respon |
| *r(t)* | = Quantitas Respon |
| $r_n^{st}$ | = Respon modal statis |
| s | = Spatial |
| $s_n$ | = Distribusi gaya inersia yang berasosiasi dengan mode getar |
| *sp (t)* | = Gaya spatial independen terhadap waktu |
| $T_n$ | = Periode getar |
| *(t)* | = Beban yang berubah menurut waktu. |
| *u* | = Perpindahan pergerakan |
| *ú* | = Kecepatan pergerakan |
| *ü* | = Percepatan pergerakan |
| $u_n(t)$ | = Superposisi dari kontribusi modal |
| X(ω) | = Sinyal *output transformasi fourier* |
| $\omega_n$ | = Frekuensi alami |
| $FI = mü$ | = Gaya luar komponen Massa terhadap percepatan gerakan tanah |
| $Fd = cú$ | = Gaya luar komponen Redaman terhadap kecepatan gerakan tanah |

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

$Fs = ku$ = Gaya luar komponen Kekakuan terhadap perpindahan gerakan tanah

$\zeta_n$ = Rasio Redaman untuk Mode ke n

$\phi_n$ = Mode getar

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

## DAFTAR LAMPIRAN

**LAMPIRAN A** ..... LAMPIRAN A-1
A.1 Permodelan Dengan SAP 2000 ..... LAMPIRAN A-1
A.2 Penentuan Lokasi Sensor Akselerometer Menggunakan Femtools ..... LAMPIRAN A-11
A.3 Pengukuran Percepatan Jembatan Menggunakan *Sensor Connect* ..... LAMPIRAN A-16
**LAMPIRAN B** .....LAMPIRAN B-1
B.1 Gambar Kerja Jembatan Lengkung UIR .....LAMPIRAN B-1
B.2 Spesifikasi Jembatan Lengkung UIR .....LAMPIRAN B-9
**LAMPIRAN C** .....LAMPIRAN C-1

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

**PENENTUAN NILAI FREKUENSI ALAMI STRUKTUR PELAT LANTAI JEMBATAN LENGKUNG MENGGUNAKAN METODE *OPERATIONAL MODAL ANALYSIS* (OMA)**

**QOIDDUL ADLI**
**183110171**

## ABSTRAK

Jembatan lengkung yang ada di Universitas Islam Riau merupakan satu-satunya akses menuju fakultas Ilmu Komunikasi, yang apabila jembatan tersebut mengalami kerusakan maka kegiatan di fakultas Ilmu Komunikasi akan sangat terhambat. Agar dapat mencegah timbulnya kerusakan dini maka dalam penelitian ini dilakukan kajian untuk mendapatkan nilai frekuensi alami struktur pelat lantai jembatan lengkung tersebut. Menentukan kerusakan struktur secara dini jelas merupakan hal yang sangat penting karena dapat dilakukan tindakan perbaikan agar tidak berbahaya dikemudian hari.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Operational Modal Analysis* (OMA). *Operational Modal Analysis* (OMA) atau disebut juga *Ambient vibration test* adalah metode untuk memperkirakan karakter dinamis struktur (frekuansi alami, *mode shapes*, dan *damping ratio*) berdasarkan getaran yang dihasilkan dari kondisi *operational* struktur itu sendiri, seperti getaran dari operasi mesin, angin, dan lain lain. Teknik ini hanya output yang di ukur untuk kemudian di gunakan dalam analisis.

Perekaman data penelitian menggunakan sensor *accelerometer* dengan delapan titik pengukuran pada pelat lantai jembatan. Data hasil perekaman tersebut diolah dengan menggunakan *software sensor connect*. Data yang akan didapat yaitu berupa respon percepatan struktur dalam domain waktu. Respon dalam domain waktu tersebut kemudian ditranformasi agar menjadi domain frekuensi dengan metode *Fast Fourier Transform* (FFT). Berdasarkan analisa data yang dilakukan disimpulkan bahwa frekuensi alami dari jembatan yaitu berkisar 6 sampai 7 Hz, yang menunjukkan bahwa jembatan lengkung UIR memenuhi nilai frekuensi alami jembatan berdasarkan ketentuan Standar Nasional Indonesia (SNI 1725:2016).

**Kata Kunci:** Jembatan lengkung, *Operational Modal Analysis*, *accelerometer*, Frekuensi alami.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

**DETERMINATION OF NATURAL FREQUENCY VALUE ARCH BRIDGE FLOOR PLATE STRUCTURE USING THE METHOD OPERATIONAL MODAL ANALYSIS (OMA)**

**QOIDDUL ADLI**
**183110171**

## ABSTRACT

The arch bridge at Riau Islamic University is the only access to the Faculty of Communication Sciences, if the bridge is damaged, activities at the Faculty of Communication Sciences will be greatly hampered. In order to prevent premature damage, in this study a study was carried out to obtain the natural frequency value of the curved bridge floor plate structure. Determining structural damage early is clearly very important because corrective action can be taken so that it is not dangerous in the future.

The method used in this research is Operational Modal Analysis (OMA). Operational Modal Analysis (OMA) or also called Ambient vibration test is a method for estimating the dynamic characteristics of a structure (natural frequency, mode shapes, and damping ratio) based on vibrations generated from the operational conditions of the structure itself, such as vibrations from machine operations, wind, and etc. This technique is only the output that is measured for later use in the analysis

Recording research data using accelerometer sensors with eight measurement points on the bridge floor plate. The recorded data is processed using sensor connect software. The data to be obtained is in the form of a response to the acceleration of the structure in the time domain. The response in the time domain is then transformed into the frequency domain using the Fast Fourier Transform (FFT) method. Based on the data analysis conducted, it was concluded that the natural frequency of the bridge is in the range of 6 to 7 Hz, which indicates that the UIR arch bridge meets the natural frequency value of the bridge based on the provisions of the Standar Nasional Indonesia (SNI 1725:2016).

**Keywords:** Arch bridge, Operational Modal Analysis, accelerometer, Natural frequency

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Jembatan merupakan sarana alat transportasi yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Seiring berkembangnya teknologi dan perekonomian, pembangunan jembatan dengan bentang yang panjang dan kuat akan sangat dibutuhkan mengingat fungsi jembatan sebagai penghubung antar satu daerah dengan daerah yang lain (Lilu, 2019). Akan tetapi dalam masa layan, kapasitas struktur sebuah kontruksi jembatan akan dipengaruhi oleh berbagai macam faktor beban dan kondisi lingkungan seperti, beban gempa, korosi, faktor usia, dan beban lalu lintas.

Kerusakan struktur dan penurunan performa jembatan tidak selalu dapat diketahui dari kondisi tampak jembatan. Dalam perancangannya jembatan memiliki nilai frekuensi alami yang melekat pada struktur jembatan tersebut. Frekuensi tersebut dapat berubah seiring berjalannya waktu yang mengindikasikan adanya perubahan pada struktur jembatan (Amaripujo, 2021).

Besarnya frekuensi alami suatu bahan yang bergetar secara transversal sangat dipengaruhi oleh modulus elastisitas bahan, dimensi/geometri (lebar, panjang, luas penampang), *density*, dan gaya aksi yang bekerja pada bahan. (Maulidiya & Rusli, 2017). Pemantauan getaran telah banyak digunakan untuk penilaian struktural global dan lokal. Beberapa teknik eksitasi telah dieksplorasi dan digunakan dalam penilaian jembatan berbasis getaran seperti getaran sekitar, getaran paksa, getaran akibat lalu lintas dan getaran akibat seismik. Dalam penilaian jembatan berbasis getaran, karakteristik seperti tingkat getaran dan parameter modal biasanya digunakan sebagai indikator karena memberikan informasi tentang kondisi sebenarnya suatu structural (Fujino, 2018).

Apabila jembatan diberi getaran yang memiliki frekuensi diatas frekuensi alami jembatan itu sendiri, maka jembatan akan mengalami keruntuhan. Badan Standardisasi Nasional mengeluarkan standard SNI 1725:2016 pada pasal 10.2.3 struktur jembatan yang frekuensi alami fundamental untuk getaran melebihi 3 Hz,



Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

berarti memenuhi persyaratan servis getaran pada struktur. Bila frekuensi alami pada jembatan dibawah nilai tersebut maka diperlukan penyelidikan khusus terhadap perilaku dinamis jembatan pada batas masa layannya (Badan Standardisasi Nasional, 2016).

Untuk meminimalkan kemungkinan dan sebagai upaya dalam mecegah terjadinya peristiwa runtuhnya bangunan maka diperlukan suatu *Structural Health Monitoring System* (SHMS) yang merupakan ilmu dengan tujuan untuk mendeteksi kerusakan dengan mengintegrasikannya ke dalam struktur untuk memonitor kesehatan dari suatu bangunan. Teknologi ini dapat memperpanjang umur pelayanan bangunan karena penurunan kemampuan dan kerusakan dapat diidentifikasi lebih awal (peringatan dini) sebelum terjadinya kerusakan yang lebih parah dan membutuhkan biaya rehabilitasi yang lebih besar (Darmawan et al., 2017).

Mengingat jembatan lengkung yang ada di Universitas Islam Riau merupakan satu-satunya akses menuju fakultas Ilmu Komunikasi, yang apabila jembatan tersebut mengalami kerusakan maka kegiatan di fakultas Ilmu Komunikasi akan sangat terhambat. Agar dapat mencegah timbulnya kerusakan dini maka dalam penelitian ini dilakukan kajian untuk mendapatkan nilai frekuensi alami struktur pelat lantai jembatan lengkung tersebut. Menentukan kerusakan struktur secara dini jelas merupakan hal yang sangat penting karena dapat dilakukan tindakan perbaikan agar tidak berbahaya dikemudian hari. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan *Operational Modal Analysis* (OMA).

*Operational Modal Analysis* (OMA) adalah tes *in-situ* dan tidak mengganggu kondisi normal dan operasional struktur. OMA merupakan metode untuk memperkirakan karakter dinamis struktur (frekuansi natural, mode shapes, dan damping ratio) berdasarkan getaran yang dihasilkan dari kondisi operational struktur itu sendiri, seperti getaran dari operasi mesin, angin, dan lain lain (Ghalishooyan & Shooshtari, 2015). Data yang yang dihasilkan dari pengujian menggunakan metode OMA akan sesuai dengan kondisi *real*. Sehingga data frekuensi alami yang didapat pada penilitian ini akan sesuai dengan kondisi struktur jembatan lengkung UIR saat beroperasi.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari pemaparan pada latar belakang diatas, dapat diambil rumusan masalah, sebagai berikut:

1. Berapakah nilai frekuensi alami pada struktur pelat lantai jembatan lengkung UIR?
2. Apakah nilai frekuensi alami struktur pelat lantai jembatan lengkung UIR memenuhi standar SNI 1725:2016?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui nilai frekuensi alami pada struktur pelat lantai jembatan lengkung UIR.
2. Untuk mengetahui apakah nilai frekuensi alami struktur pelat lantai jembatan lengkung UIR memenuhi standar SNI 1725:2016.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Mahasiswa, Penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk menambah referensi sebagai bahan penelitian lanjutan yang lebih mendalam pada masa yang akan datang.
2. Bagi Universitas, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam penilaian kondisi kesehatan struktur jembatan lengkung UIR.
3. Bagi Industri, Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan untuk melakukan investasi.

## 1.5 Batasan Masalah

Dalam hal ini, untuk mempersingkat dan memperjelas suatu penelitian agar dapat dibahas dengan baik dan tidak meluas, maka perlu direncanakan batasan masalah yang terdiri dari:

1. Penentuan frekuensi alami hanya dilakukan pada pelat lantai jembatan.
2. Standar nilai frekuensi alami jembatan mengacu pada SNI 1725:2016.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

3. Tipe jembatan adalah jembatan lengkung dengan mutu beton K-250 dan mutu baja BJ 37.
4. Sensor yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sensor *accelerometer* G-Link-200.
5. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *operational modal analysis.*
6. Analisis data dan pemodelan menggunakan bantuan program SAP 2000, FEMtools dan *Sensor connect*.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Umum

Tinjauan atau kajian pustaka merupakan literature yang mendukung masalah khusus dalam sebuah penelitian yang sedang dikerjakan. Dimana kajian ini sangat berguna bagi penulis untuk memberikan gambaran masalah yang akan diteliti. Dimana materi ini berbentuk dalam sebuah teks yang telah diterbit maupun belum (Fraenkel et al., 2012).

## 2.2 Penelitian Terdahulu

Berikut beberapa tinjauan pustaka memuat uraian sistematis tentang hasil-hasil penelitian yang didapat oleh penulis terdahulu serta memiliki hubungan erat dengan penelitian yang sedang dilakukan sehingga dapat memberikan solusi untuk pemecahan masalah pada penelitian yang sedang dilakukan.

Maulidiya & Rusli, (2017), telah melakukan penelitian dengan judul "Penentuan Frekuensi Natural Dan Arah Pergerakan Gelombang (Studi Kasus: Jembatan Soekarno Hatta Kota Malang)". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai frekuensi natural dan arah pergerakan gelombang dari jembatan Soekarno Hatta kota Malang. Perekaman data penelitian menggunakan seismometer portable tipe TDL 303 S (3 komponen) dengan delapan titik pengukuran di sepanjang sisi jembatan. Data hasil perekaman tersebut diolah dengan menggunakan software Geopsy. Analisa data yang digunakan merupakan analisa HVSR dan analisa Particle motion. Analisa HVSR menghasilkan nilai frekuensi dominan dan amplifikasi gelombang. Analisa particle motion menghasilkan plot arah pergerakan gelombang. Berdasarkan analisa data yang dilakukan disimpulkan bahwa nilai frekuensi dominan/frekuensi natural (f0) dari jembatan yaitu berkisar 0,62 sampai 4,34 Hz yang menunjukkan bahwa jembatan sudah tidak layak digunakan sebagai sarana transportasi. Analisa particle motion secara kuantitatif menunjukkan arah pergerakan gelombang ke segala arah baik secara vertikal ataupun secara NS-EW.



Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Wijayanto & Nasution, (2017), telah melakukan penelitian dengan judul "Evaluasi Integritas Sistem Struktur Jembatan Dr. Ir. Soekarno". Jembatan Dr. Ir. Soekarno merupakan jembatan bentang panjang yang menjadi landmark bagi Kota Manado.. Untuk mengetahui kelayakan Jembatan Dr. Ir. Soekarno, maka diperlukan evaluasi yang terintegrasi terhadap keandalan kondisi fisik jembatan. Analisis ini dilaksanakan untuk melakukan pekerjaan review dan evaluasi terhadap integritas struktur Jembatan Dr. Ir. Soekarno secara keseluruhan. Setiap bentuk struktur memiliki karakteristik frekuensi alami yang menggambarkan kekuatan, kekakuan dan integritas struktur. Data rekam getaran (time domain) dibutuhkan untuk mengetahui frekuensi alami. Sumber data rekam getaran adalah data uji beban dinamik dan data rekam sensor-sensor accelerometer. Persepsi dan tingkat kenyamanan pengguna jembatan dievaluasi melalui analisis data rekam getaran. Sensor accelerometer merekam getaran pada arah X, Y, dan Z. Analisis Fast Fourier Transform (FFT) digunakan untuk mengubah domain waktu ke domain frekuensi. Grafik domain frekuensi disaring dengan rumus ISO 2631-1. Persepsi dan tingkat kenyamanan para pengguna Jembatan Dr. Ir. Soekarno masih dalam kondisi nyaman, maka jembatan tersebut bisa dikatakan laik guna untuk dilalui kendaraan. Berdasarkan Distribusi Weibull, Jembatan Dr. Ir. Soekarno dapat digunakan hingga 100 tahun sesuai dengan masa layan rencana.

Riantana et al., (2017), telah melakukan penelitian dengan judul "Penentuan Nilai Frekuensi Natural Bangunan UPT Perpustakaan UNS dengan Sensor Accelerometer pada Handphone Android". Penentuan nilai frekuensi natural bangunan UPT Perpustakaan UNS dengan sensor accelerometer pada handphone android telah dilakukan. Sensor utama untuk mencatat aktifitas mikrotremor adalah sensor accelerometer pada hanphone android. Pencatatan aktifitas mikrotremor dilakukan di setiap lantai bangunan UPT Perpustakaan UNS dan di permukaan tanah luar bangunan. Dari pencatatan aktifitas mikrotremor, data yang terekam dikirimkan ke server secara telemetri. Data yang tersimpan di server selanjutnya ditampilkan dalam grafik pada web monitoring mikrotremor. Data mikrotremor selanjutnya diolah dengan fungsi FFT untuk menentukan dominan frekuensi. Berdasarkan dominan frekuensi dapat diketahui rasio resonansi tanah

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

dan bangunan UPT Perpustakaan UNS. Hasil perhitungan rasio resonansi didapatkan nilai 69.35-94.48% pada komponen NS dan 70.42-98.61% pada komponen EW dengan status resonansi rendah di setiap lantai bangunan.

Putra et al., (2018), telah melakukan penelitian dengan judul "Sistem Penilaian Kondisi Jembatan Menggunakan Respons Dinamik dengan Wireless Sensor Network". Jaringan sensor nirkabel (Wireless Sensor Network/WSN) adalah perangkat tertanam kecil yang dipasang di jaringan skala besar dengan kemampuan melakukan penginderaan, komputasi, dan komunikasi. WSN mengombinasikan sensor modern, mikroelektronika, komputasi, komunikasi, dan teknologi pemrosesan terdistribusi. WSN memberikan kontribusi penting pada semua aspek kehidupan, khususnya pada sistem pengawasan kesehatan struktur jembatan. Karena infrastruktur jembatan selalu dihadapkan dengan kondisi lingkungannya, diperlukan implementasi aplikasi WSN untuk mengawasi kondisi jembatan dan mengirimkan pesan waspada ke ruang kendali ketika terjadi kondisi yang tidak normal. Makalah ini mengusulkan pengembangan sistem pengukuran tingkat kesehatan struktur jembatan secara otomatis menggunakan respons-respons dinamis jembatan. Kontribusi utama makalah ini adalah pengembangan sistem penilaian kondisi jembatan berbasis getaran yang mengidentifikasi frekuensi alamiah dan bentuk getar jembatan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem dapat mengukur frekuensi alamiah dengan nilai yang mendekati hasil finite element analysis (FEA), dan berdasarkan perhitungan Modal Assurance Criteriation (MAC), hasil pengukuran sistem yang dibangun memiliki korelasi tinggi dengan FEA.

Michael Tan , Saktioto, (2016), telah melakukan penelitian dengan judul "Analisa Frekuensi Alami Dan Regangan Oleh Kendaraan Bermotor Menggunakan Fiber Bragg Grating". Peregangan karena getaran dan frekuensi alami Jembatan Siak I diinvestigasi dalam penelitian ini. Regangan dihitung dari laser yang diukur dengan powermeter. Frekuensi alami dihitung secara kalkulasi manual dengan analisa single-girder. Penelitian dilakukan di lima titik pada Jembatan Siak I. Kelima titik pengukuran adalah 10 m, 87,5 m, 175 m, 265 m, dan 287,5 m dari ujung jembatan di Kecamatan Senapelan. Kendaraan yang

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

digunakan untuk menghasilkan getaran adalah Xenia dan pengukuran dilakukan pada dini hari. Peralatan yang digunakan adalah Laser dioda, Fiber Bragg Grating (λB = 1550 nm) dan powermeter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelima titik pengukuran hampir mengalami regangan dibawah 20 με. Frekuensi alami kelima titik pengukuran pada Jembatan Siak I adalah 2,68 Hz, 2,68 Hz, 2,48 Hz, 2,99 Hz, dan 2,68 Hz.

Wang et al., (2018), telah melakukan penelitian dengan judul "*Extraction of bridge fundamental frequency from estimated vehicle excitation through a particle filter approach"*. Dalam penelitian ini, metode yang mengekstraksi frekuensi dasar jembatan dari respons kendaraan biasa dengan parameternya yang telah dikalibrasi terlebih dahulu diusulkan. Metode ini didasarkan pada pemikiran bahwa kendaraan yang melintasi jembatan dipengaruhi oleh dua sumber, yaitu kekasaran perkerasan dan getaran jembatan. Input eksitasi ke kendaraan, yaitu input perpindahan di lokasi ban depan dan belakang, diperkirakan dari respons kendaraan menggunakan metode filter partikel. Input perpindahan yang diperkirakan pada ban depan dan belakang kemudian dikurangi satu sama lain setelah digeser dengan jarak wheelebase untuk menghilangkan pengaruh kekasaran. Sinyal setelah pengurangan hanya berisi pengaruh getaran jembatan dan digunakan untuk mengekstraksi frekuensi dasar jembatan. Metode ekstraksi frekuensi jembatan tidak langsung ini diselidiki melalui simulasi numerik. Pengukuran lapangan juga dilakukan, dan itu menunjukkan bahwa frekuensi dasar jembatan berhasil diekstraksi dengan akurasi yang baik untuk beberapa kasus kecepatan mengemudi.

### 2.3 Keaslian Penelitian

Pada penelitian-penelitian sebelumnya belum ada penelitian terkait penentuan nilai frekuensi alami struktur pelat lantai jembatan lengkung menggunakan metode *Operational Modal Analysis* (OMA) yang diterapkan di Universitas Islam Riau. Sehingga bila dilihat dari penentuan lokasi dan metode penelitian, sangat berbeda dengan penelitian-penelitian terdahulu.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

# BAB III
# LANDASAN TEORI

## 3.1 Jembatan Lengkung

Jembatan *Arch* (Lengkung) adalah jembatan yang konstruksinya berbentuk setengah lingkaran atau parabola dengan *abutment* di kedua sisinya. Pemakaian desain berupa busur secara alami akan mengalihkan beban yang diterima lantai kendaraan jembatan menuju ke *abutment* yang menjaga kedua sisi jembatan agar bergerak kesamping (Budio et al., 2016). Secara struktural, jembatan busur merupakan jenis jembatan yang mengandalkan batang lengkung (busur) dan kabel penggantung antara busur jembatan dengan *deck* jembatan untuk memikul beban yang terjadi (Ghulam et al., 2021).

Pada jembatan lengkung terdapat dua macam gaya, yaitu gaya tarik dan gaya tekan. Dalam proses pemilihan desain jembatan, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, diantaranya adalah:

1. Pelengkung pada jembatan

   Pelengkung pada jembatan busur merupakan struktur utama yang menahan sebagian besar beban yang diterima oleh jembatan. Lengkung umumnya terletak pada perletakan jepit, dengan ketebalan awal lengkung sebesar 1,65 sampai 2 kali (L/20) dari puncak lengkung (L/40) ketebalan rata-rata adalah L/30 dan tinggi fokus L/5 .
2. Jumlah segmen

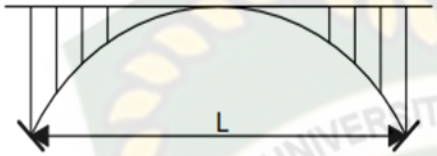
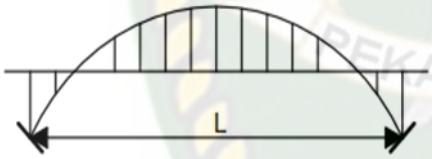
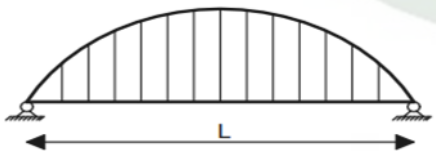
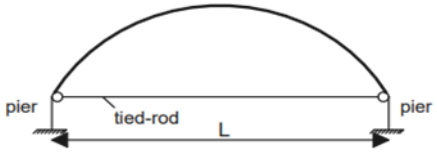
   Jumlah segmen berpengaruh pada penyaluran gaya pada jembatan, semakin sedikit jumlah segmen semakin besar gaya yang dipikul oleh kolom penyangga.

Jembatan lengkung memiliki 5 tipe pelengkung, karakteristik bahan dan komponen konstruksi pada pilihan tipe pelengkung merupakan aspek utama dalam pencapaian bentang jembatan pelengkung (Kementerian Pekerjaan Umum Perumahan, 2018). Lima tipe utama dalam Tabel 3.1 memberi gambaran dari tipe pelengkung murni/kaku serta menjelaskan bahan beton, baja, kabel, sistem kendali dan bentuk penampang rib pelengkung dari jembatan.



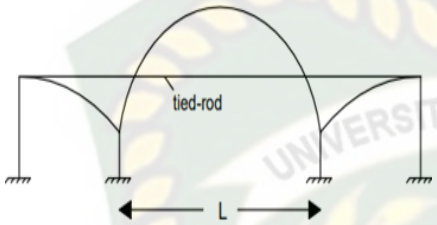
Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

**Tabel 3. 1** Tipe pelengkung, bahan rib dan pencapaian bentang (Kementerian Pekerjaan Umum Perumahan, 2018)

| Tipe Pelengkung | Bentang Utama L (di Indonesia) | Bahan rib | Penampang rib |
|---|---|---|---|
| Pelengkung murni/kaku, lantai atas   | **80 m** | Beton bertulang | Persegi |
| | **90 m** | Beton bertulang komposit | Persegi, profil baja tertanam |
| | **180 m (luar)** | Beton bertulang komposit | boks multisel & profil baja tertanam |
| | **245 m** | Beton bertulang komposit | boks multisel & rangka baja tertanam |
| Pelengkung murni/kaku, 1/2 lantai bawah   | **460 m (luar)** | Pipa baja diisi beton | Multi CFST |
| | **120 m (luar)** | Pipa baja diisi beton | CFST tunggal |
| Pelengkung diperkaku, lantai bawah   | **90 m** | Beton bertulang komposit | Profil baja dibungkus beton |
| Pelengkung rangka diperkaku, lantai bawah   | **200 m** | Profil baja | Rangka baja bentang tunggal |

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

**Tabel 3. 1** Tipe pelengkung, bahan rib dan pencapaian bentang (lanjutan)

| Tipe Pelengkung | Bentang Utama L (di Indonesia) | Bahan rib | Penampang rib |
|---|---|---|---|
| Pelengkung kantilever-rangka menerus diperkaku, 1/2 lantai bawah   | **552 m (luar)** | profil baja & CFST | Rangka baja menerus |
| | **250 m** | Profil baja | Rangka baja menerus |

### 3.2 Pemodelan Jembatan Lengkung

Untuk memudahkan dalam pemodelan, SAP 2000 telah menyediakan beberapa variasi template (model siap pakai) dari suatu tipe struktur. Untuk membuat model struktur pengguna cukup memodifikasi seperlunya sehingga pemodelan dan analisis menjadi lebih cepat. SAP 2000 sudah terintegrasi untuk melakukan proses analisis dan desain. Setelah analisis selesai dilakukan dan didapat hasil yang benar selanjutnya dapat langsung dilakukan desain untuk memperoleh dimensi profil atau tebal pelat lantai yang mencukupi.

### 3.3 Akselerometer

Akselerometer adalah sebuah sensor yang digunakan untuk mengukur getaran di atas permukaan tanah. dapat mengukur percepatan dinamis dan percepatan statis. Pengukuran dinamis adalah pengukuran percepatan pada objek bergerak, sedangkan pengukuran statis adalah pengukuran terhadap gravitasi bumi. Akselerometer juga dapat digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi pada kendaraan, bangunan gedung bertingkat, dan mendeteksi getaran pada gempa bumi. Sensor akselerometer pada saat ini banyak digunakan dalam penelitian-penelitian ilmiah serta sebagai alat bantu dalam memantau aktivitas kegempaan (Maizuar, 2020).

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Adapun ketentuan akseleromter yang telah di tetapkan oleh (Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2020) sebagai berikut:

1. Durasi setiap pengukuran sensor Accelerometer minimal 30 detik.
2. Penjumputan data sensor Accelerometer dilakukan sesuai desain rencana dan dapat diatur dari Pusdatin Kementerian PUPR (*adjustable sampling measurement*).
3. Bahan sensor Accelerometer harus tahan terhadap pengaruh suhu, angin, hujan, dan laut di lingkungan jembatan.

**Tabel 3. 2** Ketentuan sensor *Accelerometer 3-axis* tipe komunikasi *wireless* (Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2020)

| No. | Uraian | Ketentuan |
|---|---|---|
| **A** | **Ketentuan *Accelerometer*** | |
| 1 | *Range of measurement* | Min. ±2 G |
| 2 | *Frequency respons* | 0 sampai 800 Hz |
| **B** | **Ketentuan *Node*** | |
| 3 | *Resolution* | Maks. 10 mG |
| 4 | *Sampling rate* | Min. 100 data perdetik |
| 5 | *Noise density* | Maks. 50 µg per √Hz |
| 6 | *Wireless protocol stack* | IEEE 802.11 atau IEEE 802.15 |
| **C** | **Ketentuan *Sinkronisasi*** | |
| 7 | *Deley synchronization* | Maks. 50 µS |
| **D** | **Ketentuan *Environmental* dan *Mechanical*** | |
| 8 | *Operating temperature* | Min. 0 ºC sampai +65 ºC |
| 9 | *Water and dust resistance* | Min. *Ingress Protection* (IP) 65 |
| **E** | **Ketentuan Usia Sensor** | |
| 10 | *Life-time* | Min. 5 tahun |

### 3.4 Teori Dasar Dinamika Stuktur

Secara sederhana dinamik dapat diartikan sebagai variasi atau perubahan terhadap waktu dalam konteks gaya yang bekerja (*eksitasi*) pada struktur. Beban dinamis dapat bervariasi besarannya (*magnitude*), arahnya (*direction*), atau posisinya (*point of application*) berubah terhadap waktu. Demikian pula respons

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

struktur terhadap beban dinamik, yaitu lendutan dan tegangan yang dihasilkan juga perubahan-waktu, atau bersifat dinamik.

