

**TUGAS AKHIR - TM184835**

# **ANALISA STATIS DAN DINAMIS PENGARUH PENAMBAHAN *BEAM* PADA STRUKTUR BLOWER**

**MUCHAMMAD ALFIEN DARMAWAN**

**NRP 02111740000149**

Dosen Pembimbing

**Prof. Dr. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng**

**NIP 197505111999031001**

Program Studi Sarjana

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



**TUGAS AKHIR - TM184835**

**ANALISA STATIS DAN DINAMIS PENGARUH  
PENAMBAHAN *BEAM* PADA STRUKTUR BLOWER**

**MUCHAMMAD ALFIEN DARMAWAN**

**NRP 02111740000149**

Dosen Pembimbing

**Prof. Dr. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng.**

**NIP 197505111999031001**

**Program Studi Sarjana**

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknikologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



**FINAL PROJECT - TW184835**

# **STATIC AND DYNAMIC ANALYSIS OF THE EFFECT OF BEAM ADDITION ON BLOWER STRUCTURE**

**MUCHAMMAD ALFIEN DARMAWAN**

**NRP 02111740000149**

Advisor

**Prof. Dr. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng.**

**NIP 197505111999031001**

**Study Program Bachelo's Degree**

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Industrial Technology and System Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA STATIS DAN DINAMIS PENGARUH PENAMBAHAN *BEAM* PADA STRUKTUR BLOWER

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat

Memperoleh gelar Sarjana Teknik pada

Program Studi S-1 Sarjana

Departemen Teknik Mesin

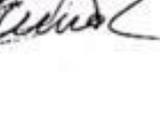
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **MUCHAMMAD ALFIEN DARMAWAN**

NRP. 02111740000149

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- |   |  |            |
|---|--|------------|
| 1. Prof. Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng |  | Pembimbing |
| 2. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.                |  | Penguji    |
| 3. Aida Annisa Amin Daman, S.T., M.T.               |  | Penguji    |
| 4. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.        |  | Penguji    |

**SURABAYA**

**Agustus, 2022**

## APPROVAL SHEET

### STATIC AND DYNAMIC ANALYSIS OF THE EFFECT OF BEAM ADDITION ON BLOWER STRUCTURE

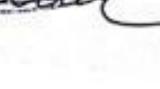
#### TUGAS AKHIR

Submitted to fulfill one of the requirements  
For obtaining a degree Bachelor of Engineering at  
Undergraduate Study Program of Bachelor Degree  
Department of Mechanical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By: **MUCHAMMAD ALFIEN DARMAWAN**

NRP. 02111740000149

Approved by Final Project Examiner Team:

- |   |  |          |
|---|--|----------|
| 1. Prof. Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng |  | Advisor  |
| 2. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T.,M.T.                 |  | Examiner |
| 3. Aida Annisa Amin Daman, S.T.,M.T.                |  | Examiner |
| 4. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.        |  | Examiner |

**SURABAYA**

**August, 2022**

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Muchammad Alfien Darmawan / 02111740000149

Departemen : Teknik Mesin

Dosen Pembimbing / NIP : Prof. Dr. Eng. Harus Laksana Guntur. S.T., M.Eng /  
197505111999031001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisa Statis dan Dinamis Pengaruh Pemambahan *Beam* pada Struktur Blower” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 22 Juli 2022

Mengetahui

Dosen Pembimbing



(Prof. Dr. Eng. Harus Laksana Guntur. S.T.,  
M.Eng)  
NIP. 197505111999031001

Mahasiswa,



(Muchammad Alfien Darmawan)  
NRP.02111740000149

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Muchammad Alfien Darmawan / 02111740000149  
Department : Teknik Mesin  
Advisor / NIP : Prof. Dr. Eng. Harus Laksana Guntur. S.T., M.Eng /  
197505111999031001

hereby declare that the Final Project with the title of "Static And Dynamic Analysis Of The Effect Of Beam Addition On Blower Structure" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 22 July 2022

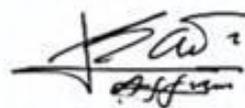
Acknowledged

Advisor



(Prof. Dr. Eng. Harus Laksana Guntur. S.T.,  
M.Eng)  
NIP. 197505111999031001

Student



(Muchammad Alfien Darmawan)  
NRP.02111740000149

# **ANALISA STATIS DAN DINAMIS PENGARUH PENAMBAHAN *BEAM* PADA STRUKTUR BLOWER**

**Nama Mahasiswa** : Muchammad Alfien Darmawan  
**NRP** : 02111740000149  
**Department** : Teknik Mesin FTIRS-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Dr. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng.

## **ABSTRAK**

Perkembangan teknologi dalam bidang mechanical atau pada perusahaan-perusahaan industri telah berkembang dengan pesat, baik dalam negara berkembang maupun negara maju. Adanya perkembangan teknologi ini menjadi sebuah tantangan bagi setiap perusahaan industri untuk menciptakan teknologi yang dapat memudahkan manusia dalam mengerjakan suatu pekerjaan. Salah satu aspek yang dapat dilihat dalam suatu desain struktur adalah kekuatan struktur. Analisa kekuatan struktur diperlukan untuk menentukan tegangan dan regangan yang terjadi. Namun pada sebuah desain yang kompleks, dibutuhkan sebuah metode analisis yang dapat mempermudah yaitu finite element analysis. Metode ini dapat menyelesaikan berbagai analisa seperti vibrasi, perpindahan panas, statik struktural, dan lainnya. Penggunaan metode elemen hingga ini sudah dikembangkan dalam perangkat lunak komputer yaitu ANSYS Workbench 2020 R2.

Pada penelitian tugas akhir ini akan dilakukan analisis statis-dinamis dan redesain pada struktur blower. Desain eksisting atau desain awal dan redesain yang dilakukan ini agar dapat menurunkan getaran yang terjadi pada struktur blower tersebut. Material yang digunakan adalah structural steel. Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga pada software ANSYS Workbench 2020 R2 untuk melakukan pengujian static structural untuk pembebanan statis yang akan menghasilkan nilai von-mises, modal analysis untuk mengetahui frekuensi natural dan mode shape, dan harmonic response analysis untuk mengetahui pembebanan dinamis akibat getaran yang berlebihan dan mendapatkan grafik frequency response.

Dari penelitian tugas akhir ini pada simulasi statis, desain struktur eksisting menggunakan material structural steel memiliki stress maksimum sebesar 46,665 MPa dan deformasi maksimum sebesar 0,64709 mm dengan nilai safety factor sebesar 5,36. Pada desain modifikasi 1 memiliki stress maksimum sebesar 72,311 MPa dan deformasi maksimum sebesar 0,46035 mm dengan nilai safety factor sebesar 3,45. Pada desain modifikasi 2 memiliki stress maksimum sebesar 70,079 MPa dan deformasi maksimum sebesar 0,45844 mm dengan nilai safety factor sebesar 3,56. Pada pengujian dinamis dengan harmonic response analysis, pada desain eksisting puncak resonansi terjadi pada 25 Hz dimana amplitudo getaran pada masing-masing unit sebesar 13,781 mm/s dan 12,965 mm/s. Stress maksimum pada desain eksisting memiliki nilai 10,227 MPa dan deformasi direksional sebesar 0,19488 mm. Pada desain modifikasi 1 resonansi yang terjadi pada frekuensi 32 Hz memiliki hasil amplitudo sebesar 11,407 mm/s dan 11,419 mm/s. Stress maksimum memiliki nilai sebesar 15,256 MPa dan deformasi direksional sebesar 0,10012 mm. Pada desain modifikasi 2 resonansi yang terjadi pada frekuensi 32 Hz memiliki hasil amplitudo sebesar 10,871 mm/s dan 10,513 mm/s. Stress maksimum sebesar 12,853 MPa dan deformasi direksional sebesar 0,10767 mm.

**Kata Kunci** : Struktur Blower, *finite element analysis*, beban statis, beban dinamis, *Structural Steel*

# STATIC AND DYNAMIC ANALYSIS OF THE EFFECT OF BEAM ADDITION ON BLOWER STRUCTURE

**Name** : Muchammad Alfien Darmawan  
**NRP** : 02111740000149  
**Department** : Mechanical Engineering FTIRS-ITS  
**Advisor** : Prof. Dr. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng.

## ABSTRACT

The development of technology in mechanical sector or industrial companies has been developed rapidly, both in developing countries and developed countries. Therefore, it becomes a challenge for each industrial companies to create technology that could facilitate people in doing some works. The strength of structure is one of aspects that can be seen in a design of structure. The analysis of structure is needed in order to determine the strains and stretch. However, in a complex design, it needs an analysis method which could facilitate, such as finite element analysis. This method could settle several analysis, such as vibration, heat transfer, structural static, etc. The use of element method has been developed in a software namely ANSYS Workbench 2020 R2.

This research will be conducting a static-dynamic analysis and redesign on blower structure. Existing design or early design and redesign will be conducted in order to decrease the vibration on the blower structure. Structural steel will be used as the material. in this research, element method will be used on software ANSYS Workbench R2 in order to examine the structural static for the load of the static which will produce von-mises, modal analysis due to determine the natural frequency and mode shape, and harmonic response analysis, to determine the dynamic load that caused by excessive vibration and obtain frequency response graph.

On the static examination that conducted in this research, the existing structure design used structural steel material that has maximum stress of 46,665 MPa and maximum deformation of 0,64709 mm with a safety factor value of 5,36. On the modification design 1 that has maximum stress of 72,311 MPa and maximum deformation of 0,46035 mm with safety factor value of 3,45. On the modification design 2 that has maximum stress of 70, 079 MPa and maximum deformation of 0,45844 mm with safety factor value of 3,56. On the dynamic examination with harmonic response analysis, on the resonance of excitation acme design, occurred at 25 Hz where the vibration of the amplitude on each units is 13,781 mm/s and 12,965 mm/s. The maximum stress on the excitation design has a value of 10,227 MPa and directional deformation of 0,19488 mm. On the modification design 1, The resonance that occurred at 32 Hz frequency has an amplitude result of 11,407 mm/s and 11,419 mm/s. The maximum stress has a value of 15,256 MPa and directional deformation of 0,10012 mm. On the modification design 2, The resonance that occurred at 32 Hz frequency has an amplitude result of 10,871 mm/s and 10,513 mm/s. The maximum stress has a value of 12,853 MPa and directional deformation of 0,10767 mm.

**Keywords** : Blower Structure, *finite element analysis*, static load, dynamic load, *Structural Steel*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah saya panjatkan kepada Allah SWT karena telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya kepada saya. Sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisa Statis dan Dinamis Pengaruh Penambahan *Beam* pada Struktur Blower” dengan tepat waktu dan lancar.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung, membantu, memberikan masukan dan arahan yang membangun sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai dengan baik. Untuk itu, penulis ucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan baik material, moril, serta doa.
2. Bapak **Prof. Dr. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng.** selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Ibu **Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.**, Ibu **Aida Annisa Amin Daman, S.T., MT.**, dan Bapak **Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.** selaku dosen penguji dalam sidang Tugas Akhir penulis yang telah memberikan kritik dan saran untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu **Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.**, selaku Dosen Wali yang telah membimbing selama perkuliahan
5. Ketut Krisna Dana dan Mas Bagus M54 yang sangat membantu dalam proses penyusunan tugas akhir ini dari awal sampai akhir.
6. Nadya Maurena Wafiyanti yang selalu menemani, memberikan semangat, dan menghibur disaat lelah dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
7. Rayfritzgerald Sumbayak yang telah memberikan masukan dalam melakukan penyusunan tugas akhir ini.
8. Yoga dan Kicu yang telah menemani dan menghibur disaat lelah dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
9. Bonaventura, Iqbal, dan Made Puts yang telah lulus terlebih dahulu dan memberikan semangat dan masukan kepada penulis.
10. Teman-teman seperbimbingan yang memberikan dukungan, informasi, memberikan semangat, dan motivasi.
11. Teman-teman Teknik Mesin ITS angkatan M60,
12. Dan seluruh pihak lain yang senantiasa memberikan dukungan, namun penulis tidak dapat menyebutkan satu persatu.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidak sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi positif dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi para pembaca.

Surabaya, 27 Juli 2022

Penulis

*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

## DAFTAR ISI

JUDUL PROPOSAL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	v
APPROVAL SHEET .....	vi
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	vii
STATEMENT OF ORIGINALITY .....	viii
ABSTRAK .....	ix
ABSTRACT .....	x
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	1
1.3 Tujuan Penelitian .....	1
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	3
2.1 Baja Struktural .....	3
2.1.1 Macam-Macam Baja Struktural .....	3
2.1.1.1 Wide Flange (WF) .....	3
2.1.1.2 Kanal U .....	3
2.1.1.3 Kanal C .....	4
2.1.1.4 Steel Pipe .....	4
2.1.1.5 Rectangular Hollow Section .....	4
2.2 Teori Mekanika Getaran .....	5
2.2.1 Multi Degree of Freedom .....	5
2.3 Konsep Tegangan pada Struktur .....	6
2.3.1 Tegangan Aksial dan Tegangan Geser .....	6
2.3.2 Tegangan Von Mises .....	6
2.4 Konsep Regangan .....	7
2.5 Deformasi Struktur .....	8

2.6	<i>Natural Frequency</i> .....	9
2.7	<i>Finite Element Method (FEM)</i> .....	9
2.8	<i>Meshing</i> .....	10
2.9	<i>Teori Analisa Modal</i> .....	10
2.10	<i>Teori Analisa Harmonik</i> .....	11
2.11	<i>Safety Factor</i> .....	13
2.12	<i>Penelitian Terdahulu</i> .....	13
2.12.1	<i>Penelitian Tentang Finite Element Analysis Based Vibration Behavior on Warren Truss Bridge</i> .....	13
2.12.2	<i>Penelitian Tentang Modal Analysis of The Miling Machine Structure Through FEM and Experimental Test</i> .....	16
2.12.3	<i>Penelitian Tentang Analisis Modal Struktur Chassis Sepeda Motor</i> .....	17
2.12.4	<i>Penelitian Mengenai Harmonic Response Analysis of Double Bridge Crane System on Multi Carriages</i> .....	19
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....		23
3.1	<i>Diagram Alir Penelitian</i> .....	23
3.2	<i>Penjelasan Tahap Penelitian</i> .....	25
3.2.1	<i>Studi Literatur</i> .....	25
3.2.2	<i>Identifikasi Masalah</i> .....	25
3.2.3	<i>Desain dan Material Struktur Blower</i> .....	25
3.2.3.1	<i>Desain Eksisting Struktur Blower</i> .....	25
3.2.3.2	<i>Modifikasi 1 Struktur Blower</i> .....	26
3.2.3.3	<i>Modifikasi 2 Struktur Blower</i> .....	26
3.2.3.4	<i>Spesifikasi Material</i> .....	27
3.2.4	<i>Meshing</i> .....	28
3.2.4.1	<i>Uji Konvergensi Meshing</i> .....	30
3.2.5	<i>Pengujian Statis</i> .....	34
3.2.5.1	<i>Bebas Statis pada Struktur Blower</i> .....	35
3.2.5.2	<i>Solution</i> .....	36
3.2.6	<i>Modal Analysis</i> .....	36
3.2.7	<i>Harmonic Response Analysis</i> .....	38
3.2.8	<i>Post-Processing</i> .....	39
3.2.9	<i>Kesimpulan</i> .....	39
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN</b> .....		41
4.1	<i>Hasil Static Structural</i> .....	41

4.1.1	Desain Eksisting Struktur Blower .....	41
4.1.1.1	Hasil Equivalent Stress Dan Total Deformation Desain Eksisting.....	41
4.1.2	Desain Modifikasi 1 Struktur Blower .....	42
4.1.2.1	Hasil Equivalent Stress dan Total Deformation Desain Modifikasi 1 .....	42
4.1.3	Desain Modifikasi 2 Struktur Blower .....	43
4.1.3.1	Hasil <i>Equivalent Stress</i> dan <i>Total Deformation</i> Desain Modifikasi 2.....	43
4.1.4	Analisis Data Simulasi Statis .....	45
4.2	Modal Analisis .....	46
4.2.1	Frekuensi Natural Desain Eksisting .....	46
4.2.2	Frekuensi Natural Desain Modifikasi 1.....	48
4.2.3	Frekuensi Natural Desain Modifikasi 2.....	50
4.3	Pengujian Dinamis .....	51
4.3.1	<i>Harmonic Response Analysis</i> Desain Eksisting .....	52
4.3.1.1	Respon Dinamis Desain Eksisting.....	52
4.3.1.2	Persebaran <i>Stress</i> dan Deformasi Direksional Desain Eksisting .....	53
4.3.2	<i>Harmonic Response Analysis</i> Desain Modifikasi 1 .....	53
4.3.2.1	Respon Dinamis Desain Modifikasi 1 .....	53
4.3.2.2	Persebaran <i>Stress</i> dan Deformasi Direksional Desain Modifikasi 1 .....	55
4.3.3	<i>Harmonic Response Analysis</i> Desain Modifikasi 2 .....	56
4.3.3.1	Respon Dinamis Desain Modifikasi 2 .....	56
4.3.3.2	Persebaran <i>Stress</i> dan Deformasi Direksional <i>Desain</i> Modifikasi 2 .....	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		59
5.1	Kesimpulan .....	59
5.2	Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA.....		61
LAMPIRAN .....		63
Alur Simulasi Ansys.....		63
Analisa Modal .....		64
Mode Shape Desain Eksisting .....		64
Mode Shape Desain Modifikasi 1.....		66
Mode Shape Desain Modifikasi 2.....		68
Analisa <i>Harmonic Response</i> .....		70
Respon Dinamis Desain Eksisting .....		70
Respon Dinamis Desain Modifikasi 1 .....		71

Respon Dinamis Desain Modifikasi 2 .....	72
BIODATA PENULIS.....	73

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Profil Wide Flange (WF).....	3
<b>Gambar 2. 2</b>	Profil Kanal U.....	3
<b>Gambar 2. 3</b>	Profil Kanal C.....	4
<b>Gambar 2. 4</b>	Profil Steel Pipe.....	4
<b>Gambar 2. 5</b>	Profil Rectangular Hollow Section.....	4
<b>Gambar 2. 6</b>	Sistem <i>Undamped</i> dengan 2 <i>Degree of Freedom</i> (Kelly, 2012).....	5
<b>Gambar 2. 7</b>	Tegangan aksial ( $\sigma_x$ ) dan tegangan geser ( $\tau_{xy}, \tau_{yx}$ ).....	6
<b>Gambar 2. 8</b>	Komponen Tegangan dalam 3D.....	6
<b>Gambar 2. 9</b>	Perubahan Bentuk Karena Beban Tarik.....	8
<b>Gambar 2. 10</b>	Kurva Tegangan dan Regangan pada Material.....	8
<b>Gambar 2. 11</b>	(a) Meshing Dengan 294 Elemen dan 344 Node (b) Meshing Dengan 1008 Elemen dan 1096 Node (Shigley, 2011).....	10
<b>Gambar 2. 12</b>	Model 3D Geometri Jembatan.....	14
<b>Gambar 2. 13</b>	(a) <i>Meshing</i> (b) <i>Boundary Condition</i> .....	15
<b>Gambar 2. 14</b>	(a) <i>Equivalent Stress Von-Mises</i> (b) <i>Total Deformation</i> .....	15
<b>Gambar 2. 15</b>	Model Mesin Penggiling dan <i>Meshing</i> .....	16
<b>Gambar 2. 16</b>	<i>Motorcycle Chassis</i> (a) Original (b) Modifikasi 1 (c) Modifikasi 2.....	17
<b>Gambar 2. 17</b>	<i>Mode Shape Original Chassis</i> .....	18
<b>Gambar 2. 18</b>	Perbandingan Plot Respon Frekuensi Antara Sasis Asli dan Modifikasi.....	19
<b>Gambar 2. 19</b>	<i>Desain Three-Carriages Crane System</i> .....	19
<b>Gambar 2. 20</b>	Tiga Model yang Diusulkan untuk Analisa Harmonik.....	20
<b>Gambar 2. 21</b>	<i>Boundary Condition</i> untuk Analisis Harmonik.....	20
<b>Gambar 2. 22</b>	Frekuensi Respon dari <i>Crane Beam</i> dalam Kasus gerobak Ditengah Jembatan dan Diberikan Beban Sebesar 430 kg.....	21
<b>Gambar 2. 23</b>	Frekuensi Respon dari <i>Crane Beam</i> dalam Kasus gerobak Ditengah Jembatan dan Diberikan Beban Sebesar 1540 kg.....	21
<b>Gambar 3. 1</b>	Diagram Alir Penelitian.....	24
<b>Gambar 3. 2</b>	Desain Eksisting Struktur Blower (a) Tampak Depan (b) Tampak Samping.....	26
<b>Gambar 3. 3</b>	Desain Modifikasi 1 Struktur Blower (a) Tampak Isometri (b) Tampak Depan.....	26
<b>Gambar 3. 4</b>	Desain Modifikasi 2 Struktur Blower (a) Tampak isometri (b) Tampak depan (c) Tampak atas.....	27
<b>Gambar 3. 5</b>	Tampak Isometri Meshing pada Desain Eksisting Struktur Blower.....	28
<b>Gambar 3. 6</b>	Tampak Depan Meshing pada Desain Eksisting Struktur Blower.....	28
<b>Gambar 3. 7</b>	Tampak Isometri Meshing pada Desain Modifikasi 1 Struktur Blower.....	29
<b>Gambar 3. 8</b>	Tampak Depan Meshing pada Desain Modifikasi 1 Struktur Blower.....	29
<b>Gambar 3. 9</b>	Tampak Isometri Meshing pada Modifikasi 2 Struktur Blower.....	29
<b>Gambar 3. 10</b>	Tampak Depan Meshing pada Modifikasi 2 Struktur Blower.....	30
<b>Gambar 3. 11</b>	Skewness Mesh Metrics Spectrum dan Orthogonal Quality.....	30
<b>Gambar 3. 12</b>	Diagram Batang <i>Skewness</i> Desain Awal Struktur Blower.....	31
<b>Gambar 3. 13</b>	Diagram Batang <i>Orthogonal Quality</i> Desain Awal Struktur Blower.....	32
<b>Gambar 3. 14</b>	Diagram Batang <i>Skewness</i> Modifikasi 1 Struktur Blower.....	32
<b>Gambar 3. 15</b>	Diagram Batang <i>Orthogonal Quality</i> Modifikasi 1 Struktur Blower.....	32
<b>Gambar 3. 16</b>	Diagram Batang <i>Skewness</i> Modifikasi 2 Struktur Blower.....	32