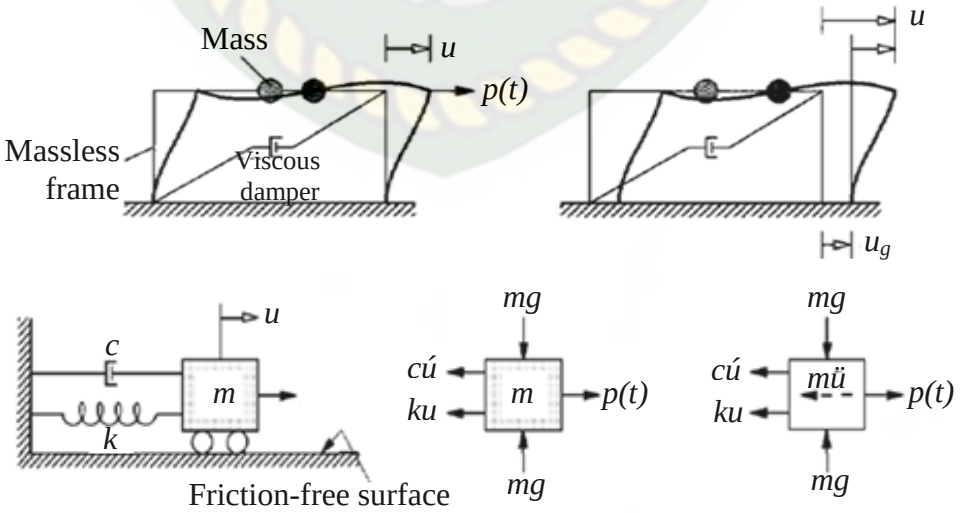
### 3.4.1 Derajat Kebebasan (DOF)

Derajat kebebasan (*degree of freedom*) adalah derajat impedensi yang diperlukan untuk menyatakan posisi suatu sistem pada setiap saat. Dalam model sistem SDOF atau berderajat kebebasan tunggal, setiap massa M, redaman C, kekakuan K, dan gaya luar dianggap tertumpu pada elemen fisi tunggal. Struktur yang mempunyain n-derajat kebebasan atau struktur dengan derajat kebebasan banyak disebut multi *degree of freedom* (MDOF). Akhirnya dapat disimpulkan bahwa jumlah derajat kebebasan adalah jumlah koordinat yang diperlukan untuk menyatakan posisi suatu massa pada saat tertentu.

**1. Sistem Derajat Kebebasan Tunggal (SDOF)**

Sistem derajat kebebasan tunggal (SDOF) hanya akan mempunyai satu koordinat yang diperlukan untuk menyatakan posisi massa pada saat tertentu yang ditinjau. Bangunan satu tingkat adalah salah satu contoh bangunan derajat kebebasan tunggal.

Sistem SDOF tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Sistem terdiri dari massa (m) yang terkonsentrasi pada tingkat atap, dengan rangka massa kecil memiliki kekakuan pada sistem, dan redaman pelekat (dashpot).




**Gambar 3. 1** Modelisasi SDOF (Chopra, 2014)

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

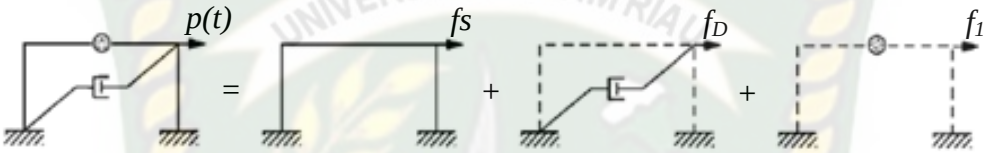
Dari pemodelan diatas dapat disuperposisikan dengan menggunakan hukum kesetimbangan Newton kedua, dimana gaya – gaya yang dialami struktur :

($t$) = gaya luar yang akan didistribusikan keseluruhan struktur

$FI = m\ddot{u}$ = gaya luar komponen massa terhadap percepatan gerakan tanah

$Fd = c\acute{u}$ = gaya luar komponen redaman terhadap kecepatan gerakan tanah

$Fs = ku$ = gaya luar komponen kekakuan terhadap perpindahan gerakan tanah




Displacement *u*
Velocity *ú*
Acceleration *ü*

Displacement *u* | Velocity *ú* | Acceleration *ü*

**Gambar 3. 2** Modelisasi Kesetimbangan SDOF Dinamik (Chopra, 2014)

$$(t) = f_s + f_D + f_1$$

Atau dapat juga ditulis :

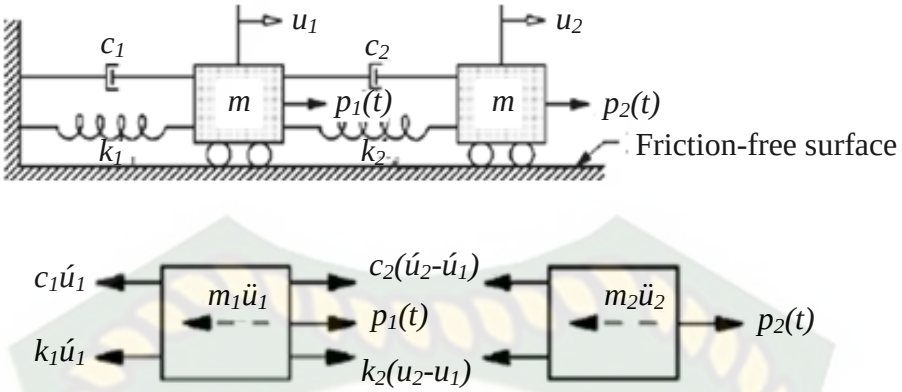
$$m\ddot{u} + c\acute{u} + ku = (t)$$

Massa keseluruhan (m) dari sistem ini dicakup dalam balok tegar terhadap percepatan pergerakan ($\ddot{u}$). Tahanan elastik terhadap perpindahan diberikan oleh pegas tanpa bobot dengan kekakuan (k) terhadap perpindahan pergerakan (u), sedang mekanisme kehilangan energi (*energy loss*) digambarkan oleh peredam (c) terhadap kecepatan pergerakan ($\acute{u}$). Mekanisme pembebanan luar yang menimbulkan respon dinamik pada sistem dengan berbentuk beban p(t) yang berubah menurut waktu.

**2. Sistem Derajat Kebebasan Banyak (MDOF)**

Untuk menyatakan persamaan diferensial gerakan struktur dengan derajat kebebasan banyak/majemuk maka digunakan pendekatan struktur dengan derajat kebebasan tunggal SDOF. Untuk memperoleh persamaan diferensial tersebut, maka tetap dipakai prinsip keseimbangan dinamik (*dynamic equilibrium*) pada suatu massa yang ditinjau. Untuk memperoleh persamaan tersebut maka diambil model struktur MDOF.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :




**Gambar 3. 3** Modelisasi MDOF (Chopra, 2014)

Berdasarkan pada kesetimbangan dinamik pada *free body diagram* maka akan diperoleh:

$$m_1\ddot{u}_1 + c_1\acute{u}_1 - c_2(\acute{u}_2 - \acute{u}_1) + k_1u_1 - k_2(u_2 - u_1) = p_1(t)$$
$$m_2\ddot{u}_2 + c_2(\acute{u}_2 - \acute{u}_1) + k_2(u_2 - u_1) = p_2(t)$$

Pada persamaan–persamaan tersebut tampak bahwa kesetimbangan dinamik suatu massa yang ditinjau ternyata dipengaruhi oleh kekakuan, redaman, dan simpangan massa sebelum dan sesudahnya. Persamaan dengan sifat – sifat seperti itu umumnya disebut *coupled equation* karena persamaan – persamaan tersebut akan tergantung satu sama lain. Penyelesaian persamaan coupled harus dilakukan secara simultan artinya dengan melibatkan semua persamaan yang ada. Pada struktur dengan derajat kebebasan banyak, persamaan gerakannya merupakan persamaan yang dependen atau *coupled* antara satu dengan yang lain.

Selanjutnya dengan menyusun persamaan – persamaan di atas menurut parameter yang sama (percepatan, kecepatan, dan simpangan) selanjunya akan diperoleh:

$$m_1\ddot{u}_1 + (c_1 + c_2)_1^{\cdot} - c_2\acute{u}_2 + (k_1 + k_2)_1 - k_2u_2 = p_1(t)$$
$$m_2\ddot{u}_2 - c_2\acute{u}_1 + c_2\acute{u}_2 - k_1u_1 + k_2u_2 = p_2(t)$$

Persamaan-persamaan di atas dapat ditulis ke dalam bentuk matriks sebagai berikut:

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} p_1(t) \\ p_2(t) \end{Bmatrix}$$

Persamaan diatas dapat ditulis dalam matriks yang lebih kompleks

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\acute{u}\} + [K]\{u\} = \{P(t)\}$$

Dimana $[M]$, $[C]$, $[K]$ berturut-turut adalah matriks massa, matriks redaman, dan matriks kekakuan struktur.

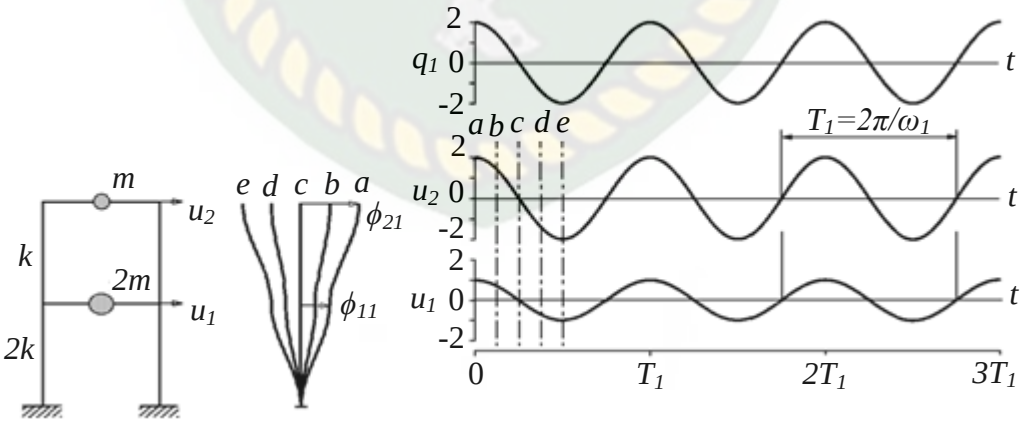
### 3.4.2 Parameter Dinamik

**1. Periode Getar**

Periode getar, $T_n$ dari suatu sistem MDOF waktu yang diperlukan struktur untuk melakukan satu siklus gerakan harmonik sederhana dalam satu mode getarnya. Hubungan antara periode getar dengan Frekuensi alami $\omega_n$ dan frekuensi alami *cyclic* $f_n$ adalah sebagai berikut :

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} \quad f_n = \frac{1}{T_n}$$

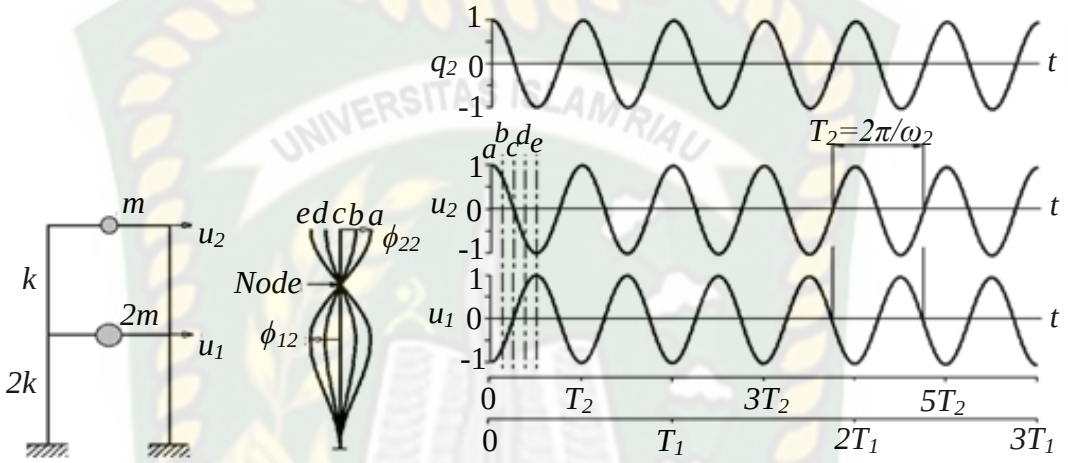
Gambar 3.4 dibawah menunjukkan periode getar dan frekuensi alami gedung 2 lantai yang digetarkan pada mode getar pertama $\phi_n = \langle \phi_{1n} \phi_{2n} \rangle^{\mathrm{T}}$ . Nantinya nilai frekuensi alami dan periode getar gambar 3.4 ini akan dibandingkan dengan gambar 3.5.




**Gambar 3. 4** Getaran bebas sistem tak teredam pada mode getar pertama (Chopra, 2014)

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Gambar 3.5 dibawah menunjukkan periode getar dan frekuensi alami gedung 2 lantai yang digetarkan pada mode getarnya $\phi_n = \langle \phi_{1n} \phi_{2n} \rangle^{\mathrm{T}}$ . Terlihat nilai frekuensi alami yang ditunjukkan $\omega_1$ lebih kecil pada gambar 3.4, dan yang lebih besar oleh $\omega_2$ pada gambar 3.5. Sebaliknya, periode getar yang lebih lama dituntukkan oleh $T_1$ dan yang lebih pendek ditunjukkan oleh $T_2$.




**Gambar 3. 5** Getaran bebas sistem tak teredam pada mode getar kedua (Chopra, 2014)

## 2. Mode Getar

Suatu struktur tak teredam akan mengalami gerakan harmonik sederhana tanpa perubahan bentuk defleksi, namun, jika getaran bebas dimulai dengan distribusi *displacement* yang cocok pada tiap DOF seperti pada gambar 3.4 dan 3.5, dua karakteristik bentuk defleksi muncul jika pada sistem dua DOF ini diberikan *displacement* pada tiap bentuk defleksi dan dilepaskan, sistem ini akan bergetar dengan gerakan harmonik sederhana, sambil mempertahankan bentuk defleksinya. Kedua lantai mencapai *displacement* ekstrimnya masing-masing pada waktu yang bersamaan dan melewati posisi kesetimbangan pada waktu yang bersamaan pula. Dapat dilihat bahwa *displacement* pada setiap lantai berada pada arah yang sama pada karakteristik defleksi yang pertama dan berada pada arah yang berlawanan pada karakteristik defleksi yang kedua. Titik dimana *displacement* bernilai nol disebut nodal, seperti yang

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

terlihat pada gambar 3.5. Jika jumlah mode *n* semakin meningkat, jumlah nodal pun akan semakin banyak. Setiap karakteristik bentuk defleksi ini disebut mode getar natural dari sistem MDOF.

Setiap struktur hampir tidak mungkin hanya memiliki satu derajat kebebasan tetapi sistem memiliki banyak derajat kebebasan sehingga sistem akan banyak memiliki solusi yang mengindikasikan mode getar dari sistem. Getaran bebas akan muncul pada tiap mode dengan frekuensi tertentu dan mode getar tertentu pula. Setiap mode tidak bergantung dengan mode lainnya sehingga tidak saling mempengaruhi satu sama lain. Dengan kata lain, sistem MDOF dapat diselesaikan dengan menggunakan solusi satu derajat kebebasan (SDOF) sederhana untuk mendapatkan superposisi dari respon modal.

## 3.5 Analisis Modal

Analisis modal adalah suatu proses penentuan karakteristik dinamik dari suatu sistem dalam bentuk frekuensi alami, faktor redaman, dan mode getar. Analisis modal menjadi dasar mengapa respon getaran suatu sistem dapat diekspresikan sebagai kombinasi linier dari respon pada koordinat modalnya. Setiap respon pada koordinat modal tersebut dideskripsikan dalam bentuk parameter modalnya masing - masing yaitu frekuensi alami, redaman modal, dan mode getar.

Metode analisis modal banyak dikenal sebagai metode yang powerful dalam menghitung respon dinamik dari sistem struktur linier teredam dengan redaman klasik. Metode ini menarik karena respon sistem MDOF diekspresikan sebagai superposisi dari respon modal, setiap modal ditentukan dari analisis dinamik sistem SDOF, dan analisis dinamik ini hanya dilakukan pada mode yang memiliki kontribusi yang signifikan terhadap respon sistem.

### 3.5.1 Persamaan Gerak

Suatu sistem teredam dengan redaman klasik dan memiliki N derajat kebebasan. Repon sistem dideskripsikan dengan vektor u, displacement nodal akibat gaya luar p(t) yang ditentukan oleh N persamaan diferensial

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \tag{3.1}$$

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Dimana m, c, dan k = matriks massa, redaman, dan kekakuan sistem. Kita akan menganggap kasus pembebanan dimana gaya yang diberikan pj(t) – j = 1, 2, …, N – memiliki variasi waktu yang sama p(t), dan distribusi spatial gaya tersebut didefinisikan s, independen terhadap waktu. Jadi

$$p(t) = sp(t) \tag{3.2}$$

Persamaan (3.1) juga ditentukan oleh vektor **u** dari *displacement* nodal relative terhadap pergerakan tanah akibat percepatan $\ddot{u}_s(t)$ jika

$$p(t) = mi\ddot{u}_g(t) \tag{3.3}$$

Dengan *i* = vektor pengaruh yang merepresentasikan *displacement* massa akibat aplikasi static *unit ground displacement* , $u_g$ = 1. Jadi, distribusi spatial dari gaya gempa efektif, adalah ***s = mi***

### 3.5.2 Expansi Modal

Frekuensi alami $\omega_n$ dan mode getar $\phi_n$ getaran sistem memenuhi matriks berikut:

$$k\phi_n = \omega_n^2 m\phi_n \tag{3.4}$$

*displacement* **u** dari sistem dapat diekspresikan sebagai superposisi dari kontribusi modal $\mathbf{u_n(t)}$:

$$u(t) = \sum_{n-1}^{N} u_n(t) = \sum_{n-1}^{N} \phi_n q_n(t) \tag{3.5}$$

Dimana $q_n(t)$ = koordinat modal.

Ide utama dari formulasi ini adalah untuk mengekspansi distribusi spatial s dari gaya yang bekerja sebagai

$$s = \sum_{n-1}^{N} \Gamma_n m\phi_n \tag{3.6}$$

Dimana

$$\Gamma_n = \frac{\phi_n^T s}{M_n}; \qquad M_n = \phi_n^T m\phi_n$$

$\Gamma_n$ dapat diturunkan dengan premultiply kedua sisi dari persamaan dengan $\phi_r^T$ dan menggunakan prinsip ortogonalitas properti mode. Kontribusi dari mode ke n vektor **s** adalah

$$s_n = \Gamma_n m\phi_n \tag{3.7}$$

yang independen terhadap bagaimana mode ternormalisasi.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Persamaan bisa dilihat sebagai ekspansi distribusi gaya yang bekerja **s** dalam bentuk distribusi gaya inersia $\mathbf{s_n}$ yang berasosiasi dengan mode getar. Ekspansi dari persamaan memiliki properti yang berguna bahwa vektor gaya $\boldsymbol{s_n}$ $\boldsymbol{p(t)}$ hanya menghasilkan respon dalam mode ke n. secara tidak langsung menyatakan bahwa respon mode ke n dikarenakan vektor gaya parsial $\boldsymbol{s_n}$ $\boldsymbol{p(t)}$.

### 3.5.3 Persamaan Modal

Persamaan (3.1) merupakan persamaan *couple*, dengan mentransformasi persamaan gerak tersebut menjadi persamaan *uncouple*, didapat

$$\sum_{r-1}^{N} m\phi_r \ddot{q}_r(t) + \sum_{r-1}^{N} c\phi_r \dot{q}_r(t) + \sum_{r-1}^{N} k\phi_r q_r(t) = p(t) \quad (3.8)$$

*Premultiply* persamaan diatas dengan $\phi_n^T$ menjadi

$$\sum_{r-1}^{N} \phi_n^T m\phi_r \ddot{q}_r(t) + \sum_{r-1}^{N} \phi_n^T c\phi_r \dot{q}_r(t) + \sum_{r-1}^{N} \phi_n^T k\phi_r q_r(t) = \phi_n^T p(t) \quad (3.9)$$

Karena prinsip ortogonalitas, untuk r ≠ n semua persamaan diatas akan bernilai nol, sehingga persamaan bisa direduksi menjadi

$$\phi_n^T m\phi_r \ddot{q}_r(t) + \phi_n^T c\phi_r \dot{q}_r(t) + \phi_n^T k\phi_r q_r(t) = \phi_n^T p(t) \quad (3.10)$$

Atau

$$M_n \ddot{q}_n(t) + C_n \dot{q}_n(t) + K_n q_n(t) = P_n(t) \quad (3.11)$$

Dimana

$$M_n = \phi_n^T m\phi_n \qquad C_n = \phi_n^T c\phi_n \qquad K_n = \phi_n^T k\phi_n$$

Sehingga periode natural sistem untuk mode ke n adalah

$$T_n = 2\pi\sqrt{\frac{M_n}{K_n}}$$

Persamaan (3.11) merupakan persamaan respon $q_n(t)$ sistem SDOF dengan massa $M_n$, redaman $C_n$, kekakuan $K_n$, dan gaya $p_n(t)$. Parameter tersebut hanya bergantung pada $\phi_n$ mode ke-n. Sehingga jika hanya diketahui mode ke-n, kita bisa menyelesaikan persamaan (3.11) menjadi tanpa harus mengetahui mode yang lain. Persamaan (3.11) dibagi dengan $M_n$ menjadi

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

$$\ddot{q}_n + 2\zeta_n\omega_n\dot{q}_n + \omega_n^2 q_n = \frac{P_n(t)}{M_n} \quad (3.12)$$

Persamaan dinamik dari suatu sistem MDOF akibat gaya p(t) = sp(t) yaitu

$$\ddot{q}_n + 2\zeta_n\omega_n\dot{q}_n + \omega_n^2 q_n = \Gamma_n p(t) \quad (3.13)$$

Dengan

$$\Gamma_n = \frac{\phi_n^T s}{M_n}$$

Dimana $\zeta_n$ merupakan rasio redaman untuk mode ke n. Faktor $\Gamma_n$ yang mengalikan gaya $p(t)$ seringkali disebut *modal participation factor*.

Solusi dari modal koordinat $q_n(t)$ adalah

$$q_n(t) = \Gamma_n D_n(t) \quad (3.14)$$

Dimana $D_n(t)$ ditentukan dari

$$\ddot{D}_n + 2\zeta_n\omega_n\dot{D}_n + \omega_n^2 D_n = p(t) \quad (3.15)$$

Persamaan (3.15) merupakan persamaan sistem SDOF mode ke-n (suatu sistem SDOF dengan properti vibrasi, frekuensi alami $\omega_n$ dan rasio redaman $\zeta_n$) dengan u diganti $D_n$ untuk menegaskan hubungannya dengan mode ke-n. Respon sistem akibat suatu gaya $p(t)$ didapat dengan menyelesaikan persamaan tersebut.

Kemudian kontribusi dari mode ke-n terhadap *displacement* nodal **u(t)**, yaitu

$$u(t) = \Gamma_n \phi_n D_n(t) \quad (3.16)$$

Gaya static ekivalennya yaitu

$$f_n(t) = s_n[\omega_n^2 D_n(t)] \quad (3.17)$$

Kontribusi mode ke n $r_n$(t) terhadap quantitas respon $r$(t) ditentukan dengan analisis static struktur yang terkena gaya luar $\mathbf{f_n}$(t). jika $r_n^{st}$ merupakan respon modal statik, nilai statik ( yang diindikasikan "st") r akibat gaya luar $\mathbf{s_n}$, maka

$$r_n(t) = r_n^{st} A_n(t) \quad (3.18)$$

Persamaan ini khusus untuk respon *displacement* , yang ekivalen dengan persamaan.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

### 3.5.4 Jumlah Moda Yang Dibutuhkan Dalam Analisis Modal

Setiap moda pada suatu analisis dinamik memiliki kontribusi. Dari berbagai literatur yang ada telah dijelaskan bahwa moda-moda awal relatif memiliki andil yang besar terhadap hasil analisis yang dilakukan, namun tentunya moda-moda lainnya tidak dapat diabaikan, hal yang dapat kita lakukan adalah menentukan seberapa banyak jumlah moda yang akan kita ambil untuk dianalisis.

Sebelum membahas langsung ke jumlah moda yang dibutuhkan, kita kembali mengulang mengenai faktor kontribusi dari modal. Karena faktor kontribusi inilah yang akan menjadi dasar perhitungan jumlah moda yang dibutuhkan.

Anil K. Chopra telah membahas bahwa kontribusi dari suatu moda ke-n terhadap suatu respon r dapat diekspresikan sebagai berikut :

$$r_n(t) = r^{st}\bar{r}_n[\omega_n^2 D_n(t)]$$

Dimana $r_n(t)$ adalah respon dari mode ke-n, $r^{st}$ respon statis dari r, $D_n = \frac{q_n(t)}{\Gamma_n}, \Gamma_n = \frac{\varphi_n^T s}{M_n}, s = \sum_{r-1}^{N} s_r = \sum_{r-1}^{N} \Gamma_r m \varphi_r$, s adalah distribusi spasial dari suatu respon atau eksitasi, $_n$ adalah faktor partisipasi modal, dan $r_n$ adalah faktor kontribusi moda yang direpresentasikan oleh persamaan berikut :

$$\bar{r}_n = \frac{r_n^{st}}{r^{st}}$$

$r_n^{st}$ adalah respon statik dari mode ke-n.

Faktor kontribusi moda memiliki tiga properti yang penting. Pertama faktor ini tidak memiliki dimensi sehingga bersifat universal. Kedua faktor ini tidak bergantung terhadap bagaimana proses normalisasi moda-moda dan properti modal tidak masuk dalam $r^{st}$. Yang ketiga, jumlah dari keseluruhan faktor kontribusi moda adalah 1 :

$$\sum_{n=1}^{N} \bar{r}_n = 1$$

Properti terakhir dari faktor kontribusi moda ini berpengaruh terhadap penentuan jumlah yang dibutuhkan. Jumlah moda yang dapat diambil adalah tak terhingga. Semakin banyak moda yang diambil, hasil analisis dinamik suatu

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

sistem struktur akan lebih baik (mendekati nilai eksak). Namun, dengan jumlah moda dapat dikurangi tanpa mengurangi aspek keakurasian hasil analisis yang diharapkan. Cara yang dilakukan adalah dengan menentukan error margin yang diinginkan, sehingga jumlah moda dapat ditentukan. Hal tersebut dijelaskan oleh persamaan berikut :

$$e_j = 1 - \sum_{n-1}^{J} \bar{r}_n$$

J adalah moda terakhir yang diambil dan ej adalah error margin yang ditentukan oleh ahli struktur.

### 3.6 Respon Sistem Akibat Beban Impuls

Persamaan suatu sistem SDOF mode ke n dengan properti vibrasi, frekuensi alami $\omega_n$ dan rasio redaman $\zeta_n$ adalah

$$\ddot{D}_n + 2\zeta_n\omega_n\dot{D}_n + \omega_n^2 D_n = p(t)$$

Untuk beban implus, solusi persamaan di atas adalah

$$D_n(t) = \frac{\hat{F}}{m\omega_D} e^{-\zeta\omega_n(t-\tau)} \sin[\omega_D(t-\tau)]$$

Dengan

$$\hat{F} = F\Delta t = mv_0$$

$$\omega_D = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$$

Kemudian kontribusi dari mode ke-n terhadap *Displacement* nodal **u(t)**, yaitu

$$u(t) = \Gamma_n\phi_n D_n(t)$$

Respon total sistem merupakan superposisi dari masing-masing respon mode ke n.

### 3.7 Operational Modal Analysis

*Operational Modal Analysis* (OMA) atau disebut juga *Ambient vibration test* adalah metode untuk memperkirakan karakter dinamis struktur (frekuansi natural, mode shapes, dan damping ratio) berdasarkan getaran yang dihasilkan dari kondisi operational struktur itu sendiri, seperti getaran dari operasi mesin, angin, dan lain lain. Teknik ini hanya output yang di ukur untuk kemudian di gunakan dalam analysis.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Adapun keunggulan dari teknik *Operational Modal Analysis* (OMA) ini adalah :

1. pengujian tidak menghentikan operasi mesin atau bangunan untuk pengambilan data
2. Data yang tersedia sesuai dengan kondisi *real*
3. Pengolahan data (*post processing*) menggunakan *software* FEMtools Modal Parameter Extractor atau setara
4. Cocok untuk aplikasi SHMS , monitoring jangka panjang

### 3.8 Frequency Response Function

*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 mendeskripsikan 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.