<b>Gambar 3. 17</b>	Diagram Batang <i>Orthogonal Quality</i> Modifikasi 2 Struktur Blower.....	32
<b>Gambar 3. 18</b>	Grafik Hasil Uji Konvergensi <i>Meshing</i> Desain Awal Struktur Blower .....	33
<b>Gambar 3. 19</b>	Grafik Hasil Uji Konvergensi <i>Meshing</i> Modifikasi 1 Struktur Blower.....	33
<b>Gambar 3. 20</b>	Grafik Hasil Uji Konvergensi <i>Meshing</i> Modifikasi 2 Struktur Blower.....	34
<b>Gambar 3. 21</b>	Diagram Alir Pengujian Statis .....	34
<b>Gambar 3. 22</b>	<i>Free Body Diagram</i> Gaya pada Struktur Blower .....	35
<b>Gambar 3. 23</b>	<i>Boundary Condition</i> (a) Desain Eksisting (b) Modifikasi 1 (c) Modifikasi 2 Struktur Blower .....	36
<b>Gambar 3. 24</b>	<i>Set-Up</i> Simulasi Analisis Modal (a) <i>Boundary Condition</i> Modifikasi 1 (b) <i>Boundary Condition</i> Modifikasi 2 (c) <i>Analysis Setting</i> .....	37
<b>Gambar 3. 25</b>	<i>Set-Up</i> Harmonik Analisis (a) <i>Boundary Condition</i> Modifikasi 1 (b) <i>Boundary condition</i> Modifikasi 2 (c) <i>Analysis Setting</i> .....	39
<b>Gambar 4. 1</b>	Hasil Uji <i>Static Structural</i> Desain Eksitasi Struktur Blower (a) <i>Equivalent Stress</i> (b) Total Deformasi .....	42
<b>Gambar 4. 2</b>	Hasil Uji <i>Static Structural</i> Desain Modifikasi 1 Struktur Blower (a) <i>Equivalent Stress</i> (b) Total Deformasi .....	43
<b>Gambar 4. 3</b>	Hasil Uji <i>Static Structural</i> Desain Modifikasi 2 Struktur Blower (a) <i>Equivalent Stress</i> (b) Total Deformasi .....	44
<b>Gambar 4. 4</b>	Grafik Perbandingan <i>Stress</i> Desain Awal dan Modifikasi .....	45
<b>Gambar 4. 5</b>	Grafik Perbandingan <i>Total Deformation</i> Desain Awal dan Modifikasi.....	45
<b>Gambar 4. 6</b>	Grafik Frekuensi Natural dan <i>Mode Shape</i> Desain Eksisting .....	46
<b>Gambar 4. 7</b>	<i>Mode Shape</i> 11 di 25,99 Hz Desain Awal Struktur Blower .....	48
<b>Gambar 4. 8</b>	Grafik Frekuensi Natural dan <i>Mode Shape</i> Desain Modifikasi 1.....	48
<b>Gambar 4. 9</b>	<i>Mode Shape</i> 12 di 29,556 Hz Desain Modifikasi 1 .....	49
<b>Gambar 4. 10</b>	Grafik Frekuensi Natural dan <i>Mode Shape</i> Desain Modifikasi 2.....	50
<b>Gambar 4. 11</b>	<i>Mode Shape</i> 14 di 29,601 Hz Desain Modifikasi 2.....	51
<b>Gambar 4. 12</b>	Grafik Respon Dinamis Struktur Blower Desain Awal (a) Unit 1 (b) Unit 2	52
<b>Gambar 4. 13</b>	Persebaran <i>Stress</i> dan Deformasi direksional pada Struktur Blower Desain Eksitasi (a) Persebaran <i>Stress</i> (b) Deformasi direksional .....	53
<b>Gambar 4. 14</b>	Grafik Respon Dinamis Struktur Blower Modifikasi 1 (a) Unit 1 (b) Unit 2	54
<b>Gambar 4. 15</b>	Persebaran <i>Stress</i> dan Deformasi Direksional pada Struktur Blower Desain Modifikasi 1 (a) Persebaran <i>Stress</i> (b) Persebaran Deformasi Direksional...	55
<b>Gambar 4. 16</b>	Grafik Respon Dinamis Struktur Blower Desain Modifikasi 2 (a) Unit 1 (b) Unit 2 .....	56
<b>Gambar 4. 17</b>	Persebaran <i>Stress</i> dan Deformasi Direksional pada Struktur Blower Desain Modifikasi 2 (a) Persebaran <i>Stress</i> (b) Persebaran Deformasi Direksional...	57

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Spesifikasi Material .....	13
<b>Tabel 2. 2</b> <i>Natural Frequency</i> yang Diperoleh dari Analisis Modal .....	16
<b>Tabel 2. 3</b> Mode Shape, Natural Frequency, Maximum Deformation of Original Chassis ....	17
<b>Tabel 2. 4</b> Hasis Analisa Modal pada Ketiga Model <i>Chassis Motorcycle</i> .....	18
<b>Tabel 3. 1</b> Structural Steel Mechanical Properties.....	27
<b>Tabel 3. 2</b> Hasil Uji Konvergensi Meshing Desain Eksisting Struktur Blower .....	30
<b>Tabel 3. 3</b> Hasil Uji Konvergensi Meshing Modifikasi 1 Struktur Blower .....	31
<b>Tabel 3. 4</b> Hasil Uji Konvergensi Meshing Modifikasi 2 Struktur Blower .....	31
<b>Tabel 4. 1</b> <i>Safety Factor</i> Pengujian Statis .....	46
<b>Tabel 4. 2</b> Frekuensi <i>Mode Shape</i> Desain Awal .....	46
<b>Tabel 4. 3</b> Frekuensi <i>Mode Shape</i> Desain Modifikasi 1 .....	48
<b>Tabel 4. 4</b> Frekuensi <i>Mode Shape</i> Desain Modifikasi 2 .....	50

*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dalam bidang mechanical atau pada perusahaan-perusahaan industri telah berkembang dengan pesat, baik dalam negara berkembang maupun negara maju. Perkembangan tersebut terjadi karena tingkat mobilitas manusia yang meningkat seiring meningkatnya jumlah penduduk. Adanya perkembangan teknologi ini menjadi sebuah tantangan bagi setiap perusahaan industri untuk menciptakan teknologi yang dapat memudahkan manusia untuk mengerjakan suatu pekerjaan. Salah satu aspek yang dapat dilihat dalam suatu desain struktur adalah kekuatan struktur. Kekuatan struktur dapat dipengaruhi oleh kekuatan material yang dipakai dan geometri benda. Analisa kekuatan struktur diperlukan untuk menentukan tegangan dan regangan yang terjadi. Namun pada sebuah desain yang kompleks, dibutuhkan sebuah metode analisis yang dapat mempermudah. Dewasa ini telah ditemukan metode untuk menganalisis, yaitu *Finite Element Analysis*.

Metode elemen hingga atau biasa disebut *Finite Element Analysis (FEA)* adalah prosedur numerik yang dilakukan untuk memperoleh solusi dari permasalahan yang ditemukan dalam analisa teknik. Metode ini dapat menyelesaikan berbagai analisa seperti vibrasi, perpindahan panas, statik struktural, dan lain-lain. Penggunaan metode elemen hingga ini sudah dikembangkan dalam perangkat lunak komputer dan sangat mempermudah dalam melakukan analisis. Salah satu perangkat lunak yang akan digunakan dalam menyelesaikan tugas akhir ini adalah ANSYS *Workbench 2020 R2*.

Struktur blower merupakan rangka yang berfungsi sebagai penguat dari konstruksi *body* pada blower. Oleh karena itu rangka harus mampu menopang beban komponen yang diberikan dan memiliki kekakuan sehingga mampu melindungi pengguna dan bagian yang vital pada struktur ini. Pada penelitian kali ini memiliki tujuan untuk mengamati fenomena getaran strukturnya. Untuk material yang dipakai pada desain struktur blower ini adalah *structural steel*. Untuk dapat mengamati fenomena pada struktur blower yaitu dengan melakukan analisa statik analisis untuk mengetahui berapa *equivalent stress* von-misses yang dihasilkan dan *harmonic response* untuk menganalisa respon dinamis dari struktur terhadap fungsi frekuensi dan yang dihasilkan dari *harmonic response* ini seperti frekuensi respon, deformasi, tegangan dan getaran yang berlebihan yang terjadi pada frekuensi tertentu. Dengan permasalahan diatas, maka diusulkan sebuah penelitian berjudul “Analisa Statis dan Dinamis Pengaruh Penambahan *Beam* pada Struktur Blower”

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai desain struktur blower. Dalam penelitian tugas akhir ini terdapat beberapa rumusan masalah, antara lain:

1. Bagaimana struktur blower setelah dilakukan modifikasi?
2. Bagaimana pengaruh pembebanan statis pada desain struktur blower setelah dilakukan modifikasi?
3. Bagaimana pengaruh pembebanan dinamis pada desain struktur blower setelah dilakukan modifikasi?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah yang telah dilakukan, maka dapat diketahui tujuan dari penelitian tugas akhir ini, antara lain:

1. Mengetahui struktur blower setelah dilakukan modifikasi.
2. Mengetahui pengaruh pembebanan statis pada desain struktur blower setelah dilakukan modifikasi.
3. Mengetahui pengaruh pembebanan dinamis pada desain struktur blower setelah dilakukan modifikasi.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Pembebanan statis yang digunakan adalah beban dari fan blower sebagai massa terpusat.
2. Pembebanan dinamis yang digunakan merupakan beban blade saat bergerak.
3. Respon dinamis dari sistem merupakan respon yang terjadi pada kondisi *steady state*.
4. Input eksitasi yang diberikan pada sistem berupa sinusoidal.
5. Rentang pengujian *harmonic response* pada frekuensi 0-35 Hz
6. Damping ratio sebesar 2%
7. Gravitasi pada sumbu y negatif sebesar 9806 mm/s<sup>2</sup>
8. Desain menggunakan SolidWork 2020
9. Simulasi menggunakan ANSYS WorkBench 2020 R2

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian tugas akhir mengenai analisis statis dan dinamis pada struktur blower untuk penggunaan pada minyak dan gas offshore. Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Sebagai referensi dan literatur untuk penelitian selanjutnya.
2. Sebagai suatu inovasi untuk meningkatkan performa struktur blower.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

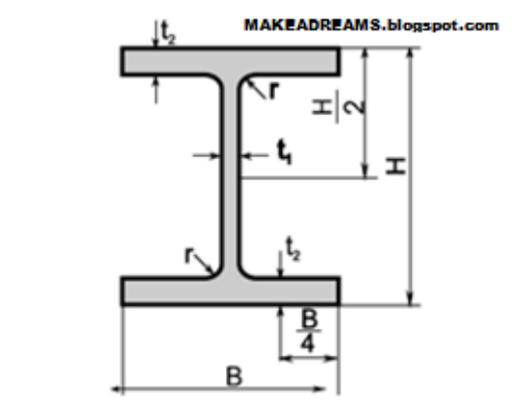
### 2.1 Baja Struktural

Baja adalah logam paduan, logam besi sebagai unsur dasar dengan beberapa elemen lainnya, termasuk karbon. Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0,2% hingga 2,1% berat sesuai *grade* nya. Elemen berikut ini selalu ada dalam baja: karbon, mangan, fosfor, sulfur, silicon, dan sebagian kecil oksigen, nitrogen dan aluminium. Selain itu ada elemen yang ditambahkan untuk membedakan karakteristik antara beberapa jenis baja diantaranya: mangan, nikel, krom, molybdenum, boron, titanium, vanadium dan niobium.

#### 2.1.1 Macam-Macam Baja Struktural

##### 2.1.1.1 Wide Flange (WF)

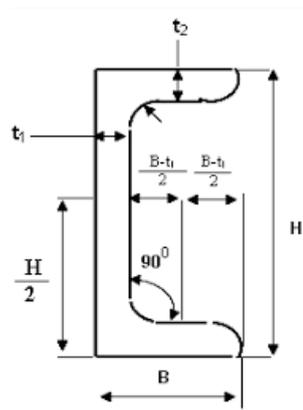
Profil *Wide Flange* (WF) adalah salah satu profil baja struktural yang paling populer digunakan untuk konstruksi baja. *Wide Flange* biasa digunakan untuk balok, kolom, tiang pancang, top dan bottom chord member pada truss, composite beam, kantilever kanopi, dan lain-lain.



Gambar 2. 1 Profil Wide Flange (WF)

##### 2.1.1.2 Kanal U

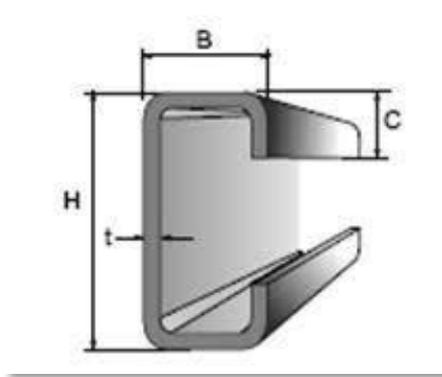
Baja Channel atau kanal U ini mempunyai kegunaan yang hampir sama dengan baja WF, kecuali untuk kolom baja kanal U ini jarang digunakan karena strukturnya yang mudah mengalami tekukan disetiap sisinya.



Gambar 2. 2 Profil Kanal U

### 2.1.1.3 Kanal C

Baja Channel C biasanya digunakan untuk purlin (balok dudukan penutup atap), girts (elemen yang memegang penutup dinding misalnya metal sheet), member pada truss, rangka komponen arsitektural.



Gambar 2. 3 Profil Kanal C

### 2.1.1.4 Steel Pipe

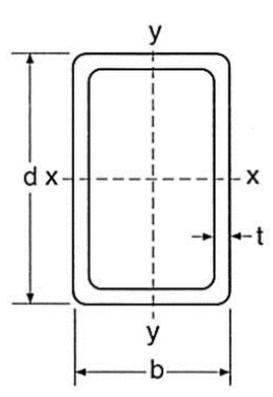
*Steel Pipe* biasanya digunakan untuk *bracing* (horizontal dan vertikal), *secondary beam* (biasanya pada rangka atap), kolom arsitektural, *support* komponen arsitektural.



Gambar 2. 4 Profil Steel Pipe

### 2.1.1.5 Rectangular Hollow Section

Baja jenis ini biasanya digunakan untuk komponen rangka arsitektural (ceiling, partisi gipsum), rangka dan support ornamen-ornamen non struktural.



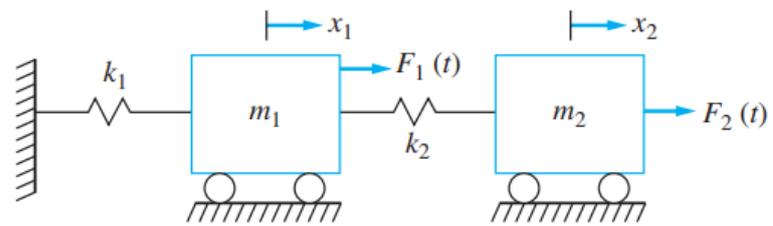
Gambar 2. 5 Profil Rectangular Hollow Section

## 2.2 Teori Mekanika Getaran

Setiap gerakan yang berulang setelah selang waktu tertentu disebut getaran atau osilasi. Ayunan pendulum dan gerakan tali yang dipetik adalah contoh tipikal dari getaran (Rao, 2011). Secara umum, getaran merupakan gerakan bolak-balik suatu benda melalui titik keseimbangan dengan amplitude dan periode tertentu. Getaran dapat terjadi jika terdapat massa, pegas, dan peredam dalam suatu sistem. Getaran dibagi menjadi dua, yaitu getaran bebas (*free vibration*) dan getaran paksa (*forced vibration*). Getaran bebas terjadi jika suatu sistem, setelah gangguan awal, dibiarkan begetar dengan sendirinya, maka getaran berikutnya dikenal sebagai getaran bebas. Tidak ada gaya eksternal yang bekerja pada sistem. Itu osilasi pendulum sederhana adalah contoh getaran bebas. Sedangkan getaran paksa terjadi jika suatu sistem mengalami gaya eksternal (seringkali, tipe berulang), getaran yang dihasilkan dikenal sebagai getaran paksa, osilasi yang muncul di mesin seperti mesin diesel adalah contoh getaran paksa. Jika frekuensi gaya eksternal bertepatan dengan salah satu frekuensi alami sistem, kondisi yang dikenal sebagai resonansi terjadi, dan sistem mengalami bahaya osilasi besar. Kegagalan struktur seperti gedung, jembatan, turbin, dan pesawat terbang sayap telah dikaitkan dengan terjadinya resonansi (Rao, 2011). Pada penelitian yang ini menggunakan teori mekanika getaran sebagai landasan dan literatur. Adapun subbab yang akan dibahas antara lain *Multi Degree of Freedom*, dan *Base excitation*

### 2.2.1 Multi Degree of Freedom

*Degree of freedom* merupakan koordinat independent yang menentukan posisi dari sistem secara lengkap terhadap suatu referensi yang dianggap diam. Secara garis besar *degree of freedom* dapat dibagi menjadi dua, yaitu *single degree of freedom* untuk sistem yang gerakannya dapat digambarkan dengan satu koordinat dan *multi degree of freedom* untuk sistem yang gerakannya digambarkan oleh lebih dari satu koordinat. Pada getaran *Multi Degree of Freedom* digunakan Hukum Newton Kedua untuk mendapatkan persamaan gerak dari suatu sistem dinamis. Getaran *Multi Degree of Freedom* memiliki penyelesaian aljabar yang kompleks, maka digunakan matriks untuk merepresentasikan sistem ini (Kelly, 2012). Sistem *Multi Degree of Freedom* dapat dimodelkan seperti gambar berikut:



**Gambar 2. 6** Sistem *Undamped* dengan 2 *Degree of Freedom* (Kelly, 2012)

Dari Gambar 2.6, maka akan didapatkan *equation of motion* dengan menggunakan Hukum Newton kedua yang diberikan untuk setiap massa.

$$m_i \ddot{x}_i + k_i x_i = \sum F_i \quad (2.1)$$

Dengan mensubstitusikan nilai  $i = 1, 2$  pada persamaan 2.1 dapat dituliskan dalam bentuk matriks

$$[m] = \begin{bmatrix} m_{1,1} & m_{1,2} \\ m_{2,1} & m_{2,2} \end{bmatrix}; [k] = \begin{bmatrix} k_{1,1} & k_{1,2} \\ k_{2,1} & k_{2,2} \end{bmatrix}; [F] = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix} \quad (2.2)$$

Persamaan 2.2 disubstitusikan pada persamaan 2.1 maka akan didapatkan :

$$(2.3)$$

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 + k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \end{Bmatrix}$$

## 2.3 Konsep Tegangan pada Struktur

### 2.3.1 Tegangan Aksial dan Tegangan Geser

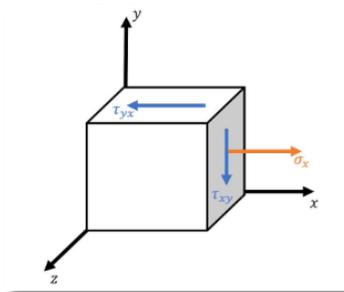
Tegangan aksial atau normal merupakan intensitas gaya pada suatu titik tertentu yang tegak lurus terhadap suatu penampang dan menghasilkan tegangan akibat adanya gaya tarik atau tekan. Tegangan geser (*shear stress*) adalah intensitas gaya pada suatu titik sejajar terhadap penampang

Berikut persamaan pada umumnya:

$$\sigma = \frac{p}{A} \quad (2.4)$$

Dimana:

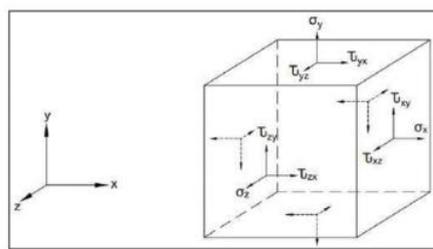
- $\sigma$  = Tegangan Aksial (Pa)
- P = Gaya yang bekerja (N)
- A = Luas penampang ( $m^2$ )



**Gambar 2. 7** Tegangan aksial ( $\sigma_x$ ) dan tegangan geser ( $\tau_{xy}, \tau_{yx}$ )

### 2.3.2 Tegangan Von Mises

Metode elemen hingga adalah salah satu metode untuk mendapatkan tegangan-tegangan yang terjadi pada setiap sisi untuk suatu elemen tiga dimensi. Cara untuk mengetahui acuan nilai tegangan maksimum yang terjadi pada *node* tertentu terhadap tegangan izin (*allowable stress*) atau tegangan lelehnya (*yield strength*) untuk menyelesaikan metode elemen hingga dalam menghitung seluruh komponen tegangan yang terjadi adalah menggunakan prinsip tegangan *Von mises*. *Von mises stress* atau tegangan uniaksial (*uniaxial stress*) adalah tegangan yang mengombinasikan tegangan-tegangan utama (normal dan geser) pada suatu elemen dan tidak memiliki arah.



**Gambar 2. 8** Komponen Tegangan dalam 3D

Gambar 2.8 menunjukkan komponen tegangan yang mungkin ada dalam sebuah benda 3 dimensi. *Von mises stress* adalah pengembangan dari teori energi distorsi dimana energi distorsi merupakan energi yang dibutuhkan oleh suatu material untuk mengalami deformasi bentuk. Jika suatu material terjadi distorsi akibat beban luar maka bentuk materialnya akan berubah tanpa mengubah volumenya. Tegangan *von mises* mengalkulasikan energi distorsi persatuan volume yang diperlukan kemudian digunakan hasilnya untuk mengalkulasikan tegangan ekuivalen yang mengakibatkan deformasi bentuk yang terjadi.

Jika suatu struktur memiliki tegangan atau energi distorsi *von mises* lebih besar dari tegangan atau energi distorsi yang diizinkan atau dibutuhkan untuk mencapai kondisi leleh (*yield strength*) maka struktur tersebut mengalami kegagalan. Tegangan *von mises* dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini dengan satuannya berupa Pa atau  $N/m^2$ .

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (2.5)$$

Dimana:

$\sigma_{eq}$  = Tegangan Ekuivalen *Von Mises* (Pa)

$\sigma_x$  = Tegangan Normal Sumbu X (Pa)

$\sigma_y$  = Tegangan Normal Sumbu Y (Pa)

$\sigma_z$  = Tegangan Normal Sumbu Z (Pa)

$\tau_{xy}$  = Tegangan Geser Bidang XY (Pa)

$\tau_{xz}$  = Tegangan Geser Bidang XZ (Pa)

$\tau_{zy}$  = Tegangan Geser Bidang YZ (Pa)

## 2.4 Konsep Regangan

Secara sederhana regangan atau *strain* dilambangkan dengan  $\epsilon$ . Regangan pada suatu benda terjadi jika benda mengalami perubahan panjang akibat diberikan beban secara aksial. Sama halnya dengan tegangan, regangan juga mengalami tekanan dan tarikan. Pada gambar 2.9 regangan ( $\epsilon$ ) didapat dengan membagi perpanjangan yang terjadi ( $\delta$ ) dengan panjang mula-mula ( $L_0$ ) dari suatu specimen. Rumus regangan adalah:

$$\epsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0} = \frac{\delta}{L_0} \quad (2.6)$$

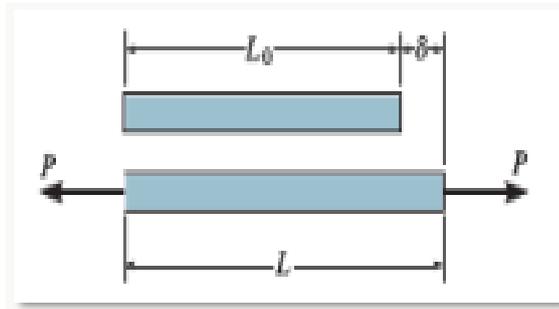
Dimana:

$\epsilon$  = Regangan

$L_0$  = Panjang mula-mula (m)

$L_1$  = Panjang Akhir (m)

$\delta$  = Perubahan Panjang (m)



**Gambar 2. 9** Perubahan Bentuk Karena Beban Tarik

### 2.5 Deformasi Struktur

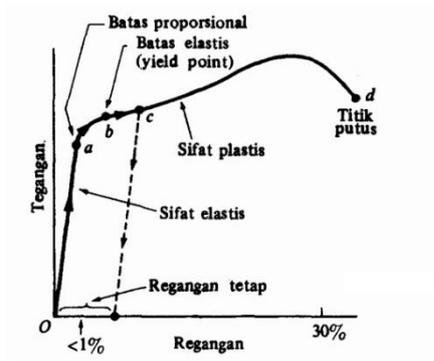
Secara garis besar bentuk persamaan dalam penyelesaian tegangan dan regangan untuk struktur dan bejana tekan didasarkan pada rumus dasar perhitungan kekuatan dalam konstruksi mekanik untuk daerah elastis seperti persamaan 2.4. Dimana P adalah besar gaya yang bekerja dan A adalah luas penampang yang tegak lurus terhadap arah kerja gaya.