FRF dari sistem SDOF linier dibuat dari hubungan antara transformasi fourier dari sinyal input $F(\omega)$ dan sinyal output $X(\omega)$. Sebagai contoh, saat gaya impuls dan respon *displacement* akibat gaya tersebut dari suatu sistem diukur, hasil data tersebut digunakan untuk menghasilkan FRF dari sistem. Hubungan umumnya diberikan seperti persamaan di bawah ini

$$X(\omega) = H(\omega)F(\omega) \quad \text{atau} \quad H(\omega) = \frac{X(\omega)}{F(\omega)}$$

Dimana $H(\omega)$ adalah matriks FRF, $X(\omega)$ adalah *vektor discrete fourier transform respon displacement*, $F(\omega)$ vektor *discrete fourier transform* gaya luar. FRF dari suatu sistem adalah fungsi yang bernilai kompleks dari variabel independen $\omega$ yang bernilai real sehingga memiliki komponen yang real dan imajiner.

### 3.9 Frekuensi Alami

Frekuensi alami struktur adalah frekuensi dari struktur yang secara alami cenderung untuk bergetar jika struktur ini terkena gangguan. Nilai frekuensi alami

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

ini dapat digunakan sebagai pedoman apakah suatu struktur mengalami resonansi atau tidak. Suatu struktur akan mengalami resonansi apabila nilai frekuensi beban yang diterima struktur mendekati atau sama dengan frekuensi alaminya (Wahyuni, 2012).

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

# BAB IV
# METODE PENELITIAN

## 4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada jembatan lengkung disebuah kampus, tepatnya pada kampus Universitas Islam Riau yang berada diwilayah kota pekanbaru, Riau. untuk lebih jelasnya dapat dilihat Gambar 4.1.




**Gambar 4. 1** Lokasi Penelitian

## 4.2 Teknik Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan menggunakan metode *Operational Modal Analysis* (OMA). *Operational Modal Analysis* (OMA) atau disebut juga *Ambient Vibration Test* adalah metode untuk memperkirakan karakter dinamis struktur (frekuansi natural, mode shapes, dan damping ratio) berdasarkan getaran yang dihasilkan dari kondisi operational struktur itu sendiri, seperti getaran dari operasi mesin, angin, dan lain lain. Teknik ini hanya output yang di ukur untuk kemudian di gunakan dalam analysis.

## 4.3 Deskripsi Umum Jembatan

Jembatan lengkung Universitas Islam Riau merupakan akses utama menuju Fakultas Ilmu Komunikasi. Jembatan ini memiliki perletakan jepit-jepit, dan merupakan akses yang hanya dilalui oleh pejalan kaki dan kendaraan pribadi saja. Adapun deskripsi jembatan lengkung UIR secara umum, sebagai berikut :



Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

**Tabel 4. 1** Deskripsi Umum Jembatan Lengkung UIR

| No | Kriteria | Keterangan |
|---|---|---|
| 1 | Tipe Konstruksi | Baja Pelengkung |
| 2 | Panjang | 13 meter |
| 3 | Lebar | 7 meter |
| 4 | Tebal trotoar | 0.15 meter |
| 5 | Tinggi | 4 meter |
| 6 | Mutu Beton | K-250 (fc=21.0 MPa) |
| 7 | Jumlah trotoar | 2.00 trotoar<br>1 meter kiri, 1 meter kanan |
| 8 | Lantai jembatan | Pelat beton<br>Ketebalan 0,2 meter |
| 9 | Diameter pipa baja deck | D15 Gelagar melintang<br>D15 Gelagar memanjang |
| 10 | Diameter pipa lengkung | D20 |
| 11 | Diameter pipa pengaku | D20 |
| 12 | Mutu Baja | BJ 37 |



**Gambar 4. 2** Jembatan Lengkung UIR

### 4.4 Tahap Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan agar sesuai arah dan tujuannya, dengan ini peneliti memberikan garis besar langkah-langkah pelaksanaan berupa bagan alir. Dari bagan alir dapat dilihat tahapan penelitian sebagai berikut:

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

1. Mulai
2. Pengumpulan Data

   Pengumpulan data merupakan tahapan dimana peneliti mencari referensi terkait topik yang akan dilakukan untuk mempelancar pelaksanaan penelitian. Datadata tersebut terbagi atas dua data yang saling berkaitan dan selaras dimana terdapat data sekunder dan data primer yang telah didapatkan oleh peneliti untuk melakukan tahap selanjutnya yaitu analisis data.
3. Pemodelan Struktur

   Pemodelan dilakukan menggunakan bantuan *software* SAP2000, pemodelan struktur didasari dari data yang didapat pada data primer dan data sekunder.
4. Analisis Modal

   Uraian prosedur analisis modal jembatan lengkung dengan bantuan program *software* SAP 2000 V.14 dan FEMTools Versi 4.3 untuk memodelkan serta menentukan letak titik sensor jembatan lengkung UIR.
5. Pengujian

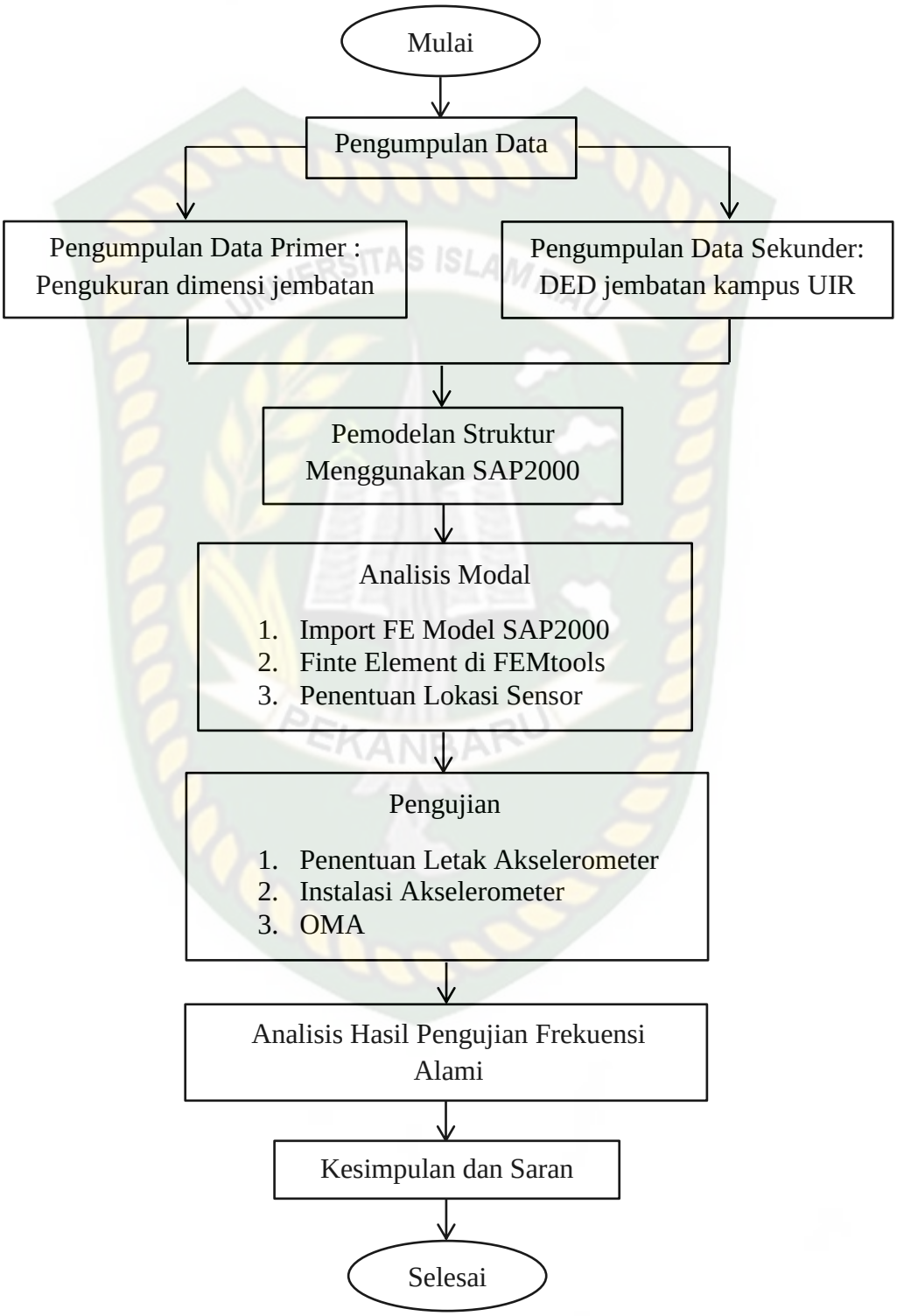
   Pada tahap ini hal pertama yang harus dilakukan adalah menyinkronkan letak sensor yang telah ditentukan pada *software* terhadap *eksisting* jembatan. Selanjutnya dilakukanlah pengujian menggunakan metode OMA.
6. Analisis Hasil Pengujian

   Setelah didapat hasil respon jembatan dari pengijian, maka tahap selanjutnya adalah pengolahan data dengan bantuan *Software Sensor cloud, output* dari analisis menggunakan *software* ini berupa grafik frekuensi alami.
7. Kesimpulan dan Saran

   Kesimpulan dan saran berupa hasil dan pembahasan yang telah dihasilkan menjadi jawaban dari tujuan penelitian ini.
8. Selesai.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Adapun garis besar langkah-langkah pelaksaanan penelitian berbentuk bagan alir dapat dilihat pada gambar 4.3.

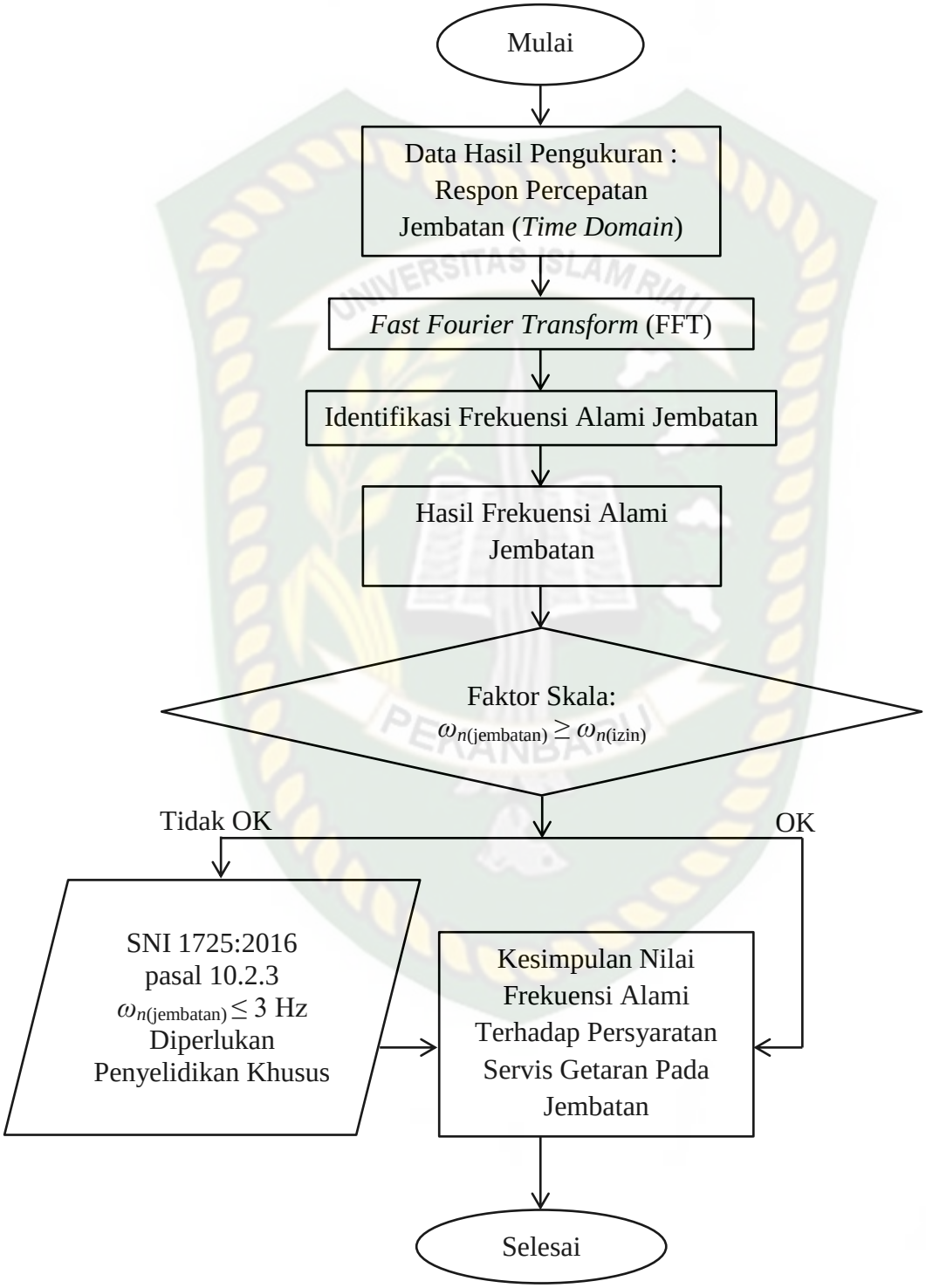



**Gambar 4. 3** Bagan Alir Penelitian

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

### 4.5 Pengolahan Data (*Operational Modal Analysis*)

Adapun skema dari pengolahan data pengujian dapat dilihat pada bagan berikut :




**Gambar 4. 4** Skema Pengolahan Data

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Data yang akan didapat yaitu berupa respon percepatan struktur dalam domain waktu. Respon dalam domain waktu tersebut kemudian ditranformasi agar menjadi domain frekuensi dengan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) dengan bantuan *software sensor connect*. Data respon struktur hasil FFT tersebut sekarang menjadi dalam domain frekuensi, atau yang disebut sebagai *frequency response function* (FRF).

Pada FRF akan terlihat data mana yang merupakan respon getaran struktur dan gangguan *(noise).* Untuk menentukan mana yang merupakan frekuensi alami jembatan dan *noise* dilakukan identifikasi pada setiap respon akibat masing-masing eksitasi. Apa bila puncak tersebut selalu muncul pada setiap eksitasi, maka dapat disimpulkan bahwa puncak tersebut merupakan respon getaran jembatan. Selanjutnya setelah ditentukan puncak yang merupakan respon getaran struktur, frekuensi alami dari tiap *channel* dapat ditentukan.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

# BAB V
# HASIL DAN PEMBAHASAN

## 5.1 Hasil Modelisasi

Tahap awal pemodelan jembatan dilakukan dengan mendefinisikan materal dan jenis penampang setiap elemen jembatan. Analisis struktur jembatan dilakukan dengan software SAP 2000 untuk mendapatkan periode getar dan frekuensi jembatan secara teoritis. Model ini biasa digunakan untuk perencanaan jenis, jumlah dan posisi sensor yang optimal yang akan dilakukan pada *software* FEMtools. Dalam penelitian ini semua mode struktur jembatan ikut dianalisis untuk mendapatkan rekomendasi lokasi sensor. Berdasarkan hasil analisis modal dengan *software* SAP 2000 didapat periode getar dan frekuensi jembatan seperti yang tertera pada tabel berikut:

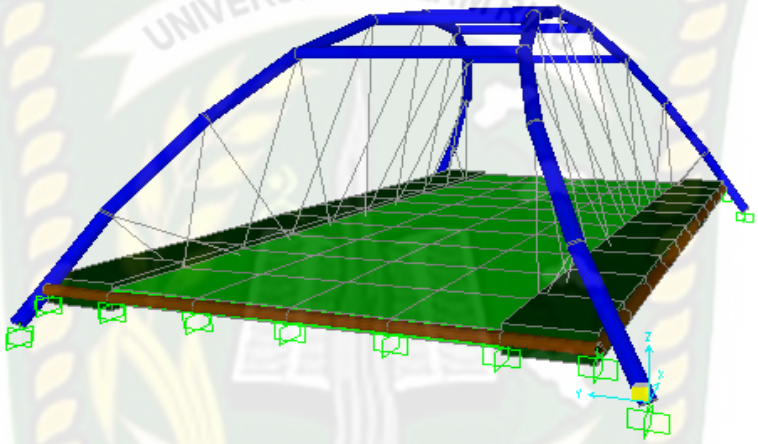
**Tabel 5. 1** *Modal Periods and Frequencies*

| **OutputCase** | **StepType** | **StepNum** Unitless | **Period** Sec | **Frequency** Hz |
|---|---|---|---|---|
| MODAL | Mode | 1 | 0,137907 | 7,251253064 |
| MODAL | Mode | 2 | 0,122363 | 8,172412537 |
| MODAL | Mode | 3 | 0,068891 | 14,51561518 |
| MODAL | Mode | 4 | 0,066401 | 15,05995806 |
| MODAL | Mode | 5 | 0,065088 | 15,36391381 |
| MODAL | Mode | 6 | 0,064557 | 15,49022417 |
| MODAL | Mode | 7 | 0,053871 | 18,56291084 |
| MODAL | Mode | 8 | 0,042245 | 23,67126777 |
| MODAL | Mode | 9 | 0,036541 | 27,36642275 |
| MODAL | Mode | 10 | 0,03529 | 28,33684908 |
| MODAL | Mode | 11 | 0,033326 | 30,00627473 |
| MODAL | Mode | 12 | 0,028591 | 34,97627297 |



Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

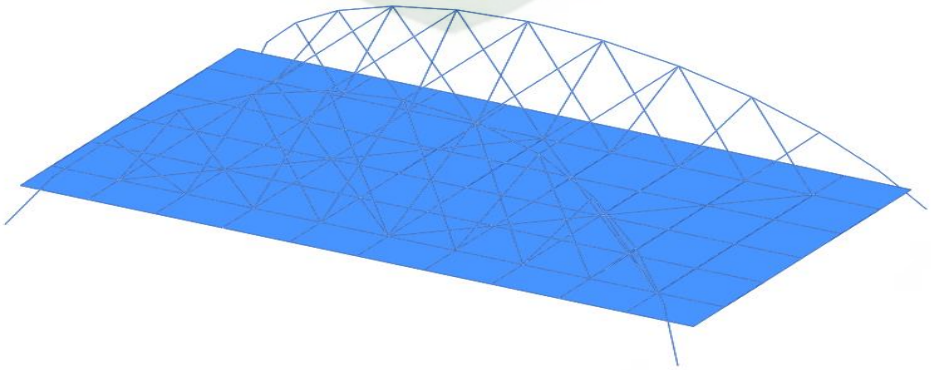
Dari tabel 5.1 terlihat bahwa terdapat 12 mode hasil permodelan jembatan lengkung UIR. Semua mode tersebut akan dianalisis untuk penentuan lokasi sensor akselerometer yang akan digunakan dalam penelitian. Semakin banyak mode yang diambil, hasil analisis dinamik suatu sistem struktur akan lebih baik (Chopra, 2014). Yang merupan frekuensi alami pada hasil output SAP 2000 adalah mode 1 (Prawestri et al., 2021). Nilai frekuensi alami hasil permodelan menggunakan *software* SAP 2000 adalah 7,25 Hz, nilai frekuensi hasil permodelan ini nantinya akan dibandingkan dengan hasil pengujian.



**Gambar 5. 1** Model Jembatan Lengkung UIR menggunakan SAP 2000

## 5.2 Penentuan Lokasi dan Jumlah Titik Sensor

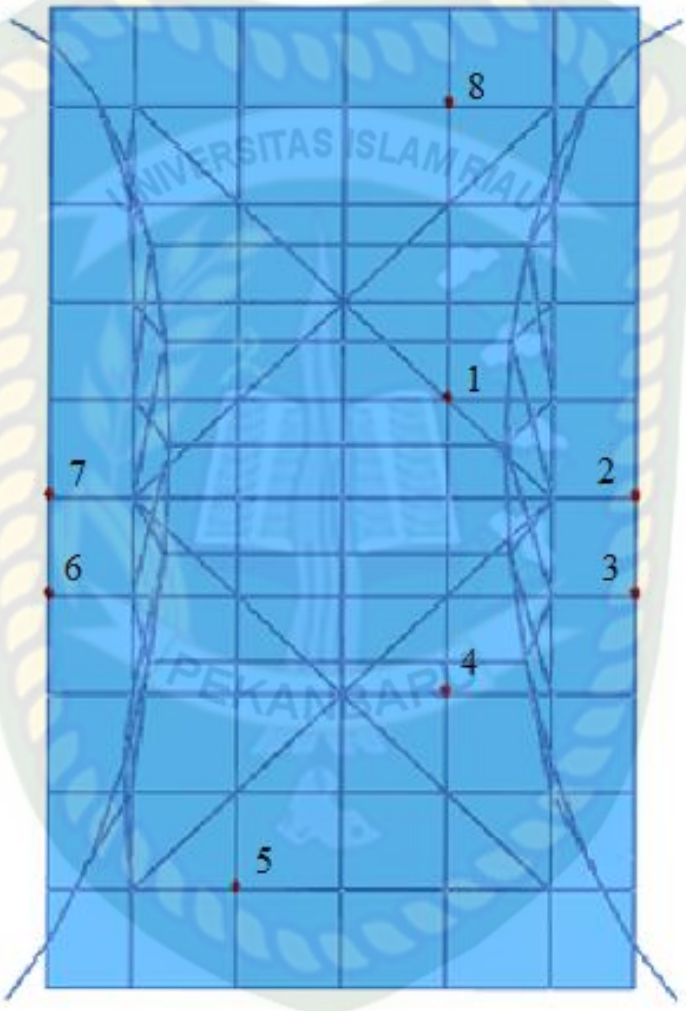
Dari hasil analisis permodelan awal struktur jembatan lengkung yang dilakukan dengan bantuan program SAP 2000 dan telah di *Run Alanyze* lalu file di*export* ke *software* FEMtools, maka dapat dilihat pada Gambar 5.2 sebagai berikut:



**Gambar 5. 2** Tampilan model jembatan lengkung UIR pada *software* Femtools

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Dalam penentuan letakan titik-titik sensor pada jembatan harus mengetahui terlebih dahulu bagaimana gambaran jembatan dan kondisi jembatan tersebut. Desain jembatan dalam simulasi didasarkan pada DED jembatan lengkung UIR. Hasil desain lokasi sensor yang telah rekomendasi dari program FEMTools dapat dilihat pada Gambar 5.3 sebagai berikut:




**Gambar 5. 3** Lokasi Sensor Pada Pelat Jembatan

## 5.3 Pengujian Penentuan Nilai Frekuensi Alami

Pengujian yang akan lakukan pada pelat lantai jembatan lengkung UIR menggunakan 4 akselerometer dari 8 lokasi titik sensor, dan metode yang digunakan adalah *operational modal analysis* (OMA).

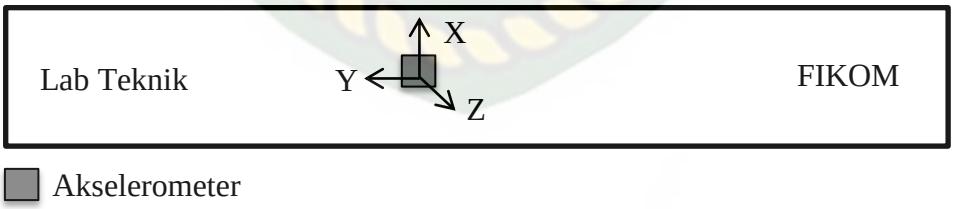
Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

### 5.3.1 Persiapan dan Pengujian

Berdasarkan rekomendasi letak titik sensor dari program Femtools, terdapat 8 lokasi titik sensor pada pelat lantai dengan arah z seperti pada gambar 5.3. Sebelum pengujian dimulai, instrumentasi dipasang terlebih dahulu. Instrument utama dalam eksperimen adalah akselerometer dan laptop. Akselerometer dihubungkan ke laptop menggunakan USB *Lord Sensing* melalui *software sensor connect*. Setelah akselerometer terhubung ke laptop, maka pengujian dengan metode operational OMA dapat dilakukan. Setelah pengujian selesai dan respon percepatan jembatan diperoleh, data kemudian diproses untuk mendapatkan frekuensi alamai dari jembatan.



**Gambar 5. 4** Instrumen pengujian ( akselerometer, USB, dan Laptop)




**Gambar 5. 5** Layout Arah Akselerometer

Eksitasi yang digunakan dalam pengujian ini berasal dari getaran aktivitas lalulintas yang terjadi pada jembatan. Respon jembatan diukur melalui sensor *accelerometer triaksial* dengan *range* sensitifitas DC 0 Hz – 1000 Hz. Karena sensor merupakan triaksial sehingga akan ada tiga arah *channel* respon, yaitu;

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

channel X, channel Y, dan channel Z. Respon pada channel X merupakan respon jembatan pada arah transversal, respon pada channel Y merupakan respon jembatan pada arah longitudinal, dan respon pada channel Z merupakan respon jembatan pada arah vertikal. Namun pada pengujian ini hanya data respon jembatan arah Z saja yang akan dibaca dan diolah, karena rekomendasi titik sensor yang didapat dari *software* femtools adalah arah Z saja untuk pelat lantai jembatan. Parameter dinamik struktur ditentukan dari respon yang terukur oleh sensor akselerometer dengan menggunakan *software* komputer untuk analisis sinyal yang bernama *sensor connect*.




(a) (b)

**Gambar 5. 6** (a) Pengujian dengan metode OMA (b) pembacaan respon percepatan jembatan

### 5.3.2 Data Hasil Pengujian

Parameter dinamik struktur yaitu periode getar yang ditentukan berdasarkan data respon tiap *channel* yang diukur oleh akselerometer. Karena akselerometer memiliki sensitifitas yang tinggi, maka rasio signal terhadap noise menjadi kecil. Dalam pengolahan data maka penentuan frekuensi alami dilakukan pada domain frekuensi atau hasil FFT dari respon percepatan yang diukur oleh akselerometer. Setiap respon yang tercatat oleh akselerometer merupakan respon sejarah waktu karena itu output yang tercatat pada tiap channel akan dilakukan FFT untuk mengubahnya menjadi *frequency response function* (FRF).

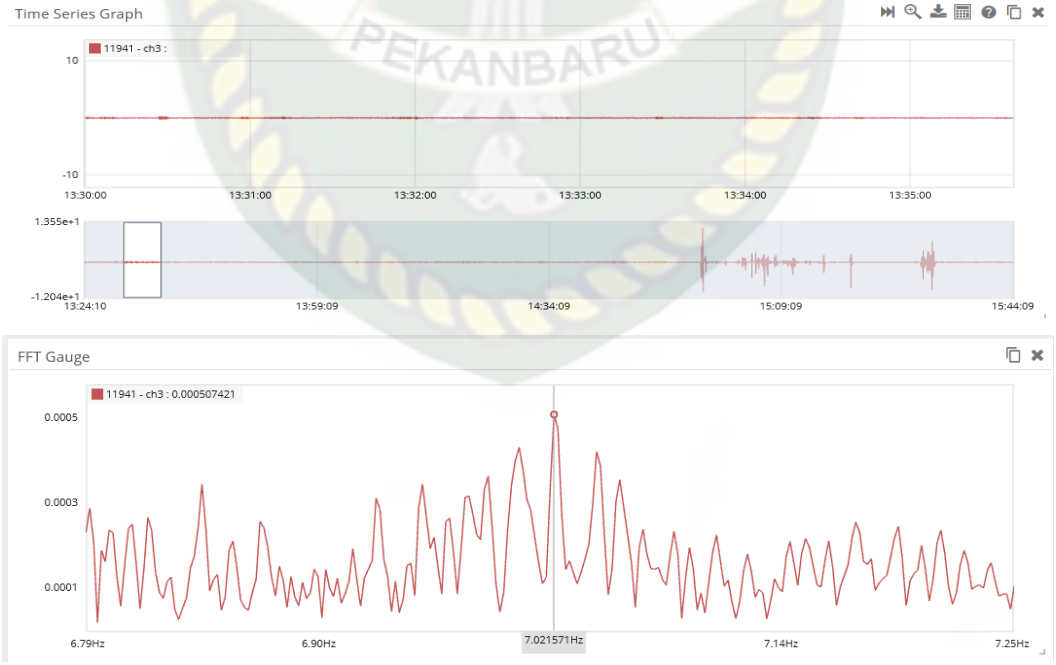
Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

**Tabel 5. 2** *Channel Akselerometer* Ditiap Titik Dan Waktu Pengukuran

| No | Waktu | Titik sensor | |
|---|---|---|---|
| | | konstanta | variabel |
| 1 | 13.30 – 13.35 | (1) 11941 | (2) 56531,<br>(3) 56532,<br>(4) 56534 |
| 2 | 13.37 – 13.42 | (1) 11941 | (5) 56531,<br>(6) 56532,<br>(7) 56534 |
| 3 | 13.52 – 13.57 | (1) 11941 | (8) 56531, |

Respon dari *channel* akselerometer di tiap titik dicatat selama lima menit. Frekuensi alami dari jembatan diidentifikasi sebagai frekuensi yang sesuai dengan amplitudo puncak pada FRF pada tiap *channel.* Berikut merupakan data hasil pengujian dalam domain waktu dan hasil FFTnya untuk berbagai *channel*.