Jika  $\epsilon$  adalah regangan rata-rata,  $\Delta L$  adalah besar pertambahan panjang dai L atau panjang mula-mula sebelum diberi gaya, maka nilai  $\epsilon$  yang dapat dihitung dengan persamaan 2.6. menggunakan Hukum *Hookie* persamaan 2.4 dan 2.6 dapat digabungkan menjadi:

$$F = \left(\frac{A \times E}{L}\right) \times \Delta L \tag{2.7}$$

Dimana:

- F = Gaya atau beban (lb)
- A = Luas penampang ( $in^2$ )
- E = Modulus elastsitas (psi)
- $\Delta L$  = Pertambahan panjang (in)



**Gambar 2. 10** Kurva Tegangan dan Regangan pada Material

Dari persamaan 2.7 menunjukkan hubungan antara beban, sifat bahan, geometri dan pergeseran yang ditimbulkan dapat disusun bentuk umum persamaan matrik. Untuk *problem* perhitungan deformasi akibat beban mekanik dapat diperoleh dengan menyelesaikan persamaan matrik serta memberikan syarat batas dan pembebanan pada persamaan sebagai berikut:

$$[K]\{u\} = \{F\} \tag{2.8}$$

Dimana:

- [K] = matrik kekakuan
- {u} = matrik pergeseran atau deformasi
- {F} = matrik beban

Singkatnya, pada metode elemen hingga, setiap persamaan disusun dan diurutkan menjadi sebuah matrik, dimana besar matrik yang dihasilkan (khusus untuk matrik kekakuan) adalah jumlah nodal yang dimiliki stuktur dikali dengan jumlah derajat kebebasan. Berikut ini adalah contoh persamaan yang disusun menjadi sebuah matrik dari suatu struktur yang memiliki 3 nodal, dimana tiap nodal memiliki 2 derajat kebebasan :

$$\begin{bmatrix} F_{1x} \\ F_{1y} \\ F_{2x} \\ F_{2y} \\ F_{3x} \\ F_{3y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} & K_{15} & K_{16} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} & K_{25} & K_{26} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34} & K_{35} & K_{36} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44} & K_{45} & K_{46} \\ K_{51} & K_{52} & K_{53} & K_{54} & K_{55} & K_{56} \\ K_{61} & K_{62} & K_{63} & K_{64} & K_{65} & K_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Berdasarkan bentuk persamaan matrik untuk tiap elemen dapat disusun bentuk persamaan matrik gabungan seperti di atas yang kemudian memberikan hasil deformasi pada setiap titik dan elemen. Penyelesaian metode elemen hingga dapat diselesaikan dengan perhitungan menggunakan bantuan *software ANSYS* untuk memperoleh hasil akhir berupa nilai deformasi pada seluruh titik elemen pada komponen dengan mengikuti langkah perhitungan.

## 2.6 Natural Frequency

*Natural frequency* atau bisa disebut dengan frekuensi alami adalah frekuensi dimana suatu sistem struktur yang memiliki massa dan kekakuan bergerak ketika diberikan suatu eksitasi awal kemudian eksitasi tersebut dihilangkan sehingga struktur tersebut bergetar secara bebas. Lalu bentuk perpindahan dari struktur tersebut bergetar ketika bergetar disebut dengan moda getar. Frekuensi getar dipengaruhi oleh properti fisik dari struktur, yaitu massa dan kekakuan. Rumus frekuensi natural adalah seperti dibawah ini.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.10)$$

## 2.7 Finite Element Method (FEM)

Metode elemen hingga adalah suatu metode numerik yang dipakai untuk menyelesaikan masalah dari suatu sistem kontinyu. Dasar dari metode elemen hingga adalah membagi benda kerja menjadi elemen-elemen kecil yang jumlahnya berhingga, oleh karena itu dapat menghitung reaksi akibat beban pada kondisi batas (*boundary condition*) yang diberikan. Dengan menggunakan metode ini kita dapat mengubah suatu masalah yang memiliki degree of freedom tertentu sehingga proses pemecahan masalah dapat lebih sederhana.

Metode elemen hingga ini sangat berguna dalam penyelesaian suatu struktur yang besar dan kompleks. Penyelesaian dengan metode elemen hingga ini menggunakan dua metode, yang pertama adalah metode perpindahan (*displacement method*) yaitu metode yang memilih perpindahan nodal (titik simpul) sebagai besaran yang tidak diketahui dalam menyelesaikan suatu persamaan dan yang kedua adalah metode gaya (*force method*) yaitu metode yang memilih gaya yang bekerja pada nodal sebagai besaran yang tidak diketahui dalam menyelesaikan suatu persamaan.

Metode elemen hingga dapat dilakukan dengan menggunakan *software ANSYS Workbench 2020 R2*. Langkah-langkah yang umum digunakan pada analisis elemen hingga adalah sebagai berikut:

1. Mendeskripsikan Masalah

Mendeskripsikan masalah dilakukan untuk penentuan jenis tipe simulasi yang akan digunakan. Untuk penelitian ini menggunakan simulasi static structural.

2. Pembuatan Geometri

Dalam menganalisa *finite element method* diperlukan geometri (obyek), material, dan menerapkan kondisi batas yang akan dianalisis.

### 3. Mendefinisikan Material

Menentukan material yang akan dipakai. Pada ANSYS *Workbench* 2020 terdapat banyak material yang dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan pengguna.

### 4. *Generate Mesh*

*Generate mesh* pada ANSYS berfungsi untuk menyatukan model secara otomatis tanpa menentukan ukuran dari *mesh*, ini bisa disebut dengan *default mesh*. Ukuran mesh dapat ditentukan sendiri sesuai dengan kebutuhan.

### 5. *Support dan Load*

*Support dan load* berfungsi untuk menentukan bagian yang akan menjadi *support* dan bagian yang akan menerima beban dari simulasi tersebut.

### 6. Mendapatkan Solusi

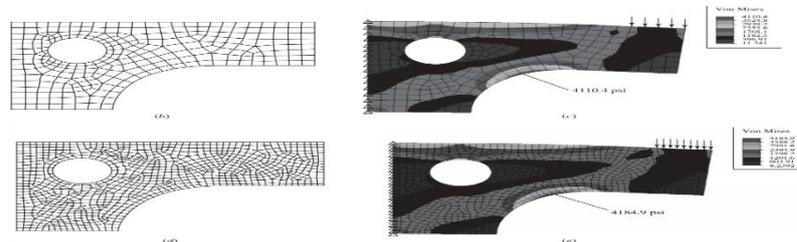
Solusi yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan oleh pengguna.

### 7. Meninjau Hasil

Hasil dapat ditampilkan dalam bentuk gambar, grafik, dan tubular data.

## 2.8 Meshing

Hubungan antara elemen dan *node* yang membedakan suatu wilayah disebut sebagai *mesh*. Kerapatan mesh meningkat karena lebih banyak elemen ditempatkan dalam wilayah tertentu. Perbaikan *mesh* elemen adalah ketika *mesh* elemen dimodifikasi dari satu analisis model ke analisis berikutnya untuk menghasilkan hasil yang lebih baik. Hasil umumnya meningkat ketika kerapatan mesh ditingkatkan di area gradien tegangan atau ketika zona transisi geometris disatukan dengan mulus. Secara umum, semakin tinggi kualitas *meshing* maka *finite element method* yang dilakukan akan lebih akurat. Contoh mesh elemen ditunjukkan pada gambar 2.11



**Gambar 2. 11 (a) Meshing Dengan 294 Elemen dan 344 Node (b) Meshing Dengan 1008 Elemen dan 1096 Node (Shigley, 2011)**

## 2.9 Teori Analisa Modal

Analisa modal adalah proses yang ditujukan untuk menentukan karakteristik dinamik dari suatu sistem struktur. Modal analisis dilakukan untuk menentukan frekuensi natural, redaman pada frekuensi natural, dan mode shape pada frekuensi natural (Pavol Lengvarský, 2013). Selain menentukannya, analisa modal juga mencakup penggunaan karakteristik - karakteristik tersebut untuk memformulasikan suatu model matematis dari perilaku dinamik suatu sistem struktur yang kita tinjau (Fu, 2001).

Mempertimbangkan efek dinamik dalam pembuatan desain juga cukup penting. Dengan menggunakan analisa modal, akan dapat diketahui bagaimana karakteristik dinamik. Analisa modal adalah analisa linear yang tidak memanfaatkan eksitasi atau beban. Mode frekuensi hanya bergantung terhadap dua variabel, yaitu kekakuan dan massa. Analisa modal memberikan informasi bagaimana desain struktur tersebut merespon tipe-tipe yang berbeda dari beban dinamik dan dapat digunakan contohnya untuk menghindari resonansi getaran yang dapat membahayakan struktur. Itulah mengapa analisa modal merupakan analisa

fundamental untuk semua analisa dinamik. Analisa modal juga merupakan dasar dari analisa dinamis linear lainnya seperti respon harmonik dan random vibration. Berikut adalah cara bagaimana frekuensi natural dan mode shapes dapat dikalkulasi. Persamaan gerak linear untuk free undamped vibration adalah:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\} \quad (2.11)$$

Dimana  $[M]$  adalah matriks massa,  $\{\ddot{u}\}$  adalah percepatan,  $[K]$  adalah matriks kekakuan, dan  $\{u\}$  adalah perpindahan. Dengan mengasumsikan gerak harmonik, vektor percepatan dan perpindahan dapat diwakilkan dengan dua persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned} \{u\} &= \{\emptyset\}_i \sin(\omega_i t + v_i) \\ \{\ddot{u}\} &= \omega_i^2 \{\emptyset\}_i \sin(\omega_i t + v_i) \end{aligned} \quad (2.12)$$

Setelah itu substitusikan persamaan percepatan dan perpindahan ke persamaan gerak linear, sehingga didapat *eigenvalue problems* sebagai berikut:

$$([K] - \omega_i^2 [M])\{\emptyset\}_i = \{0\} \quad (2.13)$$

Selesaikan bagian pertama ( $[K] - \omega_i^2 [M]$ ), maka akan didapatkan frekuensi natural. Kemudian selesaikan bagian kedua, akan didapatkan mode shapes  $\{\emptyset\}_i$ . *Eigenvalue* adalah hasil kuadrat dari frekuensi natural ( $\omega_i^2$ ). Sedangkan eigenvector adalah mode shapes atau mode getar dari struktur. Frekuensi natural ( $f_i$ ) dapat dihitung menggunakan rumus :

$$f_i = \frac{\omega_i}{2\pi} \quad (2.14)$$

## 2.10 Teori Analisa Harmonik

Analisa respon harmonik digunakan untuk mengetahui bagaimana respon *steady-state* dari struktur ketika dikenai beban yang bervariasi secara sinusoidal terhadap waktu. Berbeda dengan analisa dinamik transien, analisa respon harmonik tidak mendapatkan respon struktur dengan fungsi waktu. Namun akan didapatkan respon dinamis struktur dengan fungsi frekuensi. Oleh karena itu, interpretasi hasil analisis respon harmonik menjadi sangat berbeda dari analisa statis atau transien. Yang paling banyak dicari oleh para engineer dari analisis respon harmonic adalah resonansi, deformasi, tegangan, *noise* dan getaran berlebihan yang terjadi pada frekuensi tertentu. Untuk bisa menginterpretasi hasil dengan benar, butuh pemahaman tentang tujuan, konsep dan asumsi dari analisa respon harmonik. Dengan analisa harmonik, dapat dilakukan verifikasi apakah suatu desain dapat melewati resonansi, *fatigue*, dan efek berbahaya lain dari getaran paksa. Analisa harmonik digunakan secara luas pada bidang dirgantara, komponen-komponen mesin, peralatan elektronik, struktur jembatan. Dapat diketahui bahwa akan sangat berat secara kalkulasi untuk melakukan simulasi fungsi waktu dari struktur yang dikenai beban getaran. Analisa respon harmonik memberikan alternatif untuk menentukan respon puncak dari struktur dengan efisien. Namun ada beberapa asumsi dan batasan saat melakukan analisa respon harmonik. Asumsi yang pertama yaitu semua beban input bersifat sinusoidal dan memiliki frekuensi yang sama, dengan persamaan sebagai berikut:

$$F_i = F_i(\max) \sin(\omega_i t + \theta_i) \quad (2.15)$$

Dimana:

$F_i$  = Amplitudo

$\omega$  = Frekuensi

$\theta_i$  = Sudut fasa (*phase angle*)

Simbol  $i$  mengindikasikan beban yang berbeda. Amplitudo  $F_i(\max)$ , dan *phase angle* dapat berubah dengan beban yang berbeda, sementara frekuensi selalu sama.

Asumsi kedua, analisa harmonik ialah analisa dinamik. Efek transien tidak diperhitungkan. Analisa respon harmonik hanya menghasilkan respon *steady-state* dari struktur setelah dikenai beban harmonik dalam periode waktu yang lama. Dengan kata lain, kondisi awal atau getaran transien yang biasanya muncul ketika awal eksitasi tidak dapat dimasukkan dalam metode ini. Berikut adalah persamaan gerak yang akan diselesaikan dengan metode elemen hingga:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad (2.16)$$

Persamaan ini bersifat umum untuk semua analisa dinamis. Untuk analisa respon harmonik, mengingat gaya input bersifat sinusoidal, maka dapat diasumsikan jika respon dari struktur akan bersifat sinusoidal juga dengan frekuensi yang sama untuk gaya inputnya.

$$F_i = F_i(\max) \sin(\omega_i t + \theta_i) \quad (2.17)$$

$$F_i = F_i(\max) \sin(\omega_i t + \phi_i) \quad (2.18)$$

Dapat dilihat bahwa notasi *phase angle* yang digunakan untuk input dan output berbeda. Perbedaan input dan output *phase angle* tersebut dapat disebabkan oleh fenomena *out of phase* tadi atau karena damping yang ditambahkan ke sistem struktur. Perbedaan input dan output *phase angle* tersebut disebut *phase shift* yang menunjukkan sebesar apa perbedaan bentuk gelombang input dengan output pada struktur tersebut.

Kesimpulannya, input dan output dari analisa respon harmonik bersifat sinusoidal yang berada di frekuensi eksitasi yang sama. Yang akan dikalkulasi adalah amplitudo dari respon dan *phase angle*. Satu hal penting lainnya, meskipun dapat dikatakan hasil dari analisa respon harmonik bersifat sinusoidal, hal tersebut hanya dapat diaplikasikan untuk direct result seperti *directional displacement*, *normal stress/strain*, dan *shear stress/strain*. Untuk hasil penurunan lainnya seperti deformasi total, *principal stress/strain*, *equivalent stress/strain* harus melalui penyelesaian lanjutan. Seperti pada total deformasi, yang bisa dihitung dari akar kuadrat penjumlahan dari deformasi yang terjadi pada setiap sumbu seperti pada persamaan berikut:

$$u_{Total} = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2} \quad (2.19)$$

Meskipun begitu, komponen  $u_x$ ,  $u_y$ , dan  $u_z$  semua bersifat sinusoidal. Hasil kalkulasi  $u_{Total}$  mungkin tidak bersifat sinusoidal karena kemungkinan adanya perbedaan *phase angle* pada komponen deformasinya yang dapat membuat periodik namun tidak sinusoidal. Begitupun juga dengan *principal stress/strain* dan *equivalent stress/strain*.

Ada tiga hasil yang dapat dicari dengan simulasi *harmonic analysis*, yaitu plot respon frekuensi, respon fasa, dan plot kontur seperti terlihat pada gambar 2.10. Plot respon frekuensi menghasilkan grafik nilai kuantitas (deformasi, tegangan, kecepatan, dan percepatan) terhadap rentang frekuensi untuk mengidentifikasi frekuensi kritis. Phase response menghasilkan grafik jeda antara respon input dan output. Plot kontur menghasilkan distribusi tegangan, strain, dan lain-lain pada frekuensi yang ditentukan (umumnya pada frekuensi kritis

dimana amplitudo paling besar terjadi). Ketika sistem bereksitasi di frekuensi natural, sistem bisa mengalami resonansi dan bergetar dengan amplitudo cenderung menuju tak hingga (infinite). Untuk menangkap respon dengan finite number, penting untuk memasukan nilai damping kecil untuk membuat respon semakin realistis. Nilai damping juga menyebabkan jeda antara getaran sistem dan responnya.

### 2.11 Safety Factor

Faktor keamanan adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi keamanan dari suatu bagian mesin. Untuk menghindari terjadinya keruntuhan struktur (*structure-failure*) maka kekuatan sebenarnya dari suatu bahan haruslah melebihi kekuatan yang dibutuhkan. Perbandingan dari kekuatan sebenarnya terhadap kekuatan yang dibutuhkan disebut faktor keamanan (*factor of safety*) yang dirumuskan :

$$Sf = \frac{\text{Yield Strength Material}}{\text{Tegangan Von - mises Maksimum}} \quad (2.20)$$

Faktor kermanan harus lebih besar dari 1,0 untuk menghindari terjadinya kegagalan atau keruntuhan struktur. Nilai kisaran faktor keamanan berkisar antara 1,0 hingga 10. Keruntuhan struktur dapat diartikan patah atau deformasinya telah melampaui beberapa nilai batas hingga strukturnya tidak lagi mampu memperlihatkan fungsinya yang diharapkan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini diharapkan tegangan *von-mises* yang terjadi pada *swingarm* lebih kecil dari tegangan luluh material agar menghindari terjadinya keruntuhan struktur.

## 2.12 Penelitian Terdahulu

### 2.12.1 Penelitian Tentang *Finite Element Analysis Based Vibration Behavior on Warren Truss Bridge*

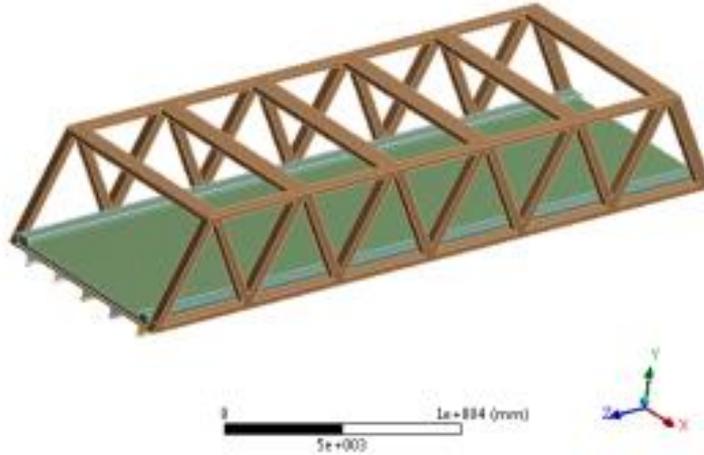
Penelitian terdahulu kali ini dilakukan oleh Ashuvendra Singh, Faraz Ahmad, dan Nitish Kumar Saini pada tahun 2019 yang dilakukan di *Department of Mechanical Engineering, Dev Bhoomi Institute of Technology, Dehradun, Uttarakhand, India* dengan judul "*Finite Element Analysis Based Vibration Behavior on Warren Truss Bridge*" yang membahas tentang perilaku getaran pada jembatan rangka menggunakan analisis elemen hingga dan untuk memberikan keamanan. Untuk material yang digunakan pada struktur jembatan yaitu *structural steel*. Perangkat lunak yang digunakan untuk penelitian ini menggunakan CATIA untuk mendesain struktur jembatan dan ANSYS untuk menganalisa.

**Tabel 2. 1** Spesifikasi Material

<b>Materials</b>	<b>Density (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Young's Modulus (GPa)</b>	<b>Poisson ratio</b>
Structural steel	7850	200	0.3

Geometry  
21-Mar-19 12:24 PM

ANSYS  
14.0



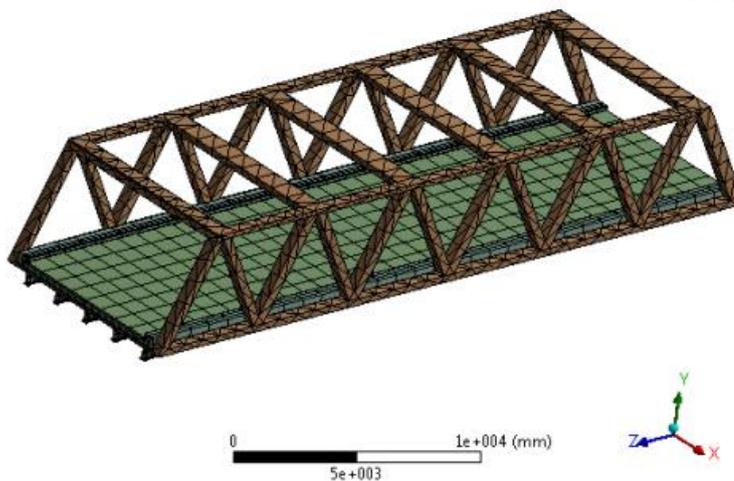
**Gambar 2. 12** Model 3D Geometri Jembatan

Pada gambar 2.12 adalah model 3D geometri jembatan yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

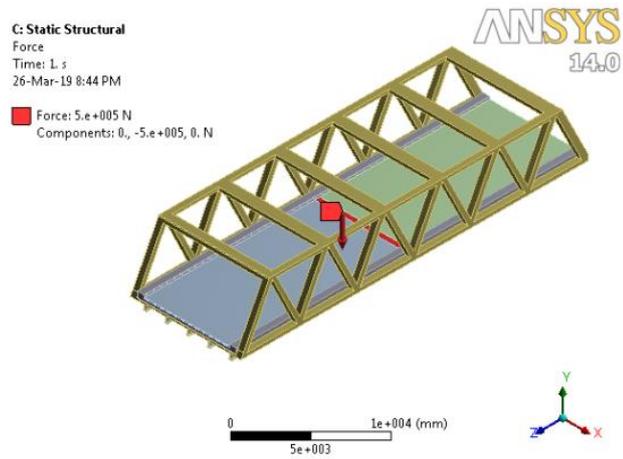
- *Type of Bridge* : Warren Truss
- *Length* : 30 m
- *Carriage width* : 7,5 m
- *Height* : 5 m

Ada tiga langkah untuk mencari von-mises yaitu pre-processing, solution, dan post processing. Pada pre-processing meliputi mendefinisikan domain geometris dari masalah, jenis elemen yang digunakan, material yang dipakai, menyatukan model, meshing, kondisi batas, dan melakukan pembebanan.

ANSYS  
14.0



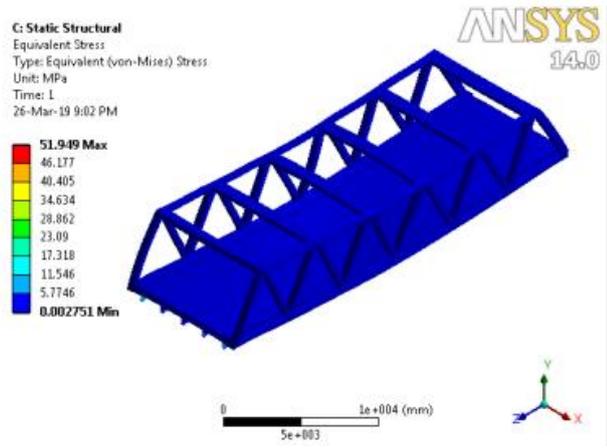
**(a)**



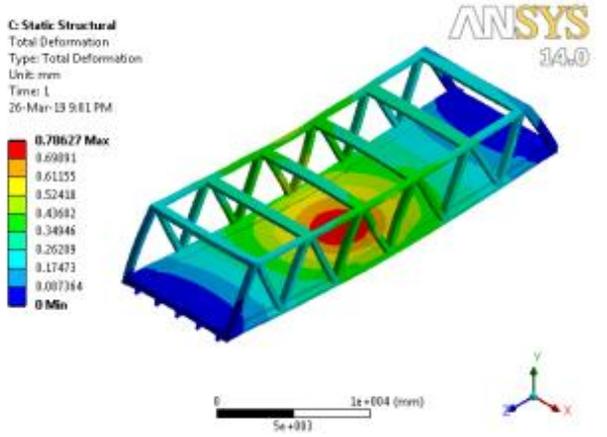
(b)

**Gambar 2. 13 (a) Meshing (b) Boundary Condition**

Pada gambar 2.13(a) *Meshing* dilakukan pada model jembatan dengan *nodes* sebesar 82840 dan 39573 elemen. Pada gambar 2.13(b) model struktur jembatan dibebani oleh gaya statis yang diberikan gaya pada bagian tengah jembatan sebesar 500 kN. Setelah itu melakukan *running* simulasi *static structural analysis*. Berikut merupakan hasil dari pengujian *static structural* pada gambar 2.14



(a)



(b)

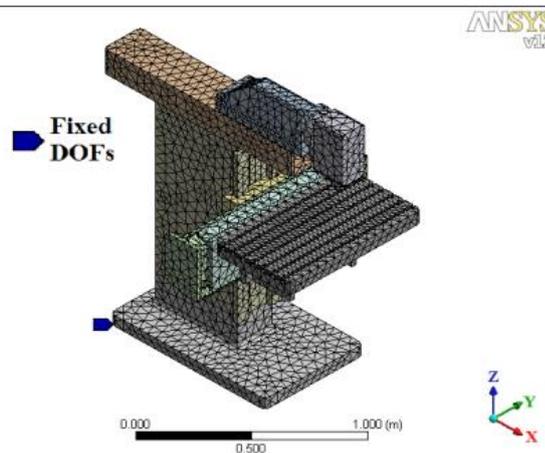
**Gambar 2. 14 (a) Equivalent Stress Von-Mises (b) Total Deformation**

Hasil analisis dari struktur jembatan menggunakan material *structural steel* yaitu *equivalent stress von-mises* sebesar 51,949 MPa sehingga terdapat deformasi maksimum sebesar 0,70627. Dimana jika diuji dengan analisa statis desain ini sangat aman untuk digunakan.

### 2.12.2 Penelitian Tentang *Modal Analysis of The Milling Machine Structure Through FEM and Experimental Test*

Penelitian ini dilakukan oleh S.Pedrammehr, H Farrokhi, A Khani Syekh Rajab, dan kawan-kawan pada tahun 2013 dari Fakultas Teknik Mesin, Universitas Tabriz, Iran. Penelitian ini berjudul “*Modal Analysis of the Milling Machine Structure Through FEM and Experimental Test*” yang menjelaskan tentang pengujian dinamis menggunakan analisa modal. Dari penelitian ini dapat diambil sebuah pemahaman yaitu mengenai frekuensi natural dan bentuk mode pada struktur mesin penggilingan dari analisis modal melalui *Software ANSYS Workbance 2020 R2*.

Berikut adalah model mesin penggiling yang didesain menggunakan *Software CATIA* dan model tersebut dilanjutkan pada ANSYS.



**Gambar 2. 15** Model Mesin Penggiling dan *Meshing*

Analisa modal telah dilakukan pada model struktur mesin penggiling dan frekuensi natural modal yang dianalisis ditunjukkan pada tabel 2.2

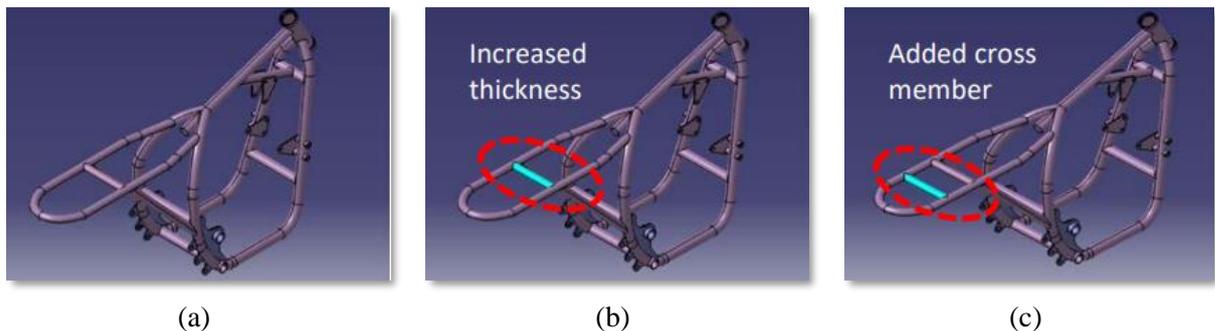
**Tabel 2. 2** *Natural Frequency* yang Diperoleh dari Analisis Modal

Mode No.	Natural freq.	Mode No.	Natural freq.
1	61.10	16	842.00
2	100.46	17	850.30
3	109.71	18	872.85
4	169.20	19	877.37
5	189.26	20	894.90
6	233.09	21	1047.90
7	312.70	22	1095.10
8	347.10	23	1130.50
9	362.05	24	1163.20
10	460.45	25	1185.10
11	534.68	26	1317.20
12	553.06	27	1366.00
13	584.38	28	1423.10
14	701.21	29	1440.50
15	745.30	30	1504.60

### 2.12.3 Penelitian Tentang Analisis Modal Struktur *Chassis* Sepeda Motor

Penelitian ini dilakukan oleh YJ Wong, AB Syahrman, A Rahman, I Azizul Aziz, dan kawan-kawan lainnya pada tahun 2021 dari Fakultas Teknik Mesin, Universitas Malaysia Perlis yang berjudul “*Study on Modal and Harmonic Response Analysis by Modifying Motorcycle Chassis using Finite Element Method*” penelitian ini bertujuan untuk memodelkan sasis sepeda motor dan melakukan analisis dinamik untuk memahami sasis ketika mengalami getaran. Pada penelitian sasis sepeda motor ini material yang digunakan adalah baja karbon rendah. Analisa modal dan analisa respon harmonik ini dilakukan menggunakan *Software ANSYS*.

Sasis yang digunakan dalam penelitian ini ada tiga model seperti gambar 2.19

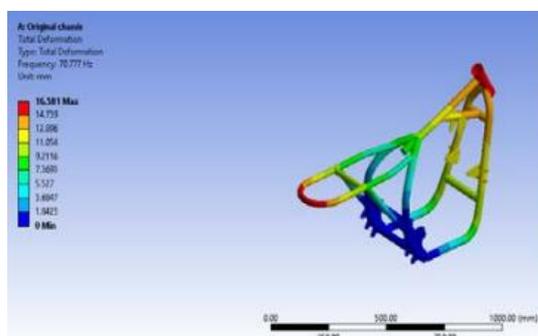


**Gambar 2. 16** *Motorcycle Chassis* (a) Original (b) Modifikasi 1 (c) Modifikasi 2

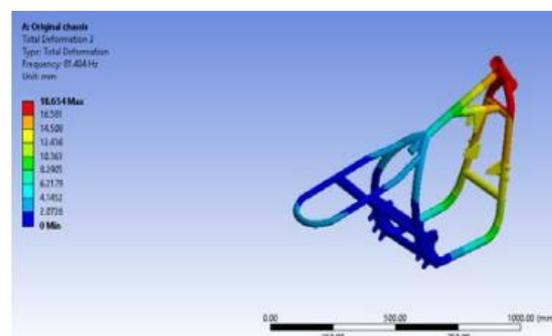
Dalam analisis modal, ada enam mode getaran yang dipelajari dalam analisis ini. Pada tabel 2.3 menunjukkan *natural frequency*, dan deformasi maksimum pada sasis sepeda motor. Pada Gambar 2.17 mengilustrasikan bentuk mode sasis dengan *natural frequency* yang berbeda-beda.

**Tabel 2. 3** Mode Shape, Natural Frequency, Maximum Deformation of Original Chassis

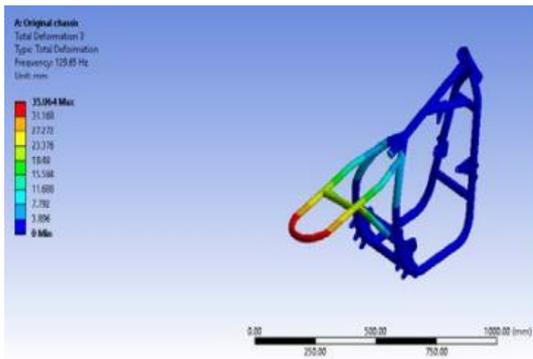
Mode	Natural Frequency (Hz)	Max Deformation (mm)
1	70.777	16.581
2	81.424	18.654
3	129.650	35.064
4	141.910	35.354
5	183.050	24.484
6	215.120	53.389



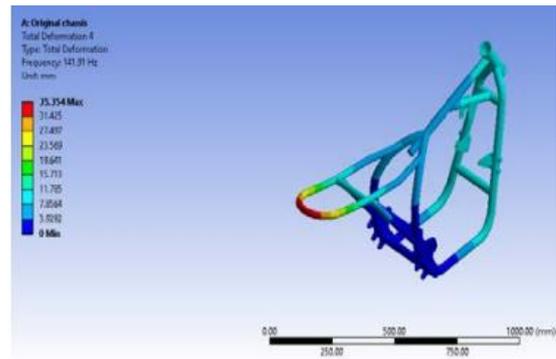
(a) First mode at 70.777 Hz



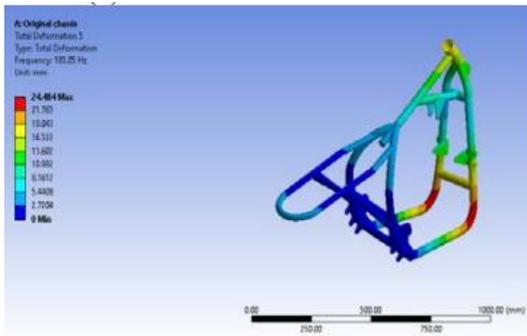
(b) Second mode at 81.424 Hz



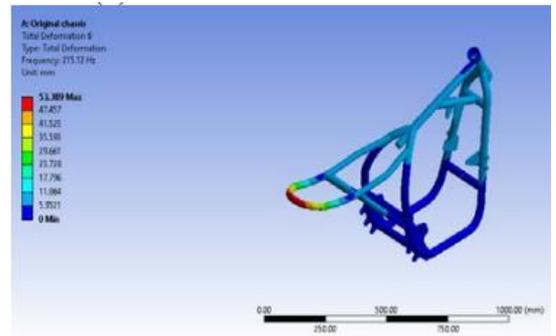
(c) Third mode at 129.65 Hz



(d) Fourth mode at 141.91 Hz



(e) Fifth mode at 183.05 Hz



(f) Sixth mode at 215.12 Hz

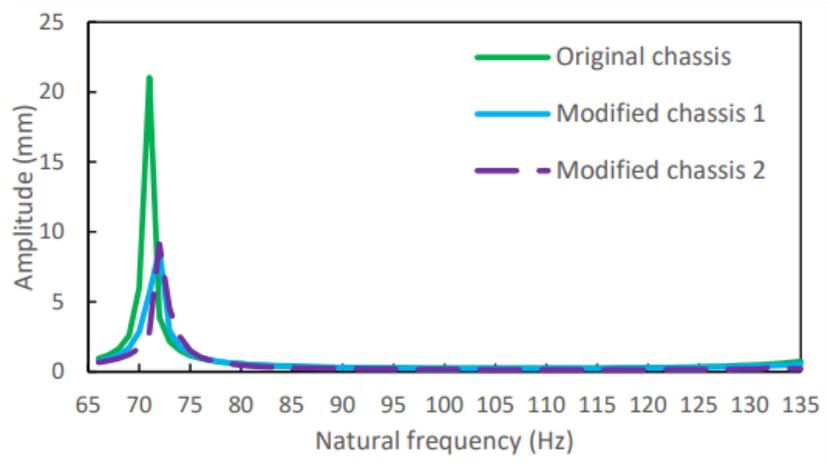
**Gambar 2. 17** Mode Shape Original Chassis

Pada tabel 2.4 menunjukkan perbandingan frekuensi natural untuk sasis asli, sasis modifikasi 1, sasis modifikasi 2. Frekuensi natural sasis 1 yang dimodifikasi lebih tinggi dari sasis asli karena efek penebalan yang akan meningkatkan frekuensi natural dari sasis tersebut. Pada modifikasi sasis 2 frekuensi natural yang dihasilkan paling tinggi dari ketiga model sasis tersebut. Berikut adalah hasil dari analisa modal dari ketiga model sasis sepeda motor.

**Tabel 2. 4** Hasil Analisa Modal pada Ketiga Model *Chassis Motorcycle*

Mode	Natural Frequency (Original) (Hz)	Natural Frequency (Modification (1)) (Hz)	Natural Frequency (Modification (2)) (Hz)
1	70.777	71.502	72.437
2	81.424	81.724	82.504
3	129.65	130.64	132.09
4	141.91	143.8	149.54
5	183.05	183.22	183.85
6	215.12	218.43	281.65

Pada gambar 2.18 hasil grafik dari simulasi *harmonic response* menguraikan kurva respon frekuensi dari sasis asli dan yang dimodifikasi untuk orientasi deformasi sumbu-z. dapat diamati bahwa sasis asli menghasilkan amplitudo maksimum 21,045 mm pada frekuensi 71 hz. Selain itu, kedua modifikasi menunjukkan penurunan amplitudo deformasi yang signifikan jika dibandingkan dengan sasis aslinya. Jika natural frekuensi menjadi pertimbangan utama, modifikasi dua dapat diterapkan dengan memasukkan anggota silang tambahan sasis dimana deformasi pada bagian tertentu tinggi. Akhirnya, ketika fokusnya adalah respon frekuensi sasis, amplitudo getaran modifikasi satu sedikit lebih rendah daripada modifikasi dua.

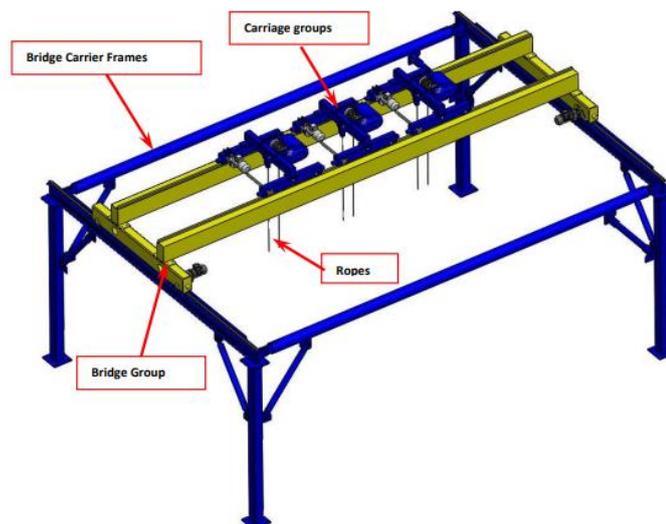


**Gambar 2. 18** Perbandingan Plot Respon Frekuensi Antara Sasis Asli dan Modifikasi

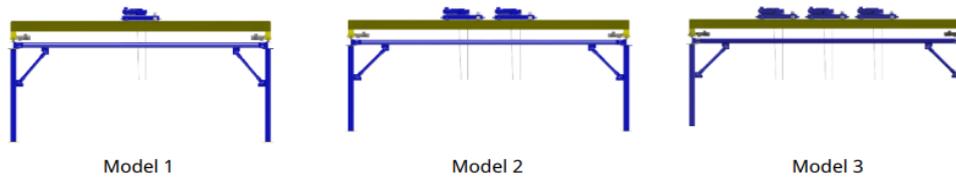
#### 2.12.4 Penelitian Mengenai *Harmonic Response Analysis of Double Bridge Crane System on Multi Carriages*

Penelitian terdahulu ini dilakukan oleh Sahin Yildirim dan Emir Esim pada tahun 2019 yang berjudul “*Harmonic Response Analysis of Double Bridge Crane System on Multi Carriages*” yang menjelaskan tentang saat merancang sistem mekanis, perlu untuk menentukan karakteristik sistem dan menguji kualifikasinya. Oleh karena itu, metode analisis dinamis seperti analisis modal, analisis harmonik respon digunakan untuk menentukan karakteristik sistem. Untuk model yang dipakai pada penelitian ini ada tiga model yang sudah di desain menggunakan *Solidwork* dan diuji menggunakan *Software ANSYS*.

Sistem *Crane* terdiri dari banyak substruktur seperti *bridge carrier*, *bridge*, *lifting group* seperti pada gambar 2.19

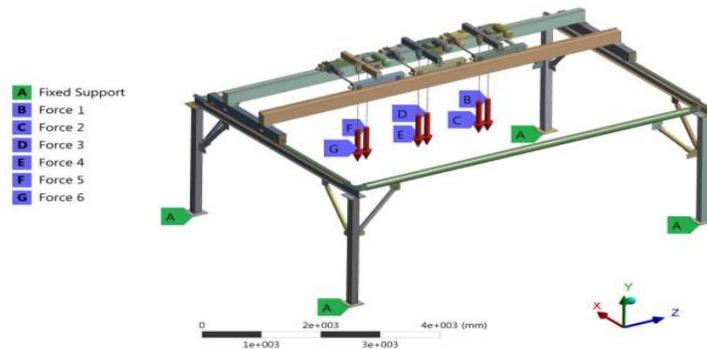


**Gambar 2. 19** Desain Three-Carriages Crane System



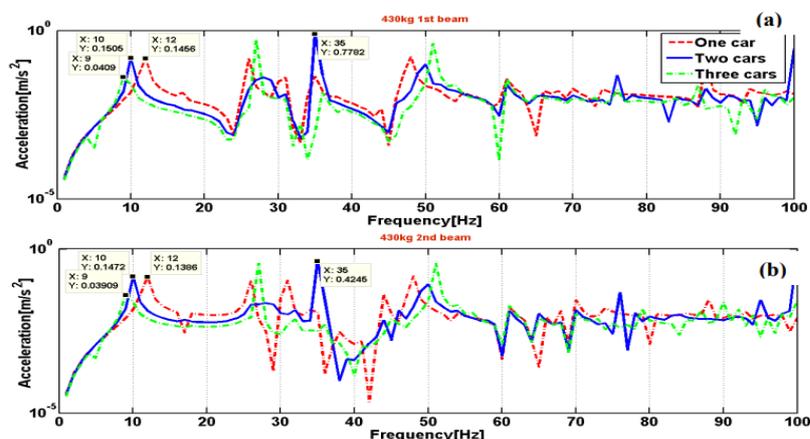
**Gambar 2. 20** Tiga Model yang Diusulkan untuk Analisa Harmonik

Sistem derek ini sangat rentan terhadap regangan selama pengangkatan beban. Analisis harmonik dilakukan menggunakan ANSYS untuk menentukan respon. Untuk material yang digunakan adalah baja struktural. Dalam analisa harmonik ini diasumsikan bahwa sistem derek dipasang ke tanah dari pelat yang terletak dibawah *bridge carrier* yang bersentuhan dengan tanah. Pada saat yang sama, pengait dihilangkan dari tali dan pengait untuk penerapan gaya pada sistem tersebut, dan pada saat yang sama tali dibagi menjadi dua untuk menerapkan beban. Gaya diterapkan pada ujung tali sesuai dengan ukuran beban yang diangkat. Berikut adalah *boundary condition* yang diterapkan untuk analisis harmonik.



**Gambar 2. 21** *Boundary Condition* untuk Analisis Harmonik

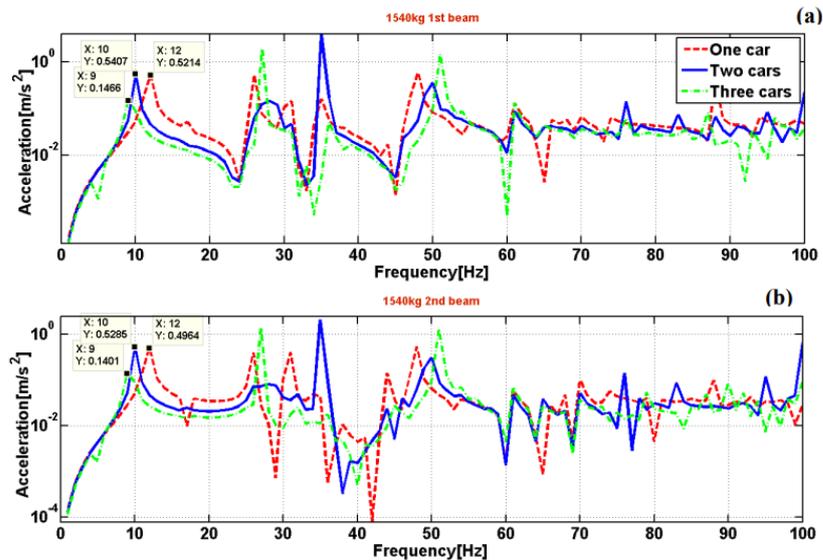
Pada analisis ini, hasil yang diperoleh dari banyak titik sistem derek. Namun, reaksi titik tengah pada balok jembatan dari sistem derek merupakan parameter penting yang dipertimbangkan dalam konstruksi derek. Untuk alasan ini, hasil akselerasi sebagai respon terhadap frekuensi yang terjadi ditengah balok jembatan dipertimbangkan. Efek dari sistem derek menurut kondisi kerja yang disebutkan diatas disajikan dalam grafik. Mempertimbangkan jumlah troli pada sistem derek, beban diangkat pada 430kg dan di tengah jembatan, respon frekuensi balok diberikan pada gambar 2.21.



**Gambar 2. 22** Frekuensi Respon dari *Crane Beam* dalam Kasus gerobak Ditengah Jembatan dan Diberikan Beban Sebesar 430 kg.

Dalam kasus gerobak ditengah jembatan, dapat dipahami bahwa jumlah gerobak yang bervariasi menyebabkan mode yang berbeda terbentuk pada balok sementara mode terjadi di frekuensi yang sama.

Ketika beban dinaikkan menjadi 1540 kg dan diangkat dari tengah jembatan, perubahan percepatan balok menurut frekuensi pada gerobak yang berbeda ditunjukkan pada gambar 2.23.



**Gambar 2. 23** Frekuensi Respon dari *Crane Beam* dalam Kasus gerobak Ditengah Jembatan dan Diberikan Beban Sebesar 1540 kg.

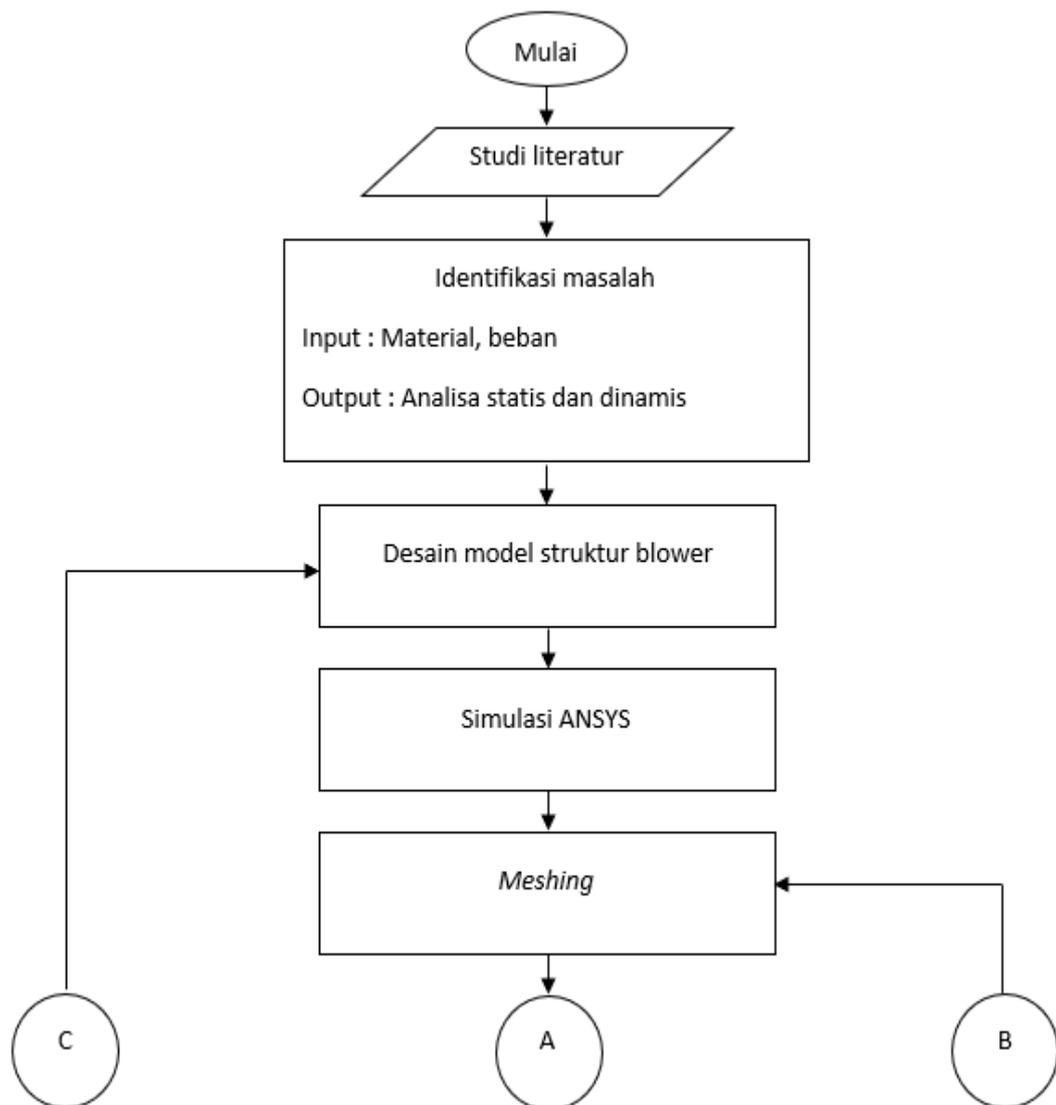
Ketika dievaluasi dalam bentuk balok, dapat dipahami dari grafik bahwa ada reaksi dengan amplitudo yang berbeda pada frekuensi yang sama. Sebagai contoh, ketika kotak troli diperiksa, dapat dipahami bahwa nilai frekuensi pertama pada balok pertama dan balok kedua bereaksi pada 12 Hz atau sekitar 0,5214 m/s<sup>2</sup> dan 0,4964 m/s<sup>2</sup>. Jika dibandingkan dengan 430 kg untuk posisi yang sama, dapat dipahami bahwa karakteristik getaran yang sama terjadi untuk kedua balok tetapi amplitudonya meningkat sehubungan dengan beban.