1. Titik sensor 1 (*channel* 11941)

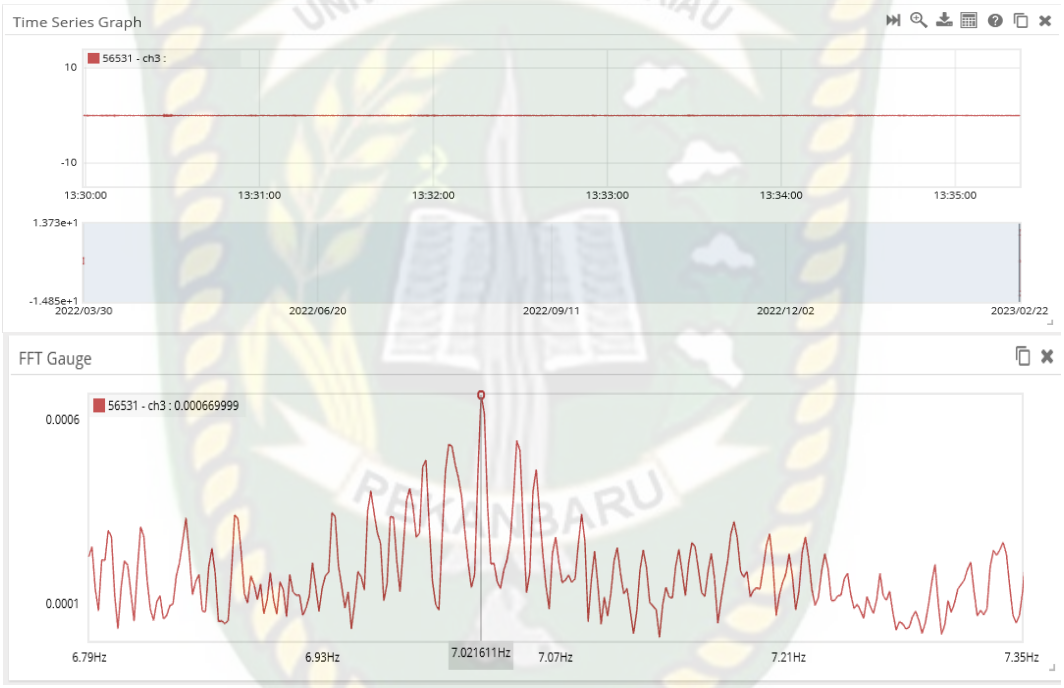



**Gambar 5. 7** Grafik domain waktu dan hasil FFT respon jembatan *channel* 11941 "nilai rekuensi alami 7,02 Hz"

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Pengujian pada titik 1 menggunakan sensor akselerometer *channel* 11941, pengukuran respon jembatan pada titik 1 ini dilakukan selama 5 menit. Hasil pembacaan respon jembatan diatas merupakan respon jembatan pada sumbu z atau arah vertikal. Gambar grafik pertama merupakan respon jembatan dalam domain waktu dan gambar rafik kedua merupakan hasil FFT respon jembatan. Pada grafik kedua dapat diidentifikasi nilai frekuensi alami dari lokasi titik sensor 1 adalah 7,02 Hz.

2. Titik sensor 2 (*channel* 56531)




**Gambar 5. 8** Grafik domain waktu dan hasil FFT respon jembatan *channel* 56531 "nilai rekuensi alami 7,02 Hz"

Pengujian pada titik 2 menggunakan sensor akselerometer *channel* 56531, pengukuran respon jembatan pada titik 2 ini dilakukan selama 5 menit. Hasil pembacaan respon jembatan diatas merupakan respon jembatan pada sumbu z atau arah vertikal. Gambar grafik pertama merupakan respon jembatan dalam domain waktu dan gambar grafik kedua merupakan hasil FFT respon jembatan. Pada grafik kedua dapat diidentifikasi nilai frekuensi alami dari lokasi titik sensor 2 adalah 7,02 Hz.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

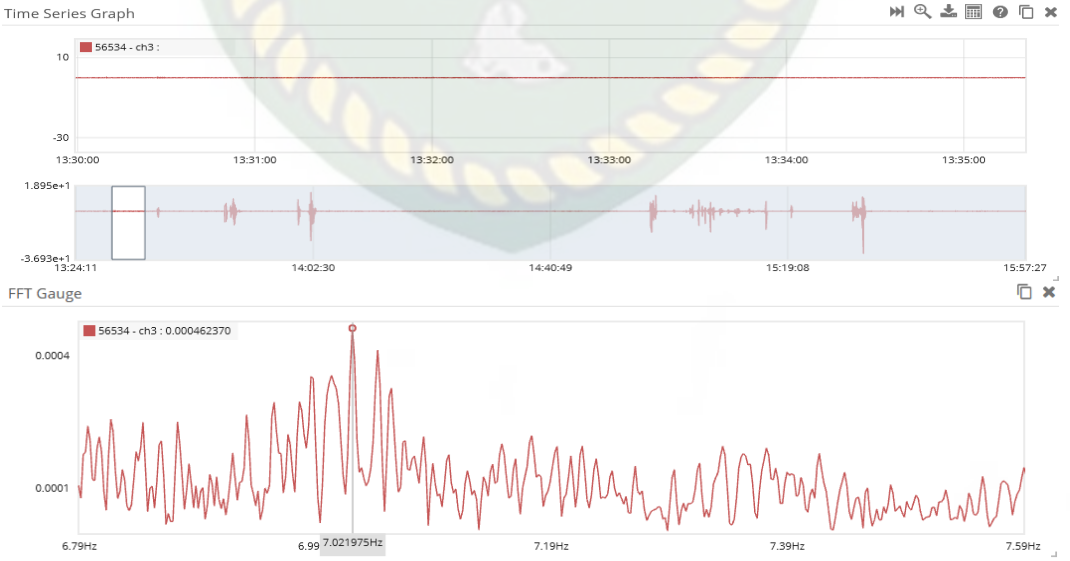
3. Titik sensor 3 (*channel* 56532)




**Gambar 5. 9** Grafik domain waktu dan hasil FFT respon jembatan *channel* 56532 titik 3 "nilai rekuensi alami 7,02 Hz"

Pengujian pada titik 3 menggunakan sensor akselerometer *channel* 56532, pengukuran respon jembatan pada titik 3 ini dilakukan selama 5 menit. Hasil pembacaan respon jembatan diatas merupakan respon jembatan pada sumbu z atau arah vertikal. Pada grafik hasil FFT dapat diidentifikasi nilai frekuensi alami dari lokasi titik sensor 3 adalah 7,02 Hz.

4. Titik sensor 4 (*channel* 56534)

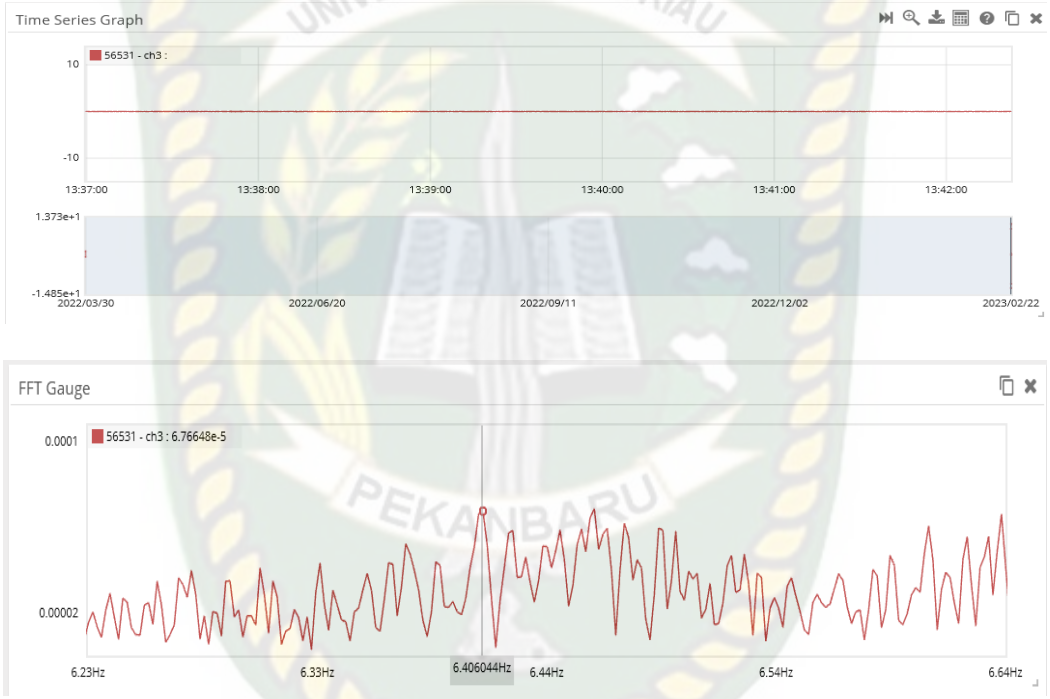



**Gambar 5. 10** Grafik domain waktu dan hasil FFT respon jembatan *channel* 56534 titik 4 "nilai rekuensi alami 7,02 Hz"

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Pengujian pada titik 4 menggunakan sensor akselerometer *channel* 56534, pengukuran respon jembatan pada titik 4 ini dilakukan selama 5 menit. Hasil pembacaan respon jembatan diatas merupakan respon jembatan pada sumbu z atau arah vertikal. Gambar grafik pertama merupakan respon jembatan dalam domain waktu dan gambar grafik kedua merupakan hasil FFT respon jembatan. Pada grafik kedua dapat diidentifikasi nilai frekuensi alami dari lokasi titik sensor 4 adalah 7,02 Hz.

5. Titik sensor 5 (*channel* 56531)




**Gambar 5. 11** Grafik domain waktu dan hasil FFT respon jembatan *channel* 56531 titik 5 "nilai rekuensi alami 6,40 Hz"

Pengujian pada titik 5 menggunakan sensor akselerometer *channel* 56531, pengukuran respon jembatan pada titik 5 ini dilakukan selama 5 menit. Hasil pembacaan respon jembatan diatas merupakan respon jembatan pada sumbu z atau arah vertikal. Gambar grafik pertama merupakan respon jembatan dalam domain waktu dan gambar grafik merupakan hasil FFT respon jembatan. Pada grafik kedua dapat diidentifikasi nilai frekuensi alami dari lokasi titik sensor 5 adalah 6,40 Hz.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

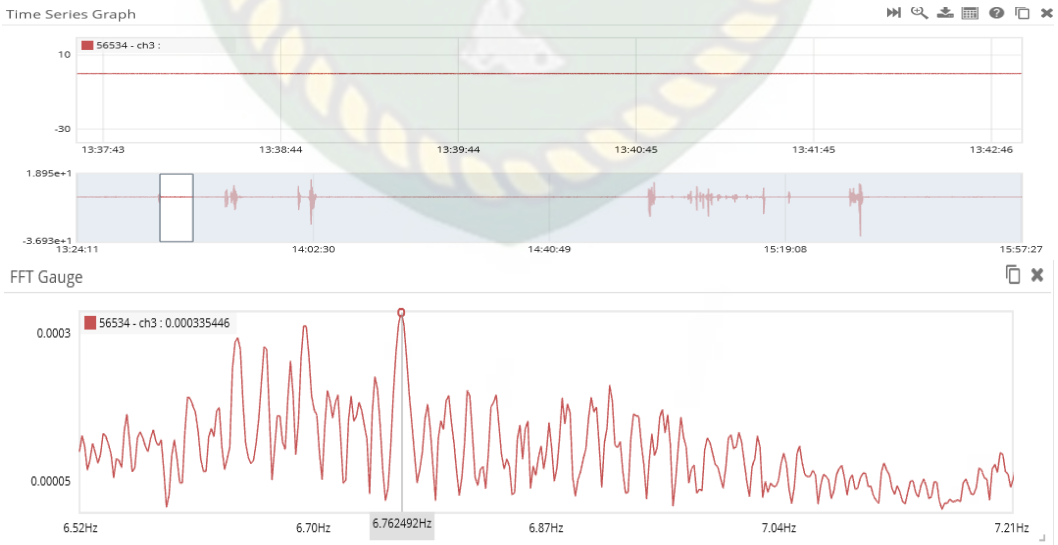
6. Titik sensor 6 (*channel* 56532)




**Gambar 5. 12** Grafik domain waktu dan hasil FFT respon jembatan *channel* 56532 titik 6 "nilai rekuensi alami 6,42 Hz"

Pengujian pada titik 6 menggunakan sensor akselerometer *channel* 56532, pengukuran respon jembatan pada titik 6 ini dilakukan selama 5 menit. Hasil pembacaan respon jembatan diatas merupakan respon jembatan pada sumbu z atau arah vertikal. Pada grafik hasil FFT dapat diidentifikasi nilai frekuensi alami dari lokasi titik sensor 6 adalah 6,42 Hz.

7. Titik sensor 7 (*channe*l 56534)

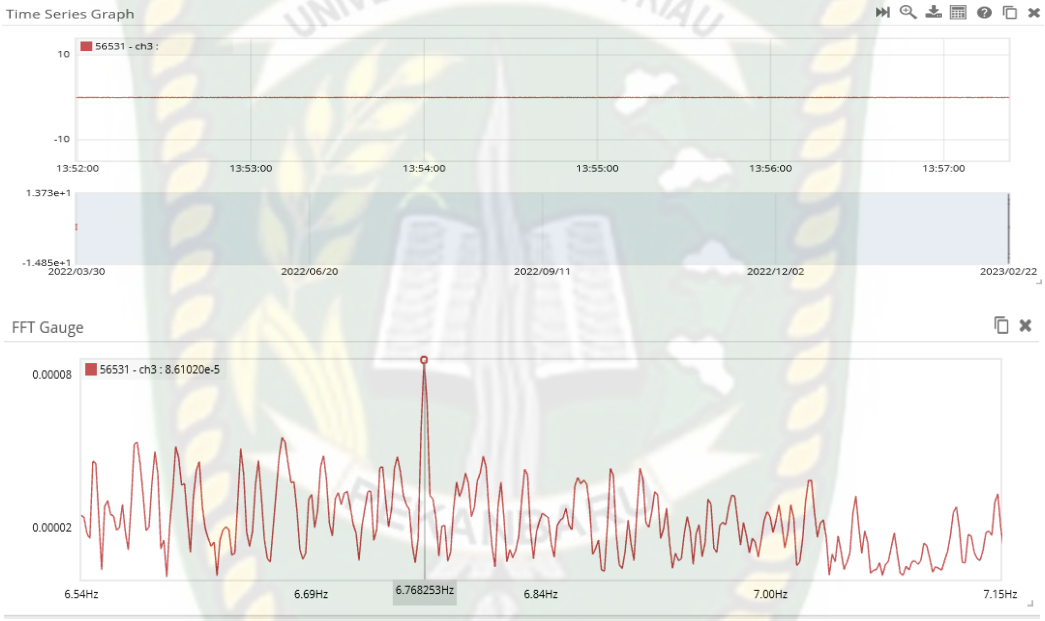



**Gambar 5. 13** Grafik domain waktu dan hasil FFT respon jembatan *channel* 56534 titik 7 "nilai rekuensi alami 6,76 Hz"

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Pengujian pada titik 7 menggunakan sensor akselerometer *channel* 56534, pengukuran respon jembatan pada titik 7 ini dilakukan selama 5 menit. Hasil pembacaan respon jembatan diatas merupakan respon jembatan pada sumbu z atau arah vertikal. Gambar grafik pertama merupakan respon jembatan dalam domain waktu dan gambar grafik kedua merupakan hasil FFT respon jembatan. Pada grafik kedua dapat diidentifikasi nilai frekuensi alami dari lokasi titik sensor 7 adalah 6,76 Hz.