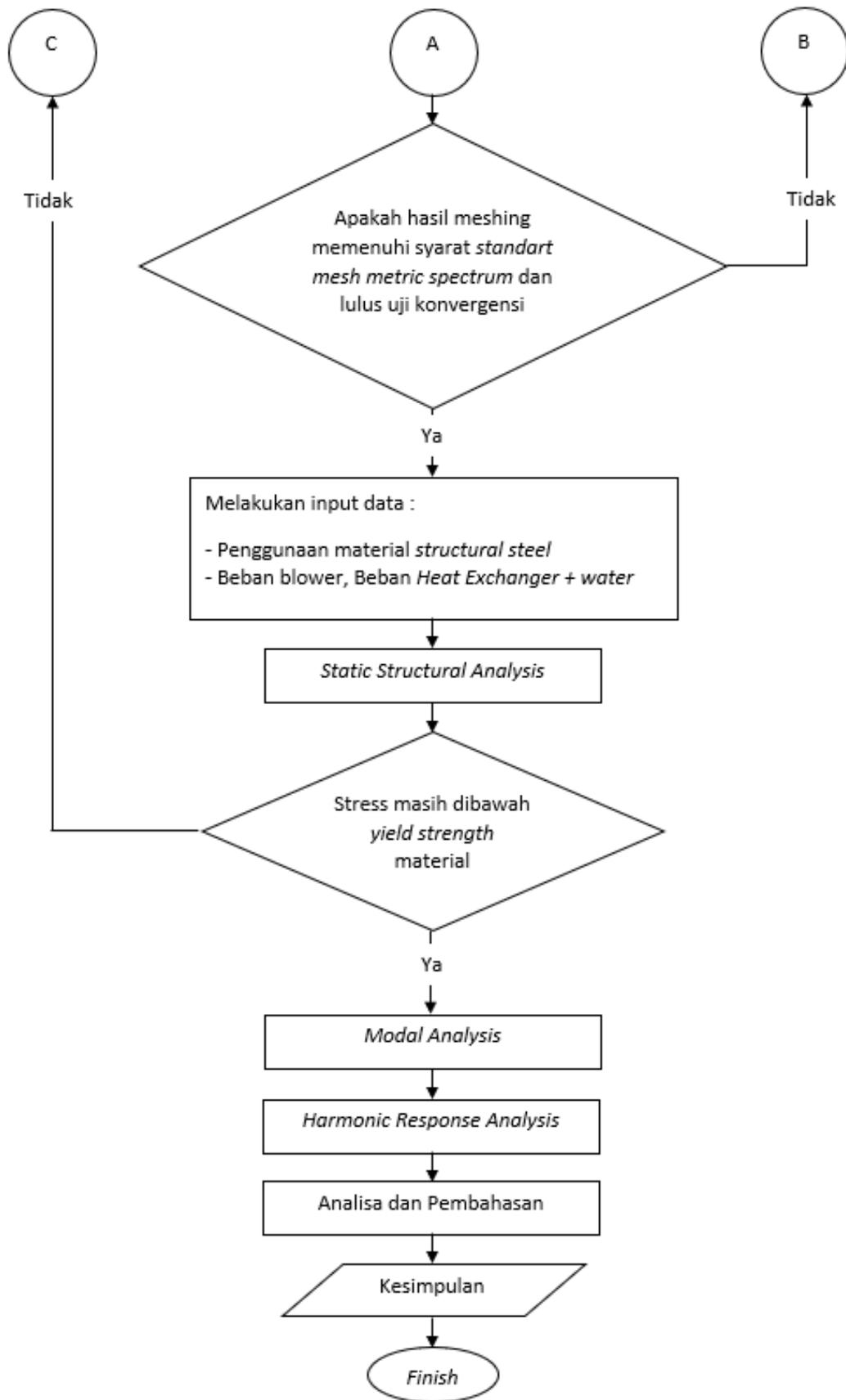
*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan untuk mengetahui dan menganalisa respon statis dan dinamis dari desain struktur blower dan divariasikan jenis materialnya. Dalam proses analisis dilakukan beberapa langkah yang ditunjukkan dengan diagram alir pada 3.1 dibawah ini.





**Gambar 3. 1** Diagram Alir Penelitian

## 3.2 Penjelasan Tahap Penelitian

### 3.2.1 Studi Literatur

Sebelum penelitian tugas akhir ini dilakukan, maka perlu dilakukan studi literatur dan mencari referensi yang terkait dengan penelitian ini. Literatur dan referensi tersebut antara lain mengenai *multi degree of freedom*, *finite element method*, dan karakteristik dari struktur blower. Berbagai sumber tersebut didapatkan dari buku, jurnal internasional, dan tugas akhir.

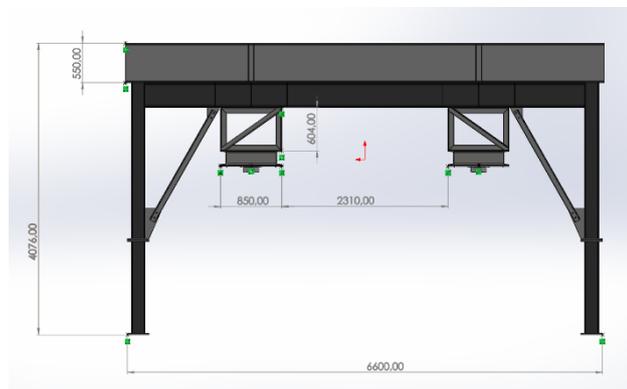
### 3.2.2 Identifikasi Masalah

Pada penelitian tugas akhir ini, masalah yang diidentifikasi dibagi menjadi dua bagian, yaitu *input* dan *output*. *Input* merupakan masukan yang diberikan pada penelitian ini, yaitu berupa desain modifikasi struktur blower, material struktur blower, dan beban blower. Pada desain eksisting ada indikasi terjadinya resonansi pada kedua unit fan yang disebabkan oleh *forcing frequency* yang mengeksitasi struktur kemudian dilakukan modifikasi dengan adanya penambahan beam untuk menggeser natural frekuensi agar jauh dari frekuensi eksitasi. Sedangkan *output* merupakan hasil yang didapatkan dalam penelitian ini, yaitu berupa respon statis dan dinamis pada struktur blower.

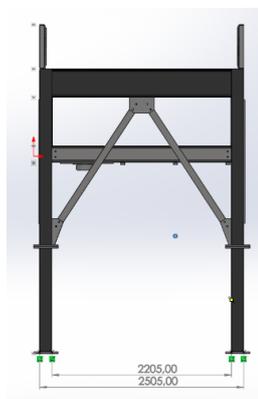
### 3.2.3 Desain dan Material Struktur Blower

#### 3.2.3.1 Desain Eksisting Struktur Blower

Berikut merupakan desain eksisting dari struktur blower :



(a)

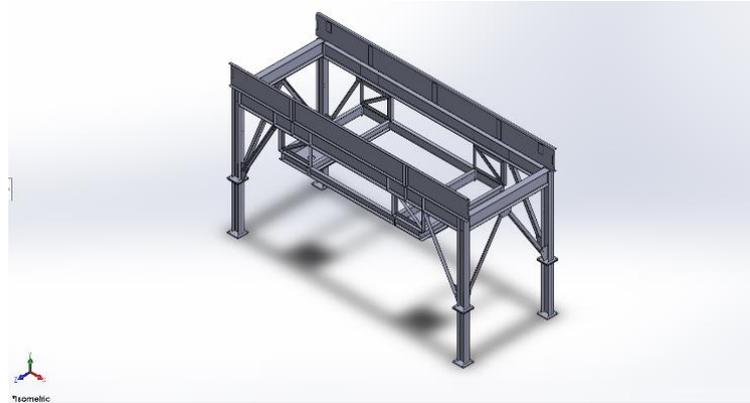


(b)

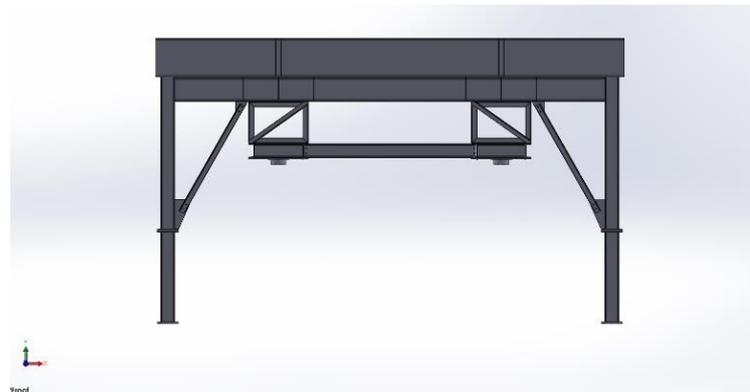
**Gambar 3. 2** Desain Eksisting Struktur Blower (a) Tampak Depan (b) Tampak Samping

**3.2.3.2 Modifikasi 1 Struktur Blower**

Berikut merupakan desain modifikasi 1 dari struktur blower :



(a)

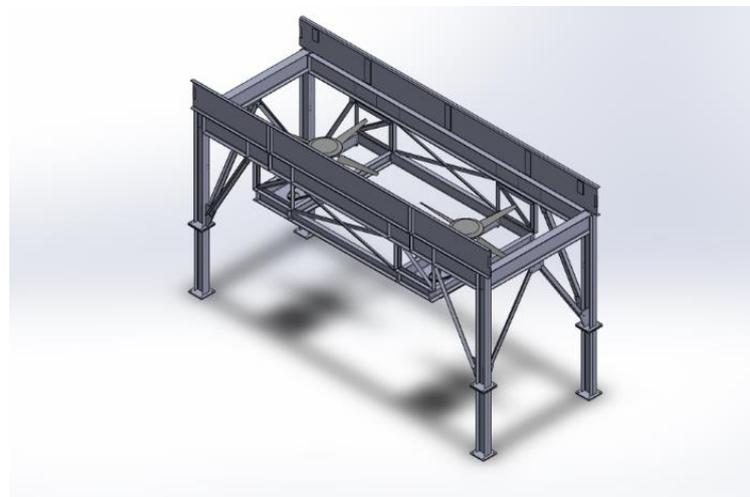


(b)

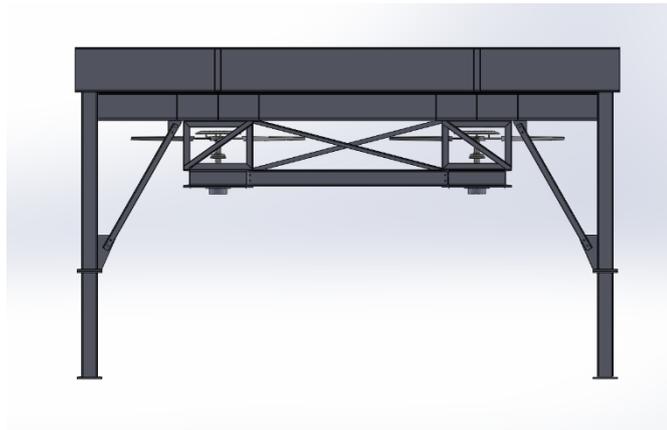
**Gambar 3. 3** Desain Modifikasi 1 Struktur Blower (a) Tampak Isometri (b) Tampak Depan

**3.2.3.3 Modifikasi 2 Struktur Blower**

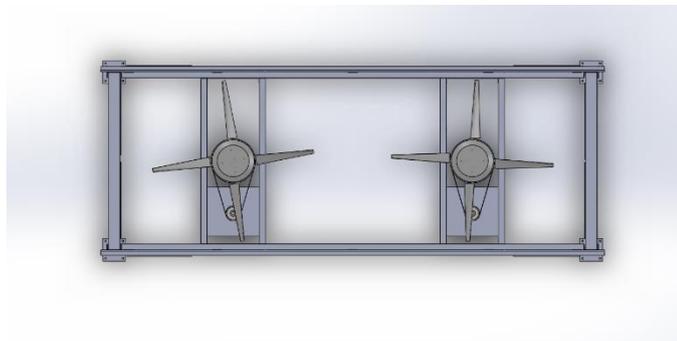
Berikut merupakan modifikasi 2 dari struktur blower :



(a)



(b)



(c)

**Gambar 3. 4** Desain Modifikasi 2 Struktur Blower (a) Tampak isometri (b) Tampak depan (c) Tampak atas

Dapat dilihat pada gambar 3.2 merupakan desain eksisting pada struktur blower. Pada gambar 3.3 merupakan desain modifikasi 1 dengan adanya penambahan beam pada bagian antara fan 1 dan fan 2. Sedangkan pada gambar 3.4 terdapat modifikasi 2 pada desain dengan adanya penambahan beam pada bagian antara fan 1 dan fan 2 dan *cross beam* pada struktur. Dimana modifikasi ini bertujuan untuk menggeser natural frekuensi agar jauh dari frekuensi eksitasi.

### 3.2.3.4 Spesifikasi Material

Pada penelitian struktur blower, material yang digunakan adalah *structural steel*. Material ini dipilih karena ketersediaan material di pasaran indonesia, mudah untuk mendapatkan dan harga yang terjangkau.

Berikut adalah properties material *structural steel* yang akan digunakan dalam uji simulasi.

**Tabel 3. 1** Structural Steel Mechanical Properties

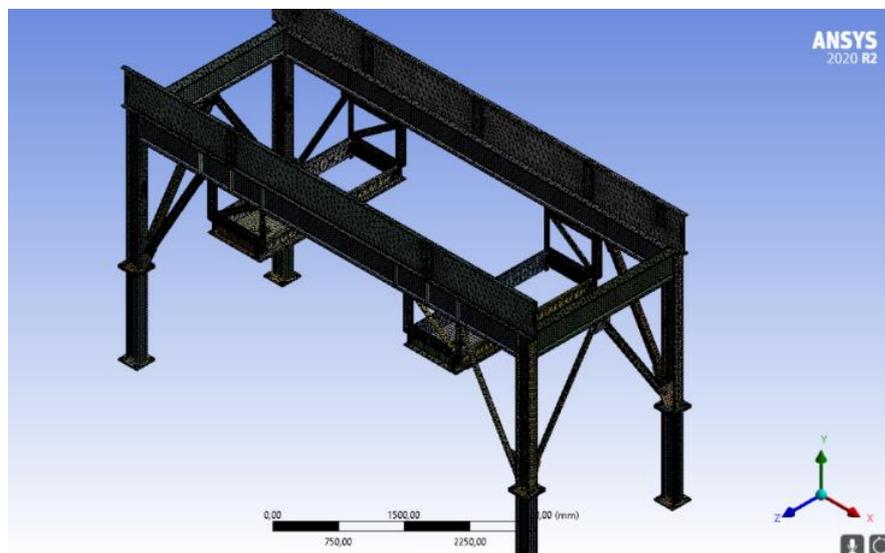
Mechanical Properties	Metric
Tensile Strenght, Ultimate	400 – 550 Mpa
Tensile Strenght, Yield	250 Mpa
Elongation at Break (in 200 mm)	20.0 %
Elongation at Break (in 50 mm)	23.0 %

Mechanical Properties	Metric
Modulus of Elasticity	200 Gpa
Bulk Modulus (typical for steel)	140 Gpa
Poissons Ratio	0.260
Shear Modulus	79.3 GPa

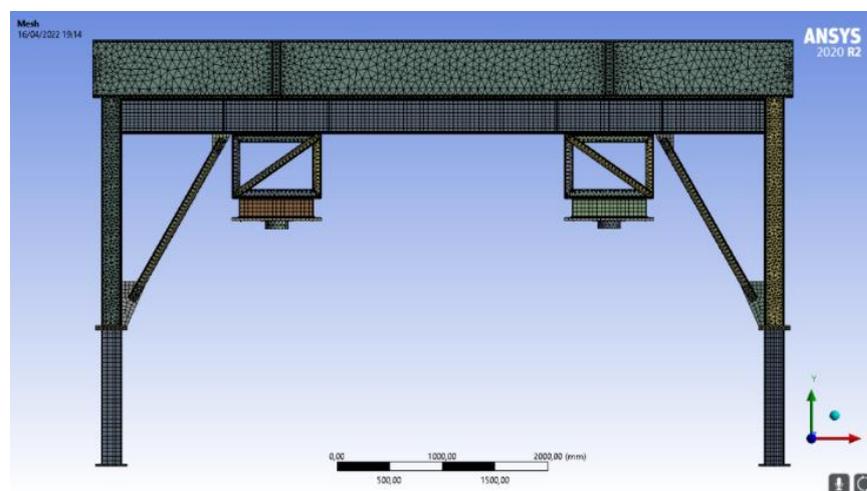
### 3.2.4 Meshing

Meshing adalah bagian integral dari proses simulasi teknik yang dimana geometri kompleks dibagi menjadi elemen sederhana yang dapat digunakan sebagai pendekatan lokal diskrit dari domain yang lebih besar.

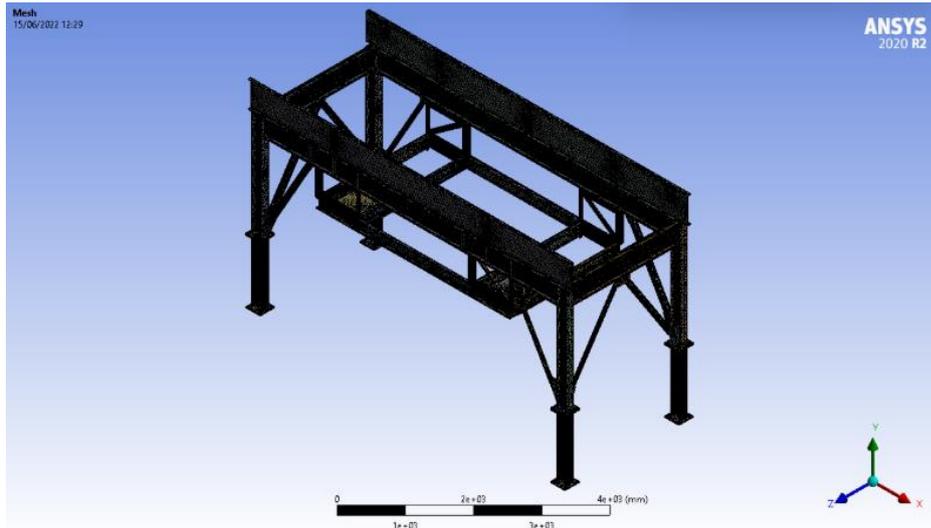
Sebelum melakukan meshing, dilakukan face cleaning agar hasil dari mesh dari geometri menghasilkan nilai yang bagus. Metode meshing yang digunakan pada simulasi ini adalah patch independent. Proses Meshing sangat mempengaruhi hasil simulasi yang telah dilakukan, oleh karena itu proses meshing dilakukan pengaturan parameter sesuai dengan kebutuhan penelitian. Model yang dianalisa adalah model struktur blower.



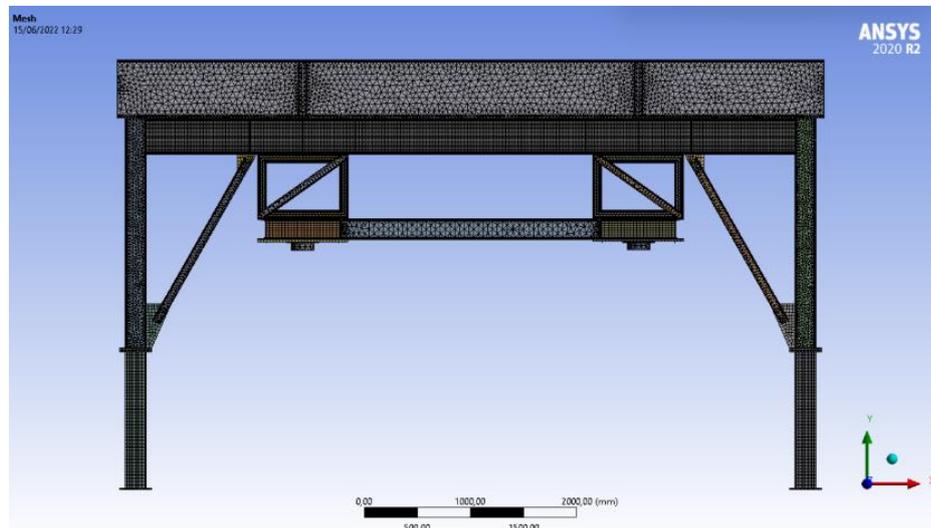
**Gambar 3. 5** Tampak Isometri Meshing pada Desain Eksisting Struktur Blower



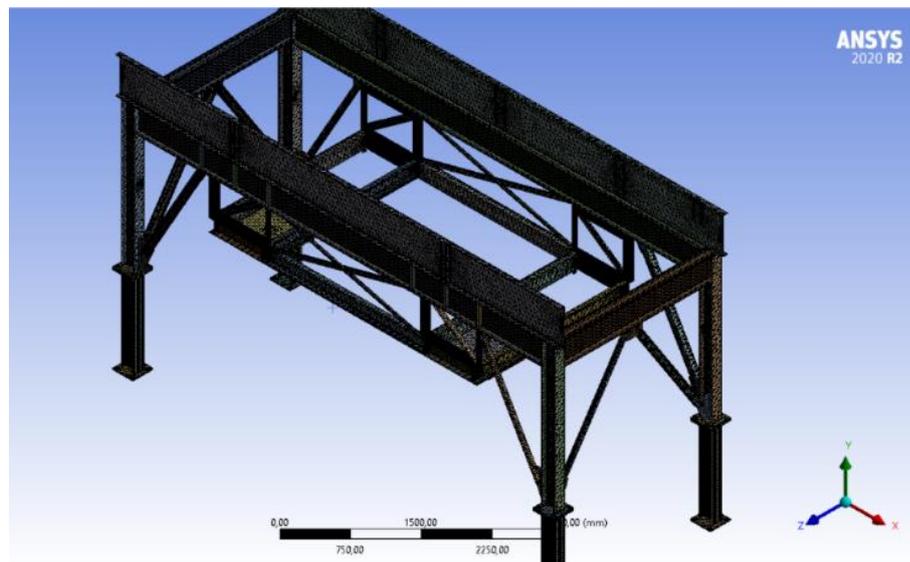
**Gambar 3. 6** Tampak Depan Meshing pada Desain Eksisting Struktur Blower



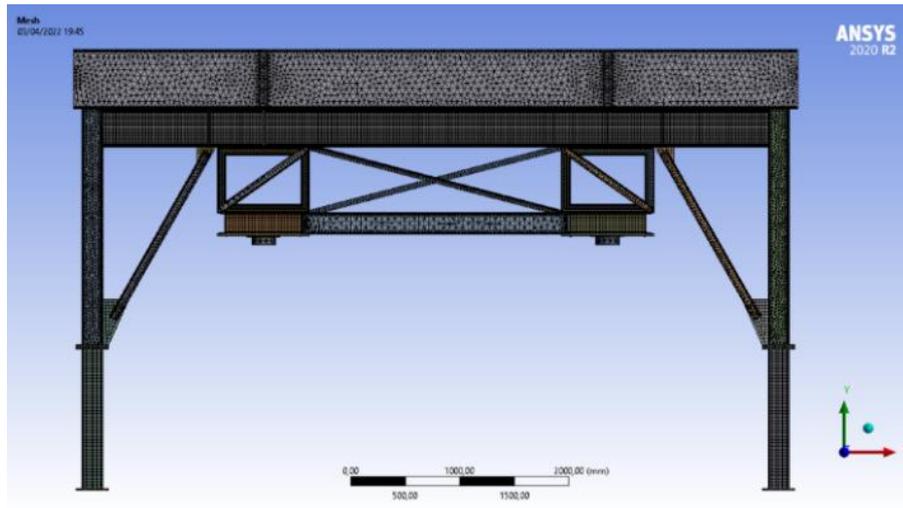
**Gambar 3. 7** Tampak Isometri Meshing pada Desain Modifikasi 1 Struktur Blower



**Gambar 3. 8** Tampak Depan Meshing pada Desain Modifikasi 1 Struktur Blower



**Gambar 3. 9** Tampak Isometri Meshing pada Modifikasi 2 Struktur Blower



**Gambar 3. 10** Tampak Depan Meshing pada Modifikasi 2 Struktur Blower

### 3.2.4.1 Uji Konvergensi Meshing

Setelah melakukan meshing, maka dilakukan uji konvergensi meshing pada desain struktur blower awal dan modifikasi struktur blower dengan jenis meshing yang digunakan pada uji konvergensi adalah *body sizing* dengan menggunakan 5 iterasi dengan *error* dibawah 5% dan didapatkan *ortogonal quality* dan *skewness* yang sesuai dengan *mesh metric spectrum* seperti gambar 3.11. Agar didapatkan sebuah hasil yang paling menggambarkan keadaan sebenarnya dalam jumlah elemen meshing yang tepat. Variasi *mesh sizing* yang dipakai pada uji ini terlihat seperti tabel 3.2, tabel 3.3, dan tabel 3.4

Skewness mesh metrics spectrum:

Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Orthogonal Quality mesh metrics spectrum:

Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

**Gambar 3. 11** Skewness Mesh Metrics Spectrum dan Orthogonal Quality

**Tabel 3. 2** Hasil Uji Konvergensi Meshing Desain Eksisting Struktur Blower

Ukuran Meshing	Nodes	Element	Equivalent Stress	Orthogonal Quality	deformation (mm)	STRESS ERROR	Deformation Error
21,5	969504	363294	56,34651	0,4299468	0,64740685		
21,4	971056	362056	47,8986	0,390495	0,64723511	17,64%	0,03%
21,3	979859	366016	46,85167	0,3884657	0,64711025	2,23%	0,02%
21,2	981680	366276	45,5108	0,3928334	0,64757562	2,95%	0,07%
21	985265	367224	46,65488	0,3944318	0,64709467	2,45%	0,07%

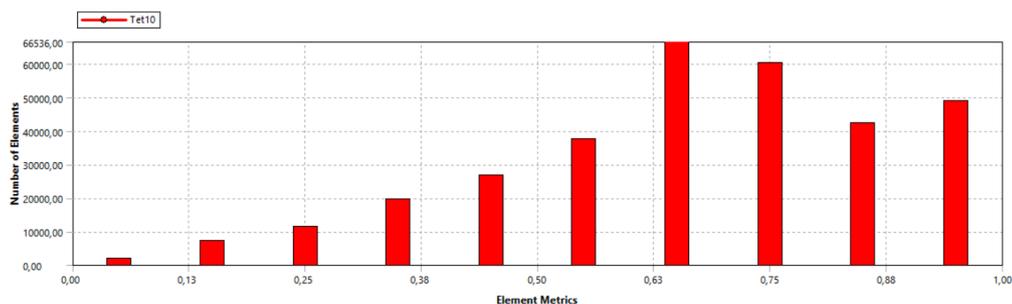
**Tabel 3. 3** Hasil Uji Konvergensi Meshing Modifikasi 1 Struktur Blower

Ukuran Meshing	Nodes	Element	Equivalent Stress	Orthogonal Quality	deformation (mm)	STRESS ERROR	Deformation Error
21,5	1045655	329736	74,91501	0,41651	0,4577965		
21,4	1071026	337046	74,22746	0,399703	0,46066588	0,93%	0,62%
21,3	1073600	341063	73,48608	0,3963721	0,46057342	1,01%	0,02%
21,2	1080331	343512	72,67295	0,3998589	0,46181031	1,12%	0,27%
21,1	1083296	344048	72,43527	0,4000432	0,46148334	0,33%	0,07%
21	1088223	345348	72,31135	0,4013496	0,46035002	0,17%	0,25%

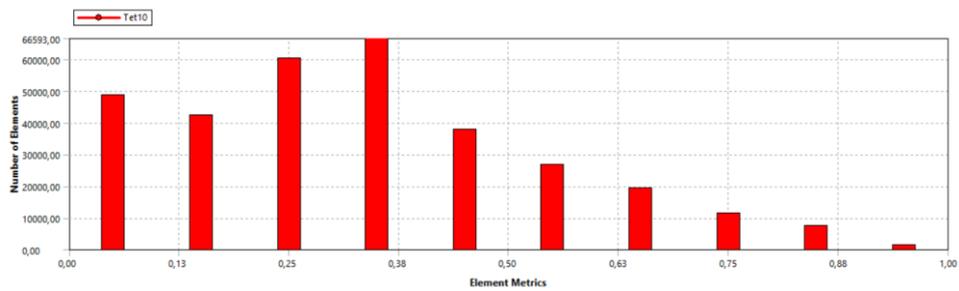
**Tabel 3. 4** Hasil Uji Konvergensi Meshing Modifikasi 2 Struktur Blower

Ukuran Meshing	Nodes	Element	Equivalent Stress	Orthogonal Quality	deformation (mm)	STRESS ERROR	Deformation Error
21,5	1089303	350178	68,8076	0,4021957	0,45546486		
21,4	1112932	358389	70,59453	0,4027001	0,45895005	2,53%	0,76%
21,3	1113054	361000	70,16391	0,4002657	0,45799114	0,61%	0,21%
21,2	1119834	363479	69,93482	0,4032881	0,4584808	0,33%	0,11%
21,1	1124872	365388	70,00854	0,402216	0,45818417	0,11%	0,06%
21	1128818	366262	70,07854	0,4036439	0,45843876	0,10%	0,06%

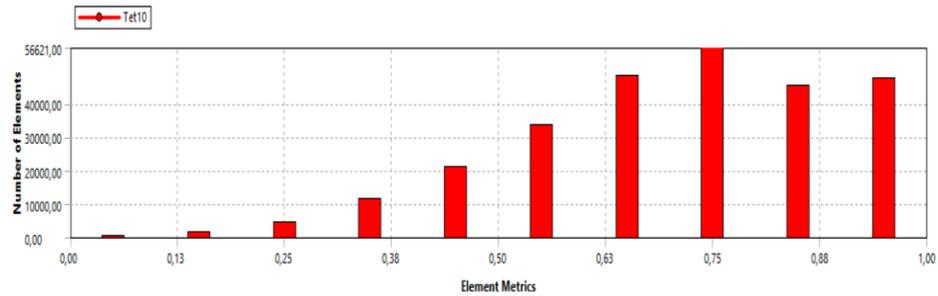
Setelah melakukan uji konvergensi *meshing* maka diambil ukuran *meshing* 21 mm dimana pada desain awal memiliki *stress error* sebesar 2,45% dan pada modifikasi 1 memiliki *stress error* sebesar 0,17%. Sedangkan untuk modifikasi 2 memiliki *stress error* sebesar 0,10%. Dari model desain awal tersebut didapatkan nilai kualitas *meshing skewness* dengan rata-rata 0,61907 dan nilai rata-rata *meshing orthogonal quality* yaitu 0,39443 untuk model desain awal. Nilai kualitas *meshing* tersebut masuk kedalam kategori *good*. Sedangkan untuk model modifikasi 1 struktur blower, didapatkan nilai rata-rata kualitas *meshing skewness* yaitu 0,63851 dan *meshing orthogonal quality* dengan nilai rata-rata sebesar 0,40134. Nilai kualitas *meshing* pada modifikasi 1 struktur blower ini masuk kedalam kategori *good*. Kemudian untuk modifikasi 2, didapatkan nilai rata-rata kualitas *meshing skewness* yaitu 0,61877 dan *meshing orthogonal quality* dengan nilai rata-rata sebesar 0,40364. Nilai kualitas *meshing* pada modifikasi 2 ini masuk kedalam kategori *good*. Berikut adalah diagram hasil *element metrics* setelah dilakukannya uji konvergensi *meshing* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



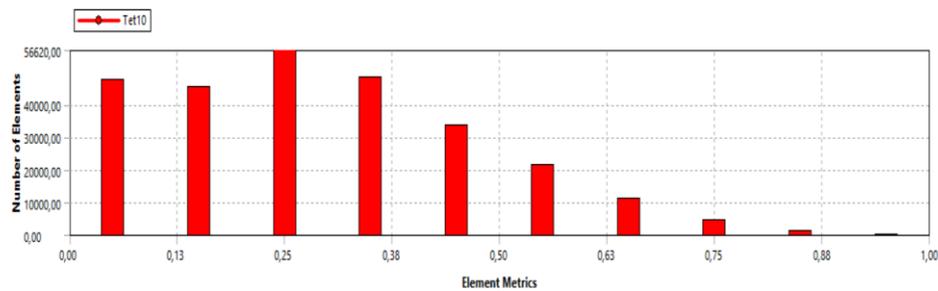
**Gambar 3. 12** Diagram Batang *Skewness* Desain Awal Struktur Blower



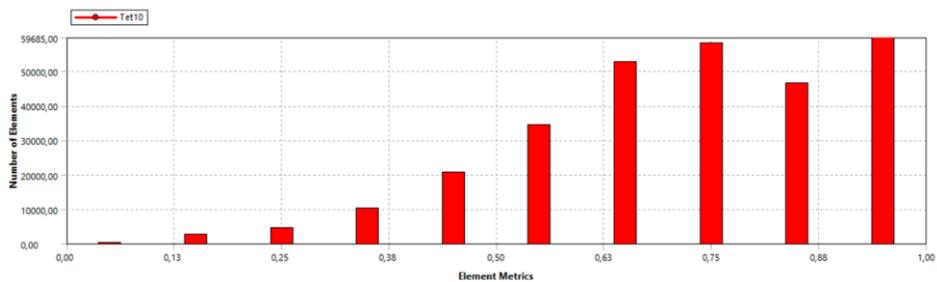
Gambar 3. 13 Diagram Batang *Orthogonal Quality* Desain Awal Struktur Blower



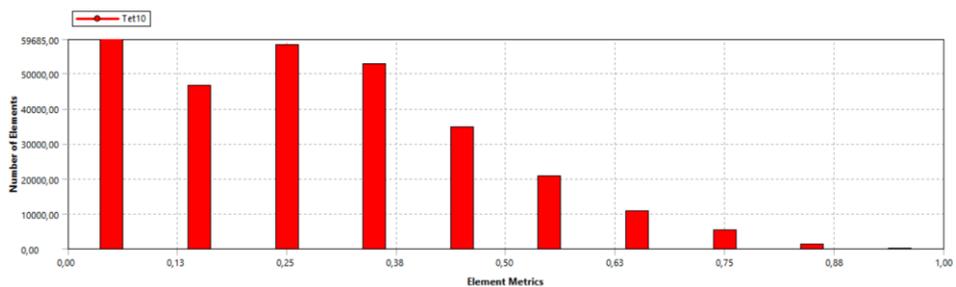
Gambar 3. 14 Diagram Batang *Skewness* Modifikasi 1 Struktur Blower



Gambar 3. 15 Diagram Batang *Orthogonal Quality* Modifikasi 1 Struktur Blower

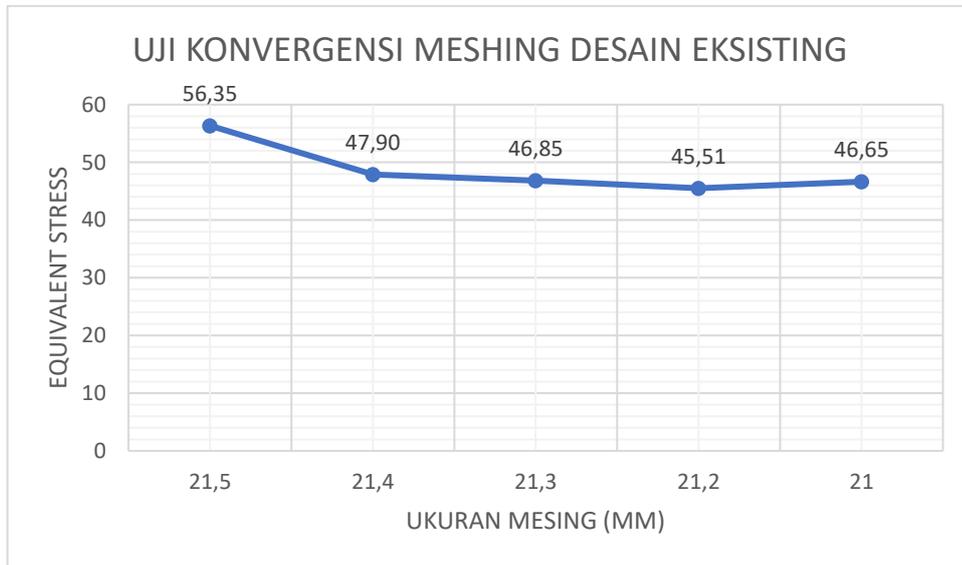


Gambar 3. 16 Diagram Batang *Skewness* Modifikasi 2 Struktur Blower

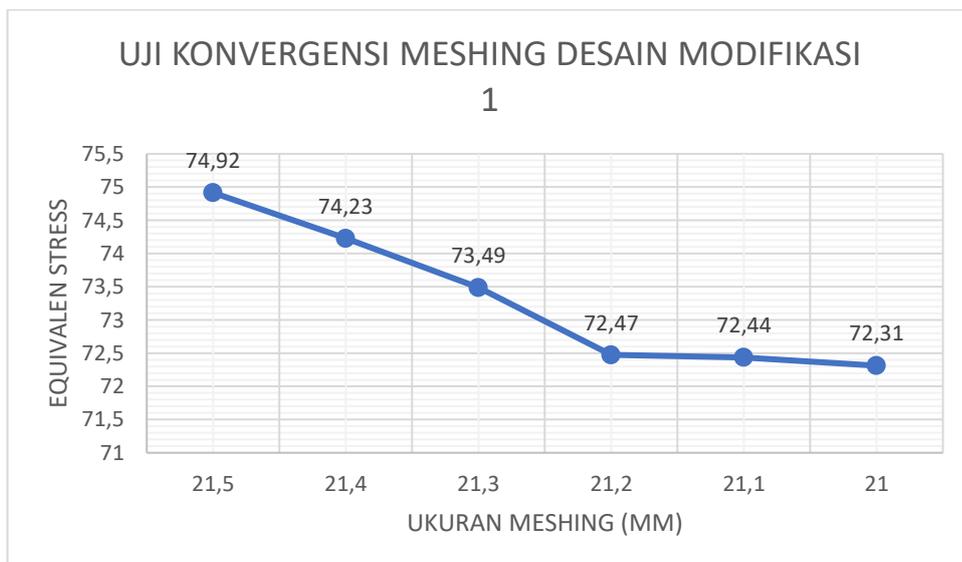


Gambar 3. 17 Diagram Batang *Orthogonal Quality* Modifikasi 2 Struktur Blower

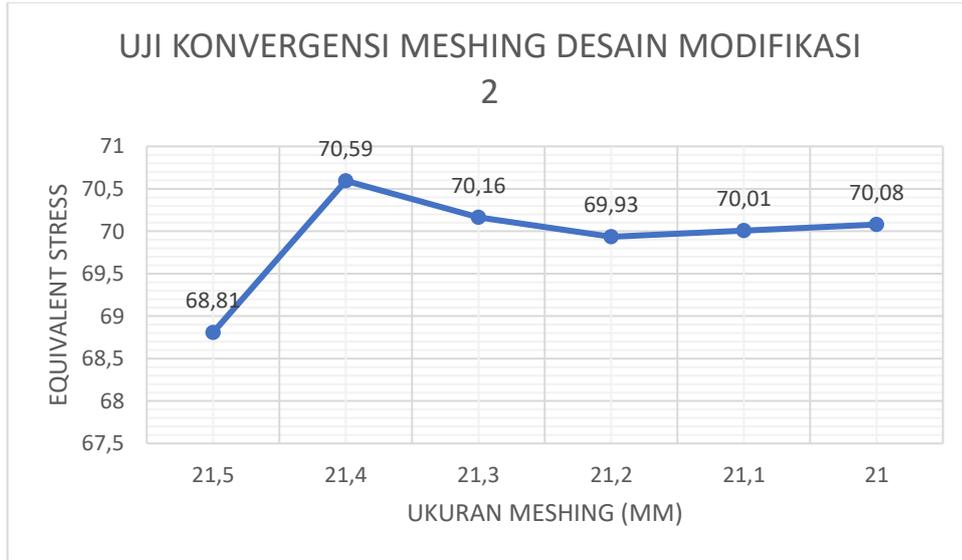
Untuk grafik hasil uji konvergensi dapat dilihat pada gambar 3.18, gambar 3.19, dan gambar 3.20



**Gambar 3. 18** Grafik Hasil Uji Konvergensi *Meshing* Desain Awal Struktur Blower



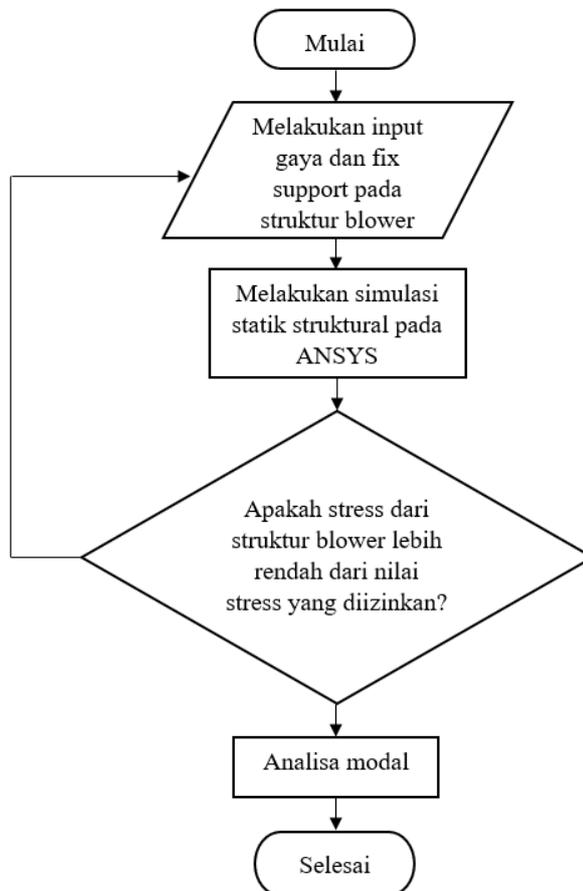
**Gambar 3. 19** Grafik Hasil Uji Konvergensi *Meshing* Modifikasi 1 Struktur Blower



Gambar 3. 20 Grafik Hasil Uji Konvergensi *Meshing* Modifikasi 2 Struktur Blower

### 3.2.5 Pengujian Statis

Struktural analisis merupakan analisis yang sering digunakan menggunakan *finite element method*. Statik analisis digunakan untuk menentukan dan menganalisa tegangan von-misses dan deformasi yang terjadi pada beban statik. Berikut merupakan diagram alir pada analisa *finite element method* (FEM) menggunakan statik struktural.



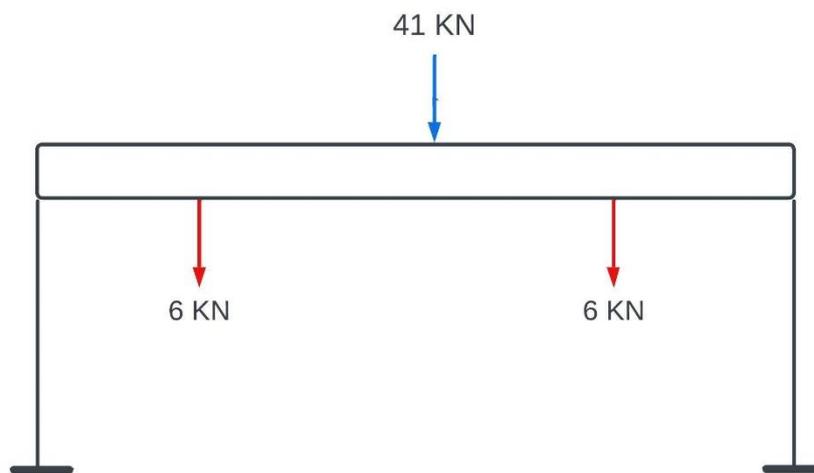
Gambar 3. 21 Diagram Alir Pengujian Statis

### 3.2.5.1 Bebas Statis pada Struktur Blower

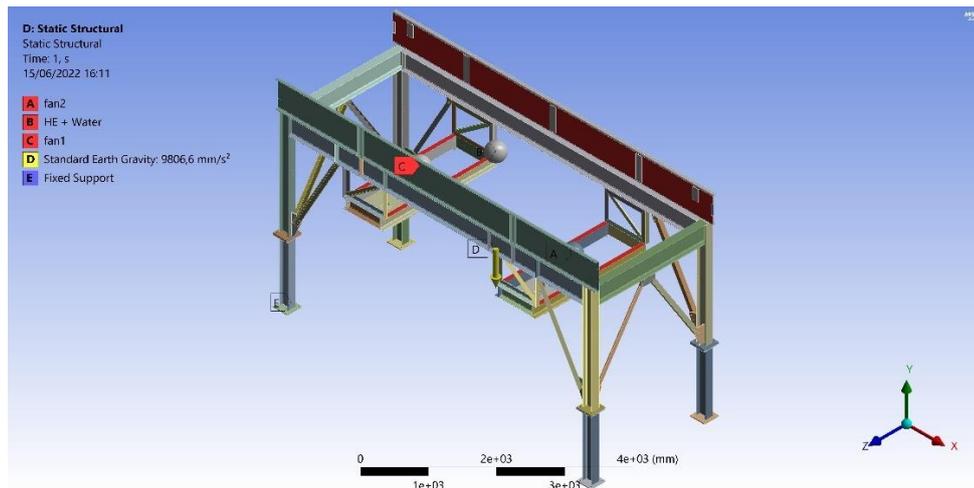
Pada pembebanan statis merupakan tahap paling awal dari simulasi ini, dimana pada *boundary condition* didefinisikan sebagai berikut struktur blower memiliki *fix support* yang diberi pada ke empat kaki penopang pada struktur, kemudian diberikan beban gravitasi pada sumbu y negatif sebesar  $9806 \text{ mm/s}^2$ , kemudian dilanjutkan dengan pendefinisian komponen kedua unit fan blower dan *heat exchanger* + air ke dalam bentuk *massa inertia* dengan masing-masing berat sebagai berikut:

1. Unit fan blower 1 : 600 Kg
2. Unit fan blower 2 : 600 Kg
3. Heat Exchanger + air : 4100 Kg

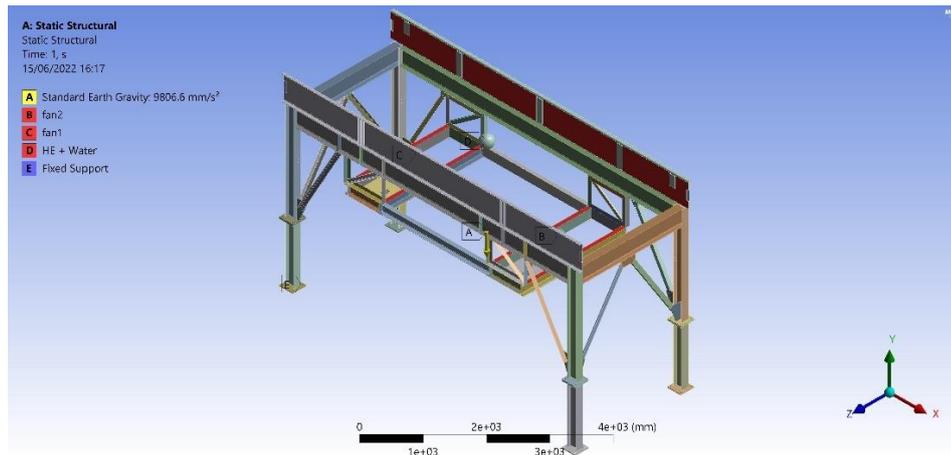
Berikut *free body diagram* untuk gaya yang bekerja pada struktur blower.