8. Titik sensor 8 (*channel* 56531)




**Gambar 5. 14** Grafik domain waktu dan hasil FFT respon jembatan *channel* 56531 titik 8 "nilai rekuensi alami 6,76 Hz"

Pengujian pada titik 8 menggunakan sensor akselerometer *channel* 56531, pengukuran respon jembatan pada titik 8 ini dilakukan selama 5 menit. Hasil pembacaan respon jembatan diatas merupakan respon jembatan pada sumbu z atau arah vertikal. Pada grafik hasil FFT dapat diidentifikasi nilai frekuensi alami dari lokasi titik sensor 8 adalah 6,76 Hz.

Berdasarkan data hasil pengujian di atas dapat dilihat bahwa frekuensi alami struktur pada kurva frekuensi tersebut diasosiasikan sebagai frekuensi dari amplitudo puncak (Prawestri et al., 2021). Namun setiap puncak pada kurva frekuensi tersebut tidak semuanya diasosiasikan sebagai frekuensi alami struktur

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

karena ada yang merupakan *noise*. Untuk mengidentifikasi mana yang merupakan frekuensi alami atau noise dilakukan pengecekan dengan melihat apakah puncak tersebut juga muncul pada *channel* 11941 yang merupakan titik konstanta pada pengujian.

### 5.3.3 Perbandingan Hasil Pengujian Dengan Hasil Permodelan

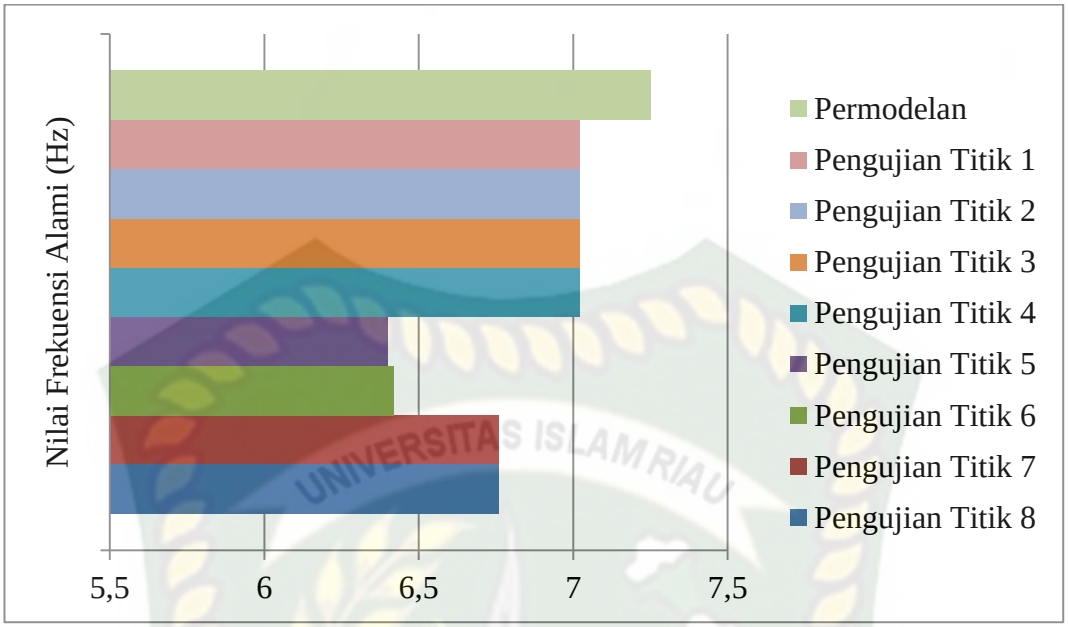
Analisis modal secara teoritis dan pengujian dilakukan pada penelitian ini untuk mendapatkan frekuensi alami. Objek struktur yang digunakan adalah jembatan lengkung UIR. Jembatan dimodelkan secara tiga dimensi dengan program SAP 2000 untuk mendapatkan periode getar dan nilai frekuensi pada 12 mode getar jembatan lengkung secara teoritis. Berikut adalah tabulasi perbandingan frekuensi alami hasil pengujian dan hasil modelisasi :

**Tabel 5. 3** Tabel Nilai Frekuensi Alami Hasil Pengujian Dan Hasil Modelisasi Struktur Pelat Lantai Jembatan Lengkung UIR

| **Frekuensi Alami Hasil Permodelan (Hz)** | **Frekuensi Alami Hasil Pengujian (Hz)** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Titik 1** | **Titik 2** | **Titik 3** | **Titik 4** | **Titik 5** | **Titik 6** | **Titik 7** | **Titik 8** |
| 7,25 | 7,02 | 7,02 | 7,02 | 7,02 | 6,40 | 6,42 | 6,76 | 6,76 |

Nilai frekuensi alami pada hasil permodelan menggunakan program komputer SAP 2000 adalah 7,25 Hz. Dan hasil dari pengujian menggunakan metode *operational modal analysis,* yang dilakukan pada pelat lantai jembatan lengkung UIR menggunakan sensor akselerometer dengan delapan titik lokasi sensor terdapat data frekuensi alami untuk titik sensor-1 adalah 7,02 Hz, titik sensor-2 adalah 7,02 Hz, titik sensor-3 adalah 7,02 Hz, titik sensor-4 adalah 7,02 Hz, titik sensor-5 adalah 6,40 Hz, titik sensor-6 adalah 6,42 Hz, titik sensor-7 adalah 6,76 Hz, dan titik sensor-8 adalah 6,76 Hz . Frekuensi alami dari hasil pengujian menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu jauh dengan frekuensi alami hasil modelisasi. Berikut adalah perbandingan nilai frekuensi alami hasil pengujian dengan permodelan dalam bentuk diagram :

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :




**Gambar 5. 15** diagram perbandingan nilai frekuensi alami struktur pelat lantai jembatan lengkung UIR hasil pengujian dan hasil permodelan

Dapat terlihat dari diagram balok diatas untuk balok yang berada paling atas merupakan nilai frekuensi alami hasil permodelan menggunakan *software* SAP 2000 dan untuk balok yang berada dibawahnya secara berurutan merupakan nilai frekuensi alami hasil pengujian untuk tiap titik lokasi sensor akselerometer. Nilai frekuensi alami jembatan lengkung UIR hasil pengujian lebih rendah daripada nilai frekuensi alami hasil modelisasi, namun nilainya tidak jauh berbeda.

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

# BAB VI
# KESIMPULAN DAN SARAN

## 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan untuk penentuan nilai frekuensi alami struktur pelat lantai jembatan lengkung UIR, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai frekuensi alami struktur pelat lantai jembatan lengkung UIR yang didapat dari pengujian berkisaran atara 6 sampai 7 Hz. Sedangkan nilai frekuensi jembatan hasil modelisasi adalah 7,25 Hz. Terdapat sedikit perbedaan nilai frekuensi hasil modelisasi dengan hasil pengujian, walaupun perbedaaanya tidak begitu signifikan. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain faktor usia dan juga kenaikan beban lalu lintas.
2. Pelat lantai jembatan lengkung UIR memiliki frekuensi alami berkisaran antara 6 sampai 7 Hz. Berdasarkan ketentuan Standar Nasional Indonesia (SNI 1725:2016) pada pasal 10.2.3, struktur yang frekuensi alami fundamental untuk getaran melebihi 3 Hz, berarti memenuhi persyaratan servis getaran pada struktur. Sehingga tidak diperlukan penyelidikan khusus terhadap prilaku dinamis jembatan lengkung UIR dikarenakan sudah memenuhi batasan nilai frekuensi alami pada struktur jembatan.

## 6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka peneliti mengajukan beberapa saran yang berhubungan dengan jembatan lengkung UIR yaitu:

1. Diharapkan dengan adanya data hasil penelitian ini dapat menjadi acuan bagi pihak Universitas Islam Riau dalam penilaian kondisi kesehatan struktur jembatan lengkung UIR.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk melakukan monitoring jembatan lengkung UIR dalam kemampuannya menerima gaya tekan maupun gaya tarik menggunakan sensor *strain gauge*.



Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

# DAFTAR PUSTAKA


Amaripujo, J. (2021). *SISTEM PENILAI KESEHATAN JEMBATAN SECARA REAL-TIME BERDASARKAN FREKUENSI ALAMI JEMBATAN*. 0–1.

Badan Standardisasi Nasional. (2016). SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan. *Badan Standarisasi Nasional*, 1–67.

Budio, S. P., Anggraini, R., Remayanti, C., & Widia, I. M. B. A. (2016). Optimalisasi Desain Jembatan Lengkung (Arch Bridge) Terhadap Berat dan Lendutan. *Rekayasa Sipil*, *10*(3), 212–221. https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2016.010.02.06

Chopra, A. K. (2014). Dynamics of Structures, Theory and Applications to Earthquake Engineering, 4th edition. *New Jersey: Prentice Hall*.

Darmawan, W. F., Suryanita, R., & Djauhari, Z. (2017). Evaluasi Kesehatan Struktur Bangunan berdasarkan Respon Dinamik Berbasiskan Data Akselerometer. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, *23*(2), 142. https://doi.org/10.14710/mkts.v23i2.16101

Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2012). *How to Design and Evaluate Research in Education 8th Edition*. https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results

Fujino, Y. (2018). Vibration-based monitoring for performance evaluation of flexible civil structures in Japan. *Proceedings of the Japan Academy Series B: Physical and Biological Sciences*, *94*(2), 98–128. https://doi.org/10.2183/pjab.94.008

Ghalishooyan, M., & Shooshtari, A. (2015). Operational modal analysis techniques and their theoretical and practical aspects: A comprehensive review and introduction. *6th International Operational Modal Analysis Conference, IOMAC 2015, July 2021*.

Ghulam, B. R., Desmaliana, E., & Widyaningsih, E. (2021). Analisis Dinamik Jembatan Pelengkung (Studi Kasus : Jembatan Palu IV). *Reka Racana Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, *xx*(x), 1–14.

Kementerian Pekerjaan Umum Perumahan. (2018). *Surat Edaran Menteri PUPR 02/SE/M/2018 Tahun 2018 tentang Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil*.

Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2020). SISTEM MONITORING KESEHATAN STRUKTUR (MKS) JEMBATAN Skh-1.7.42. *Direktorat Pembinaan Jalan Kota*.




Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Lilu, D. F. (2019). *Alternatif Perencanaan Struktur Atas Jembatan Rangka Baja Tipe Camel Back Truss Dengan Menggunakan Metode Lrfd Di Weutu Kota Atambua, Kab. Belu. Provinsi Ntt.* 1–14.

Maizuar, M. (2020). Studi Eksperimen Perilaku Dinamik Jembatan Pci Girder Dengan Menggunakan Akselerometer. *Teras Jurnal*, *10*(2), 297. https://doi.org/10.29103/tj.v10i2.353

Maulidiya, S., & Rusli, R. (2017). Penentuan Frekuensi Natural Dan Arah Pergerakan Gelombang (Studi Kasus: Jembatan Soekarno Hatta Kota Malang). *Jurnal MIPA*, *6*(1), 1. https://doi.org/10.35799/jm.6.1.2017.15222

Michael Tan , Saktioto, T. E. (2016). ANALISA FREKUENSI ALAMI DAN REGANGAN OLEH KENDARAAN BERMOTOR MENGGUNAKAN FIBER BRAGG GRATING. *Power System Technology*, *5*(3), 55–60.

Prawestri, D., Sutrisno, W., & Priyanto, A. (2021). Perbandingan Analisis Frekuensi Alami Jembatan Gantung Dengan Menggunakan Aplikasi Accelerometer Meter Dan Software (Studi Kasus Jembatan Gantung Kemiri Buluharjo Karangmojo). *RENOVASI: Rekayasa Dan Inovasi Teknik Sipil*, 54–64. https://jurnal.ustjogja.ac.id/index.php/renovasi/article/view/10142

Putra, S. A., Sani, G. A. A., Nurwijaya, A. T., Anandadiga, A., Wijayanto, P. B., Trilaksono, B. R., & Riyansyah, M. (2018). Sistem Penilaian Kondisi Jembatan Menggunakan Respons Dinamik dengan Wireless Sensor Network. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, *7*(3), 338–343. https://doi.org/10.22146/jnteti.v7i3.444

Riantana, R., Darsono, D., & Triyono, A. (2017). Penentuan Nilai Frekuensi Natural Bangunan UPT Perpustakaan UNS dengan Sensor Accelerometer pada Handphone Android. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, *13*(3), 97. https://doi.org/10.12962/j24604682.v13i3.2838

Wahyuni, E. (2012). Studi Kelakuan Dinamis Struktur Jembatan Penyeberangan Orang (JPO) Akibat Beban Individual Manusia Bergerak. *Jurnal Teknik Sipil*, *19*(3), 181. https://doi.org/10.5614/jts.2012.19.3.1

Wang, H., Nagayama, T., Nakasuka, J., Zhao, B., & Su, D. (2018). Extraction of bridge fundamental frequency from estimated vehicle excitation through a particle filter approach. *Journal of Sound and Vibration*, *428*, 44–58. https://doi.org/10.1016/j.jsv.2018.04.030

Wijayanto, A., & Nasution, A. (2017). Evaluasi Integritas Sistem Struktur Jembatan Dr. Ir. Soekarno. *Jurnal Teknik Sipil*, *24*(2), 125–138. https://doi.org/10.5614/jts.2017.24.2.3

Perpustakaan Universitas Islam Riau
Dokumen ini adalah Arsip Milik :