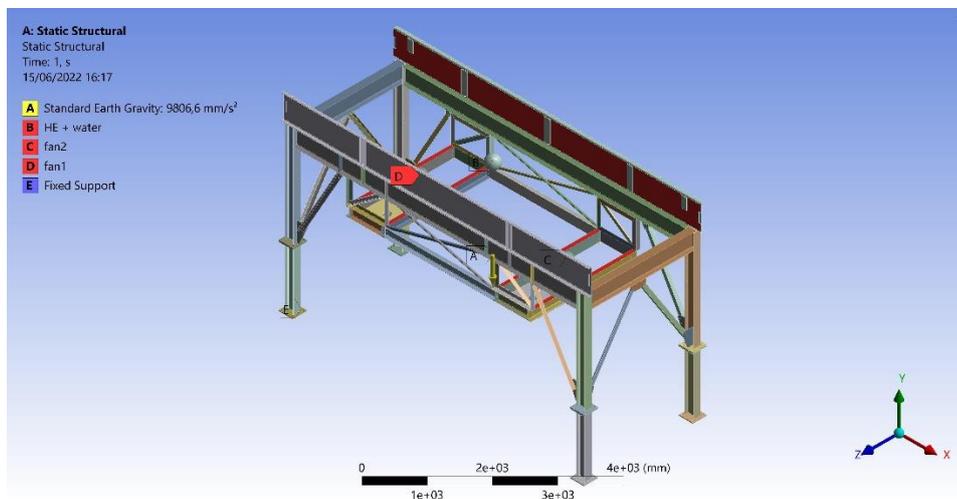
Gambar 3. 22 *Free Body Diagram* Gaya pada Struktur Blower



(a)



(b)



(c)

**Gambar 3. 23** *Boundary Condition* (a) Desain Eksisting (b) Modifikasi 1 (c) Modifikasi 2 Struktur Blower

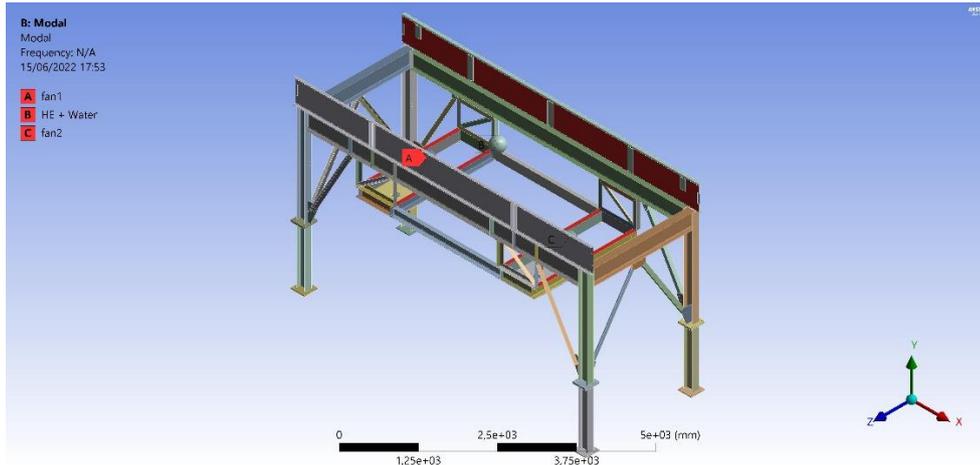
Pada gambar 3.23 adalah *boundary condition* dari (a) desain awal dan (b) desain modifikasi 1 (c) desain modifikasi 2 dan terlihat pada gambar-gambar diatas beban-beban dari struktur blower.

### 3.2.5.2 *Solution*

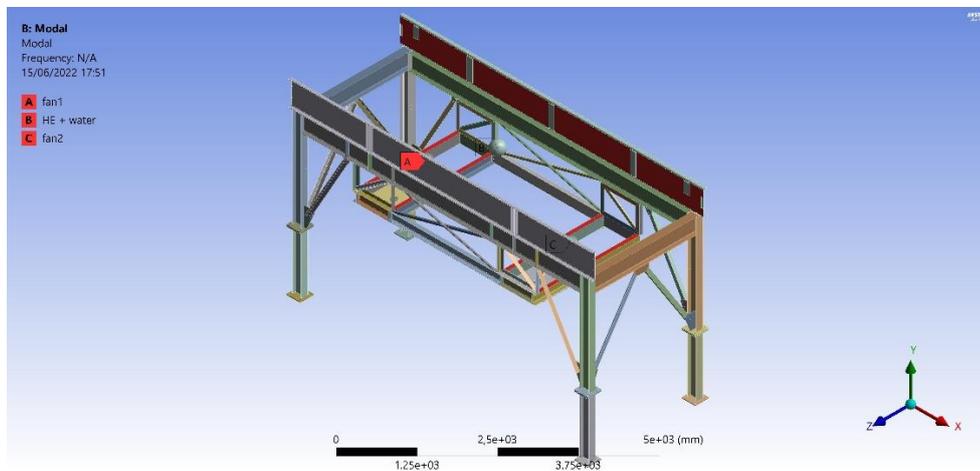
Pada penelitian tugas akhir dengan topik struktur blower ini solusi yang diharapkan adalah berupa *stress von-mises* dan deformasi yang terjadi pada struktur blower. Hal ini diharapkan agar mengetahui kekuatan dan keamanan dari struktur blower agar dapat berfungsi dengan baik dan aman.

### 3.2.6 *Modal Analysis*

Modal analisis dilakukan untuk menentukan frekuensi natural, dan *mode shape* pada frekuensi natural. *Mode shape* hanya diambil 20 *Mode shape* dan frekuensi natural. Pada analisa ini dilakukan pencarian *mode shape* dengan *set up boundary condition* seperti gambar dibawah ini.



(a)



(b)

Details of "Analysis Settings" [minimize] [maximize] [close]

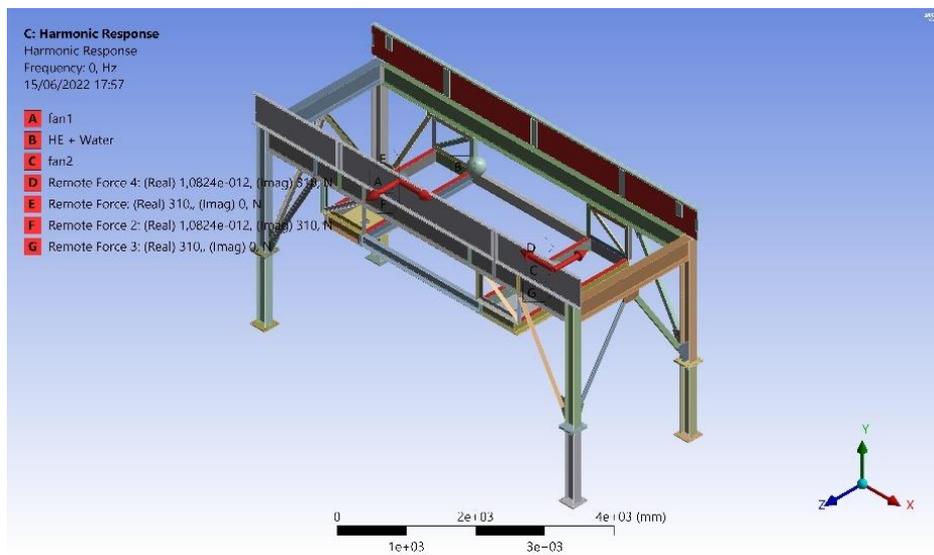
<b>Options</b>	
Max Modes to Find	20
Limit Search to Range	No
Spin Softening	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	
Damped	No
Solver Type	Program Controlled
<b>Rotordynamics Controls</b>	
Coriolis Effect	Off
Campbell Diagram	Off
<b>Output Controls</b>	
Stress	Yes
Surface Stress	No
Back Stress	No
Strain	Yes
Contact Data	No
Nodal Forces	Constrained Nodes
Volume and Energy	No
Euler Angles	No
Calculate Reactions	Yes
Store Modal Results	Program Controlled
General Miscellaneo...	No
Result File Compress...	Program Controlled
<b>Analysis Data Management</b>	

(c)

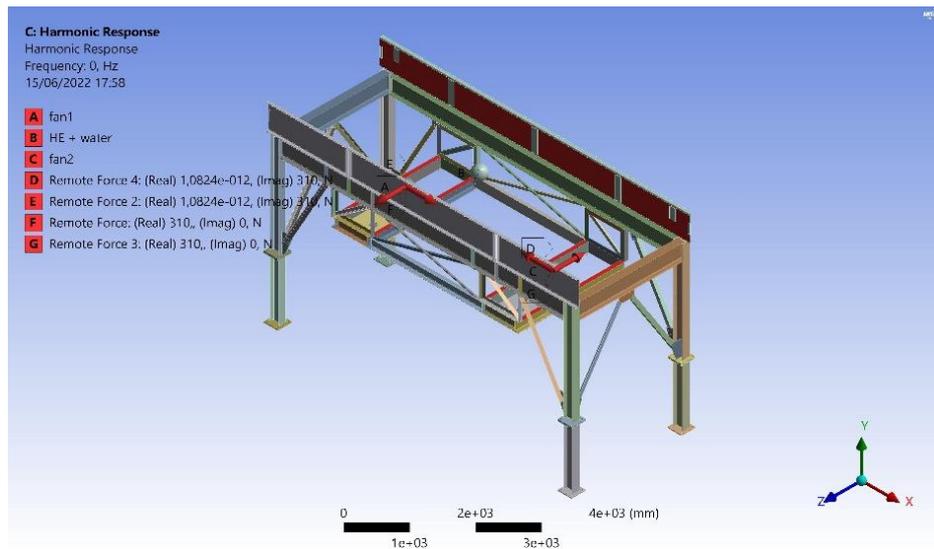
**Gambar 3. 24** Set-Up Simulasi Analisis Modal (a) Boundary Condition Modifikasi 1 (b) Boundary Condition Modifikasi 2 (c) Analysis Setting

### 3.2.7 Harmonic Response Analysis

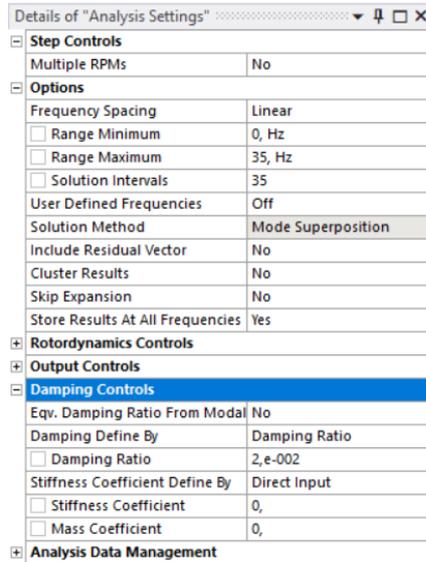
Harmonik analisis digunakan untuk menentukan respons *steady state* dari struktur terhadap beban yang bervariasi secara sinusoidal dengan waktu, yang memungkinkan untuk memverifikasi apakah desain yang dibuat akan berhasil mengatasi resonansi atau efek berbahaya lainnya dari sebuah getaran yang berlebihan. Hasil dari natural frekuensi dan modus getar yang didapat dari modal analisis akan digunakan pada harmonik analisis ini. Sehingga perilaku dinamis struktur ketika suatu beban bekerja pada frekuensi yang berhimpit dengan salah satu natural frekuensi struktur maka akan terjadi resonansi dengan amplitudo getar yang tinggi. Pada studi ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dinamis yang akan digunakan sebagai acuan untuk bentuk modifikasi yang optimum untuk menggeser natural frekuensi struktur agar jauh dari frekuensi eksitasi saat beroperasi. Berikut adalah *set-up* dan *boundary condition* pada harmonik analisis.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 3. 25** Set-Up Harmonik Analisis (a) *Boundary Condition* Modifikasi 1 (b) *Boundary condition* Modifikasi 2 (c) *Analysis Setting*

Pada gambar 3.25 (a) dan (b) adalah *boundary condition* dari harmonik analisis dimana diberikan *remote force* sebesar 310 N pada kedua sumbu putar fan pada arah X dan Z dengan beda *phase* 90 derajat yang mempresentasikan gaya sentrifugal. Pada gambar 3.25 (c) adalah *analysis setting* dimana diberikan rentang frekuensi 0-35 Hz karena terdapat frekuensi eksitasi yang terjadi pada motor fan yang berputar kurang lebih 25-26 Hz dan diasumsikan *damping ratio* sebesar 2% agar respon amplitudo yang dihasilkan oleh struktur tidak menjadi tak terhingga.

### 3.2.8 Post-Processing

Setelah melakukan uji simulasi statis dan dinamis dan mendapatkan hasil pengujian yang diinginkan maka selanjutnya akan dilakukan analisa data dan pembahasan sesuai dengan teori yang ada. Dari analisa tersebut, dapat diketahui variabel yang mempengaruhi deformasi dan *stress* yang terjadi pada struktur blower. Hasil dan analisa dan pembahasan ini akan digunakan sebagai acuan untuk membuat kesimpulan dalam penelitian ini.

### 3.2.9 Kesimpulan

Setelah melakukan simulasi dan analisa data, maka diperoleh kesimpulan dari penelitian tugas akhir ini. Kesimpulan yang ditulis merupakan pokok bahasan dan menjawab rumusan masalah yang ditulis pada bab 1 sehingga tujuan dari penelitian ini dapat tercapai. Lalu akan dapat dilanjutkan penelitian lebih lanjut lagi sehingga penelitian yang dilakukan ini bisa dapat bekerja dengan baik.

*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pembahasan pada bab 4 penelitian ini akan menjelaskan hasil dari analisa simulasi statis menggunakan *static structural* dan analisa dinamis menggunakan *harmonic analysis* pada struktur blower desain eksitasi dan desain modifikasi ketika ada penambahan beam pada bagian antara fan 1 dan fan 2 dan juga *cross beam*. Pada analisa simulasi statis dan dinamis akan dijelaskan data yang didapatkan dari hasil simulasi serta pembahasan dari data yang didapatkan.

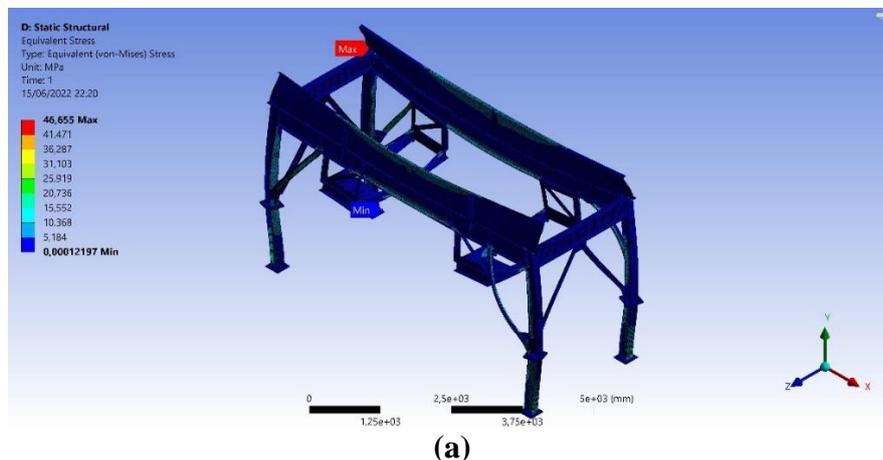
### 4.1 Hasil Static Structural

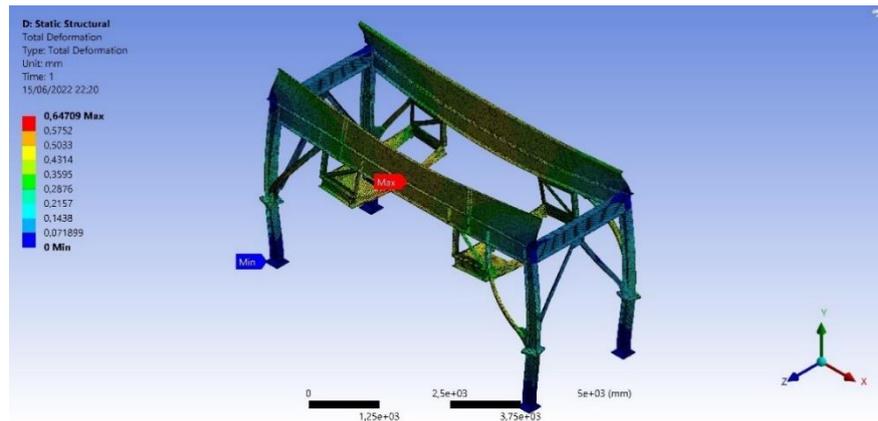
#### 4.1.1 Desain Eksisting Struktur Blower

Pada desain eksitasi, dilakukan pengujian statis dengan *static structural*. Penempatan titik beban dan *fix support* pada simulasi ini sesuai dengan pembahasan pada sub-bab 3.2.5.1 dan ukuran *meshing* yang disimulasikan yaitu 21 mm dimana ukuran ini sudah lulus uji konvergensi yang *error* nya sudah dibawah 5%. Pada simulasi desain eksitasi ini menggunakan material *structural steel*. Pada material *structural steel* ini struktur blower memiliki massa sebesar 8553,4 kg. Sedangkan untuk *output* yang akan didapatkan yaitu *Equivalent Von-Mises* dan *Total Deformation* yang terjadi.

##### 4.1.1.1 Hasil Equivalent Stress Dan Total Deformation Desain Eksisting

Hasil dari uji statis pada struktur blower desain awal menggunakan material *structural steel* didapatkan *equivalent stress* maksimum sebesar 46,655 MPa sehingga terdapat deformasi maksimum sebesar 0,64709 mm. Titik tegangan maksimum yang terjadi terdapat pada bagian *beam* bagian atas kiri (tanda Max pada gambar 4.1a), sedangkan untuk titik tegangan minimum terjadi pada kaki penopang (tanda Min pada gambar 4.1a). Kemudian, untuk titik deformasi maksimum terdapat pada bagian *beam* yang mewakili *heat exchanger* + air dibagian tengah (tanda Max pada gambar 4.1b), sedangkan untuk titik deformasi minimum terdapat pada bagian kaki penopang (tanda Min pada gambar 4.1b). Pemusatan tegangan terjadi karena struktur blower mengalami bending akibat distribusi gaya kearah sumbu Y- yang kemudian membuat *stress* maksimum terdapat pada struktur yang bertanda Max pada gambar 4.1a. Hasil dari simulasi statis desain eksitasi struktur blower menggunakan material *structural steel* untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.1a dan 4.1b.





(b)

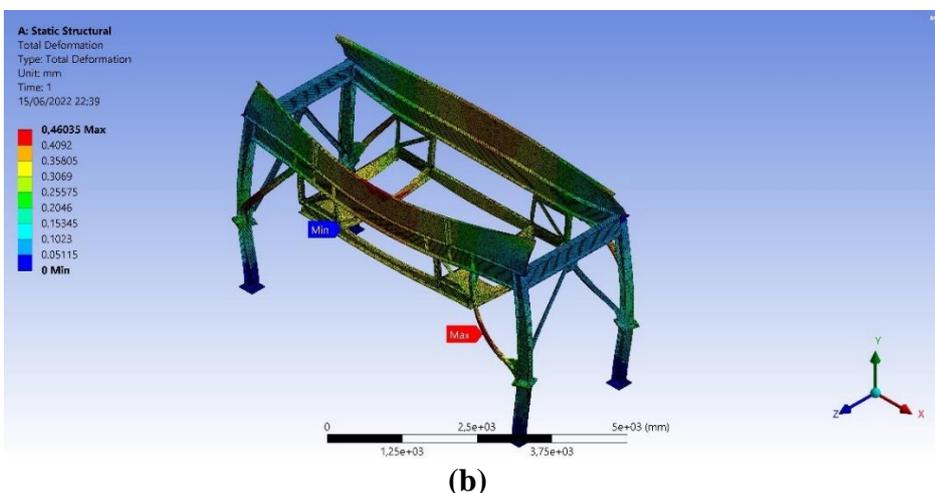
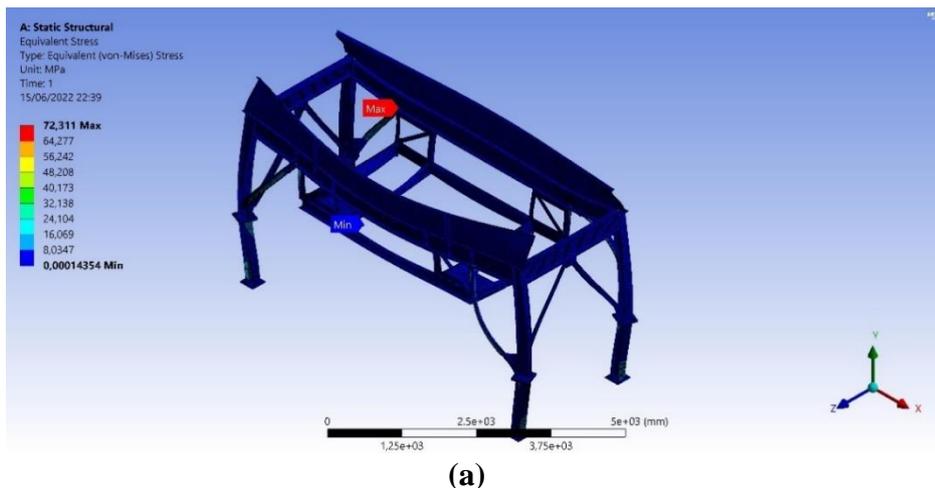
**Gambar 4. 1** Hasil Uji *Static Structural* Desain Eksitasi Struktur Blower (a) *Equivalent Stress* (b) Total Deformasi

#### 4.1.2 Desain Modifikasi 1 Struktur Blower

Pada model modifikasi 1, terjadi peningkatan massa struktur blower sebesar 1,67%. Massa struktur blower desain awal dengan material *structural steel* bermassa 8553,4 Kg dan dimodifikasi dengan adanya penambahan *beam* dibagian antara fan 1 dan fan 2 dan naik menjadi 8696,2 Kg. Penempatan titik beban dan *fix support* pada simulasi ini sesuai dengan pembahasan pada sub-bab 3.2.5.1 dan ukuran *meshing* yang disimulasikan yaitu 21 mm dimana ukuran ini sudah lulus uji konvergensi yang *error* nya sudah dibawah 5%.

##### 4.1.2.1 Hasil *Equivalent Stress* dan Total Deformation Desain Modifikasi 1

Hasil dari uji statis pada struktur blower desain modifikasi 1 menggunakan material *structural steel* didapatkan *equivalent stress* maksimum sebesar 72,311 MPa sehingga terdapat deformasi maksimum sebesar 0,46035 mm. Titik tegangan maksimum terjadi *beam* yang menjadi penopang antara fan 1 dan fan 2 (tanda Max pada gambar 4.2a), sedangkan untuk titik tegangan minimum terjadi pada kaki penopang (tanda Min pada gambar 4.2a). Untuk titik deformasi maksimum yang terjadi terdapat pada bagian *beam* penopang antara *beam* I tengah dan kaki penopang (tanda Max pada gambar 4.2b), sedangkan untuk titik deformasi minimum terjadi pada bagian kaki penopang (tanda Min pada gambar 4.2b). Pemusatan tegangan terjadi karena struktur blower mengalami bending akibat distribusi gaya kearah sumbu Y- yang kemudian membuat *stress* maksimum terdapat pada struktur yang bertanda Max pada gambar 4.2a. Hasil dari simulasi statis desain modifikasi 1 struktur blower menggunakan material *structural steel* untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.2a dan 4.2b.



**Gambar 4. 2** Hasil Uji *Static Structural* Desain Modifikasi 1 Struktur Blower (a) *Equivalent Stress* (b) *Total Deformasi*

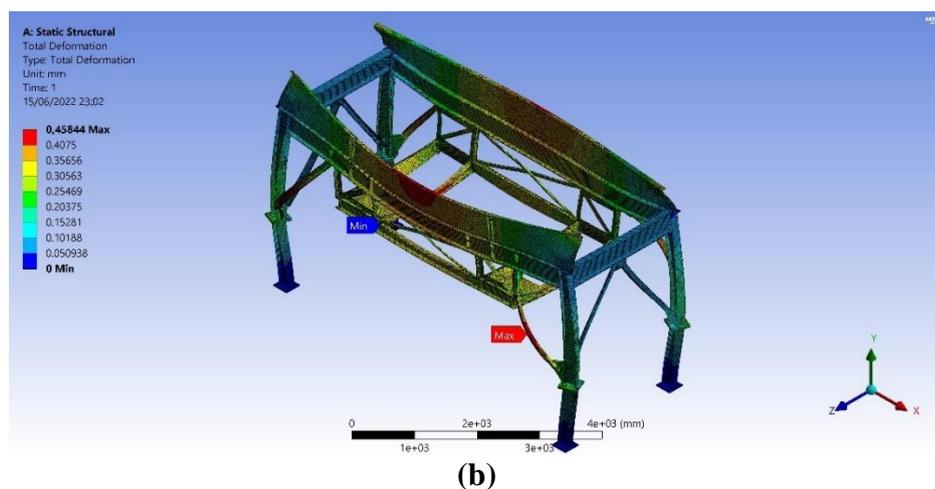
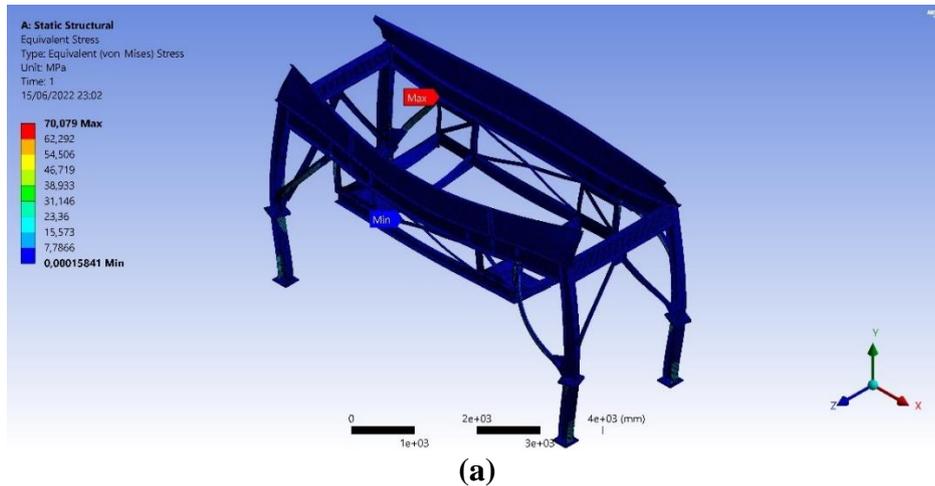
#### 4.1.3 Desain Modifikasi 2 Struktur Blower

Pada model modifikasi 2, terjadi peningkatan massa struktur blower sebesar 1,97%. Massa struktur blower desain awal dengan material *structural steel* bermassa 8553,4 Kg dan dimodifikasi dengan adanya penambahan *beam* dibagian antara fan 1 dan fan 2 serta *cross beam* naik menjadi 8722,3 Kg. Penempatan titik beban dan *fix support* pada simulasi ini sesuai dengan pembahasan pada sub-bab 3.2.5.1 dan ukuran *meshing* yang disimulasikan yaitu 21 mm dimana ukuran ini sudah lulus uji konvergensi yang *error* nya sudah dibawah 5%.

##### 4.1.3.1 Hasil *Equivalent Stress* dan *Total Deformation* Desain Modifikasi 2

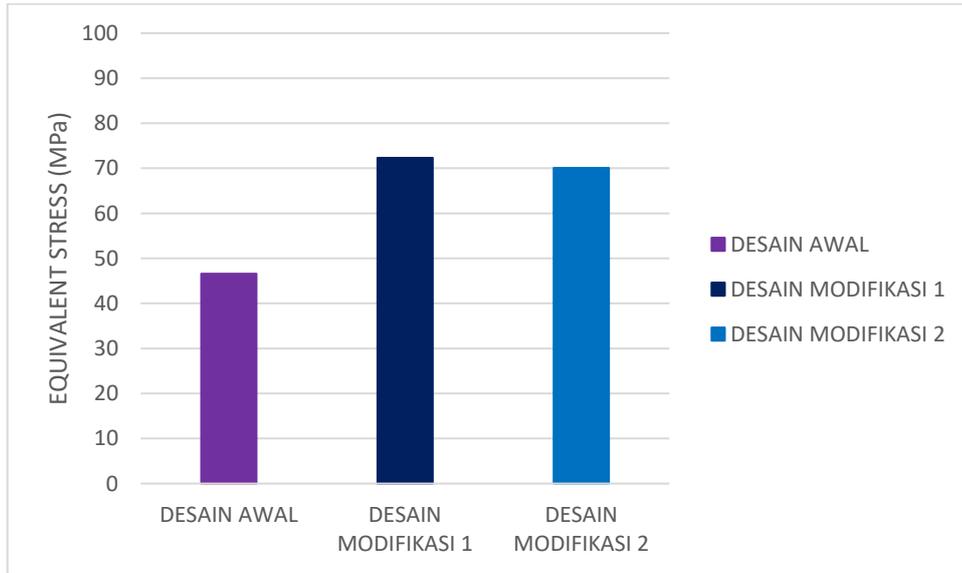
Hasil dari uji statis pada struktur blower desain modifikasi menggunakan material *structural steel* didapatkan *equivalent stress* maksimum sebesar 70,079 MPa sehingga terdapat deformasi maksimum sebesar 0,45844 mm. Titik tegangan maksimum terjadi terdapat pada bagian *beam* yang menjadi penopang antara fan 1 dan fan 2 (tanda Max pada gambar 4.3a), sedangkan untuk titik tegangan minimum terjadi pada bagian kaki penopang (tanda Min pada gambar 4.3a). Kemudian, untuk titik deformasi maksimum yang terjadi terdapat pada bagian *beam* penopang diantara kaki penopang dan *beam* I bagian tengah (tanda Max pada gambar 4.3b), sedangkan

untuk titik deformasi minimum terjadi pada bagian *beam* I tengah diantara fan 1 dan fan 2 (tanda Min pada gambar 4.3b). Pemusatan tegangan terjadi karena struktur blower mengalami bending akibat distribusi gaya kearah sumbu Y- yang kemudian membuat *stress* maksimum terdapat pada bagian *beam* yang menjadi penopang antara fan 1 dan fan 2 (tanda Max pada gambar 4.3a). Hasil dari simulasi statis desain modifikasi 2 struktur blower menggunakan material *structural steel* untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.3a dan 4.3b.

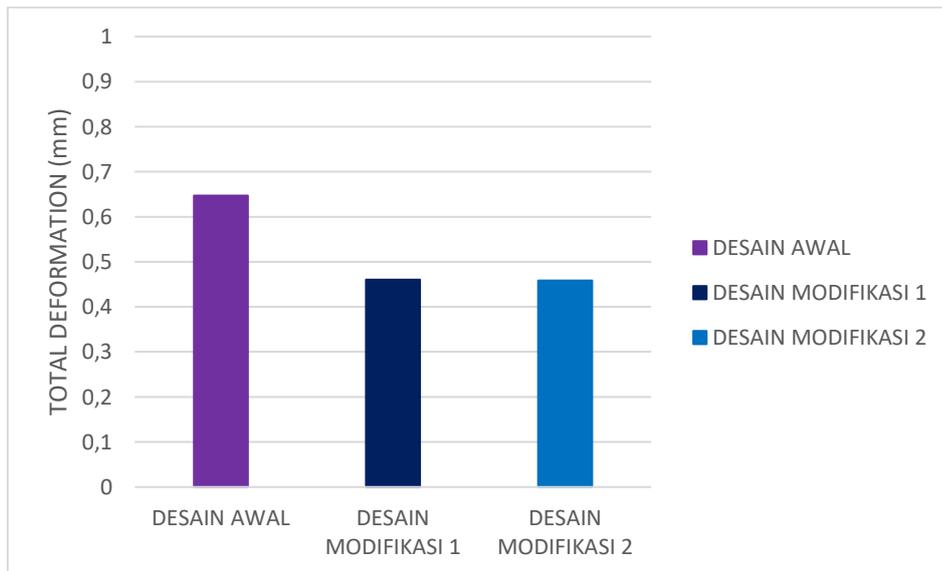


**Gambar 4. 3** Hasil Uji *Static Structural* Desain Modifikasi 2 Struktur Blower (a) *Equivalent Stress* (b) *Total Deformasi*

#### 4.1.4 Analisis Data Simulasi Statis



Gambar 4. 4 Grafik Perbandingan *Stress* Desain Awal dan Modifikasi



Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan *Total Deformation* Desain Awal dan Modifikasi

Dari grafik gambar 4.4 dapat dilihat perbandingan *stress* yang terjadi antara kedua desain yaitu desain awal dan modifikasi yang menggunakan material yang sama *structural steel*. Grafik tersebut memperlihatkan bahwa *stress* yang terjadi berbeda jauh antara desain awal dan modifikasi. Perbedaan itu terjadi karena adanya penambahan *beam* pada bagian antara fan 1 dan fan 2 yang mengakibatkan kenaikan massa pada struktur blower. Berbeda dengan deformasi pada gambar 4.5, deformasi maksimum yang dihasilkan tidak terlalu jauh antara desain awal dan modifikasi. Untuk desain awal sebesar 0,64709 mm, desain modifikasi 1 sebesar 0,46035, dan modifikasi 2 sebesar 0,45843 mm. Perbedaan nilai deformasi ini diakibatkan oleh desain struktur blower dimana desain awal polos tanpa adanya penambahan *beam*.

Hasil dari uji *static structural* pada kedua model struktur blower masih sangat aman karena nilai *equivalent stress* yang terjadi masih dibawah *yield strength* dari material *structural steel*. Selain itu, nilai *safety factor* pada desain awal dan modifikasi masih aman karena memiliki nilai *safety factor* diatas 1 dan dapat dilihat pada tabel 4.1. Jadi untuk

struktur blower desain awal dan modifikasi tidak akan mengalami kerusakan jika hanya dianalisa dengan analisa statis.

**Tabel 4. 1** *Safety Factor* Pengujian Statis

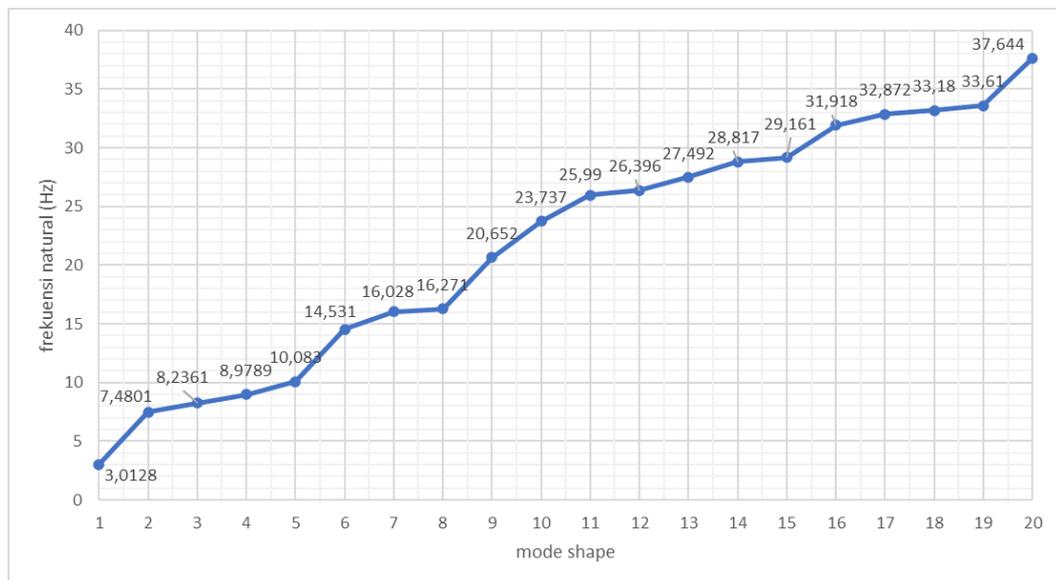
Desain / Material	<i>Safety Factor</i>
Desain Awal / <i>Structural Steel</i>	5,36
Desain Modifikasi 1 / <i>Structural Steel</i>	3,45
Desain Modifikasi 2 / <i>Structural Steel</i>	3,56

## 4.2 Modal Analisis

Simulasi analisa modal dilakukan untuk mengetahui frekuensi natural dan *mode shape* dari model yang dianalisa sehingga simulasi tersebut dapat dilanjutkan ke simulasi *harmonic analysis*. Pada analisa modal, akan didapatkan 20 *mode shape* dan frekuensi natural dari masing-masing desain dengan material yang sama yang akan disimulasikan. Frekuensi natural perlu diketahui untuk menghindari terjadinya resonansi dimana frekuensi natural dari material yang digunakan nilainya sama dengan frekuensi eksitasi yang dapat menyebabkan kerusakan pada model desain yang disimulasikan.

### 4.2.1 Frekuensi Natural Desain Eksisting

Hasil dari analisa modal yang dilakukan pada model desain awal struktur blower menggunakan material *structural steel* didapatkan *mode shape* yang dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Tabel 4.2 sebagai berikut.



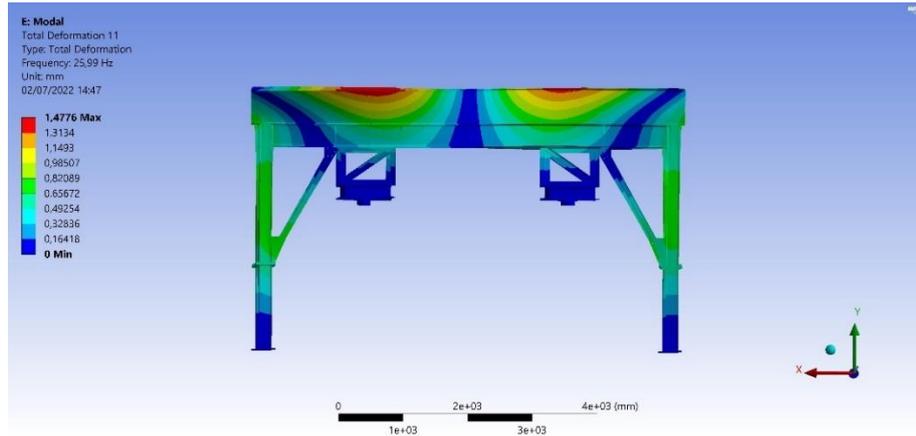
**Gambar 4. 6** Grafik Frekuensi Natural dan *Mode Shape* Desain Eksisting

**Tabel 4. 2** Frekuensi *Mode Shape* Desain Eksisting

Desain Awal	
<i>Mode Shape</i>	Frekuensi natural (Hz)
1	3,0128

Desain Awal	
<i>Mode Shape</i>	Frekuensi natural (Hz)
2	7,4801
3	8,2361
4	8,9789
5	10,083
6	14,531
7	16,028
8	16,271
9	20,652
10	23,737
11	25,99
12	26,396
13	27,492
14	28,817
15	29,161
16	31,918
17	32,872
18	33,18
19	33,61
20	37,644

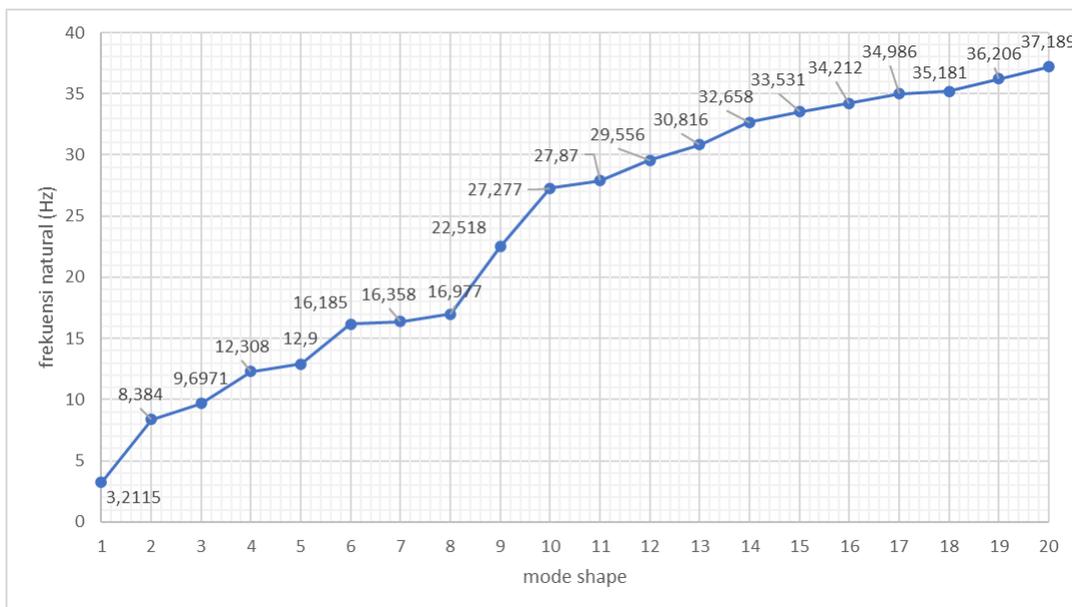
Dari Gambar 4.6 atau pada Tabel 4.2 dapat dilihat frekuensi natural dan *mode shape* yang didapat dari simulasi analisa modal. Diketahui dari tabel jika frekuensi natural dari desain awal menggunakan material *structural steel* terdapat modus getar dengan defleksi getaran terjadi pada sumbu X dengan arah dimana kedua unit fan bergerak saling berlawanan, modus getar ini terjadi pada kisaran kurang lebih 25-26 Hz. Penambahan *beam* pada modifikasi 1 dan modifikasi 2 terdapat pergeseran *mode shape* dan natural frekuensi. Gambar 4.7 merupakan modus getar 11 di 25,99 Hz dari model desain awal struktur blower menggunakan material *structural steel*.



**Gambar 4. 7** *Mode Shape* 11 di 25,99 Hz Desain Awal Struktur Blower

#### 4.2.2 Frekuensi Natural Desain Modifikasi 1

Hasil dari analisa modal yang dilakukan pada model desain modifikasi 1 struktur blower menggunakan material *structural steel* didapatkan *mode shape* yang dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Tabel 4.3 sebagai berikut.



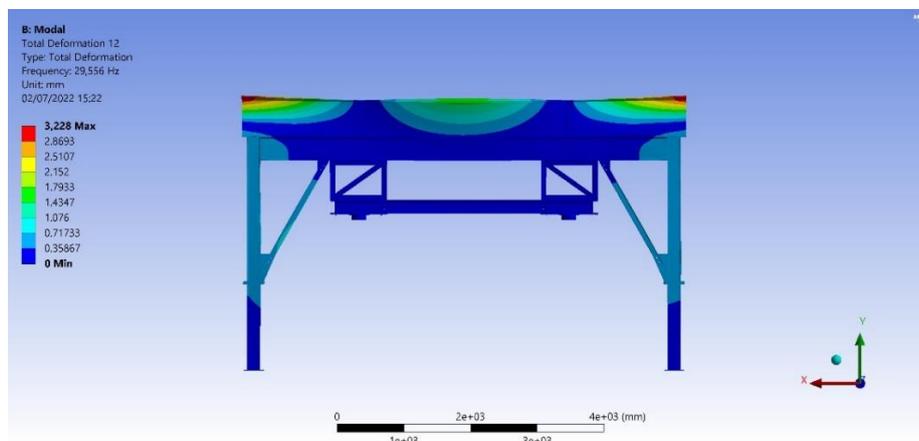
**Gambar 4. 8** Grafik Frekuensi Natural dan *Mode Shape* Desain Modifikasi 1

**Tabel 4. 3** Frekuensi *Mode Shape* Desain Modifikasi 1

Desain Modifikasi	
<i>Mode Shape</i>	Frekuensi natural (Hz)
1	3,1955
2	8,3554
3	3,2115
4	8,384
5	9,6971

Desain Modifikasi	
<i>Mode Shape</i>	Frekuensi natural (Hz)
6	12,308
7	12,9
8	16,185
9	16,358
10	16,977
11	27,87
12	29,556
13	30,816
14	32,658
15	33,531
16	34,212
17	34,986
18	35,181
19	26,206
20	37.189

Dari Gambar 4.8 atau pada Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa frekuensi natural dan *mode shape* yang didapat dari simulasi analisa modal. Diketahui dari tabel jika frekuensi natural dari desain modifikasi 1 menggunakan material *structural steel*. Dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan *beam* pada bagian antara fan 1 dan fan 2 menunjukkan pergeseran *mode shape* dan natural frekuensi dimana pergeseran tersebut berada pada *mode shape* 12 di 29,556 Hz. Gambar 4.9 modus getar 12 di 29,556 Hz dari model desain modifikasi 1 menggunakan material *structural steel*.



**Gambar 4. 9** *Mode Shape* 12 di 29,556 Desain Modifikasi 1

### 4.2.3 Frekuensi Natural Desain Modifikasi 2

Hasil dari analisa modal yang dilakukan pada model desain modifikasi struktur blower menggunakan material *structural steel* didapatkan *mode shape* yang dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan Tabel 4.4 sebagai berikut.



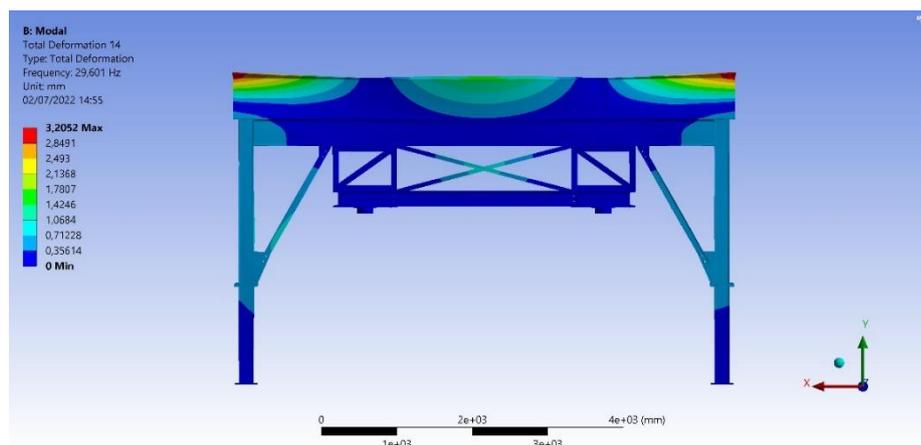
**Gambar 4. 10** Grafik Frekuensi Natural dan *Mode Shape* Desain Modifikasi 2

**Tabel 4. 4** Frekuensi *Mode Shape* Desain Modifikasi 2

Desain Modifikasi	
<i>Mode Shape</i>	Frekuensi natural (Hz)
1	3,1955
2	8,3554
3	9,7233
4	12,469
5	12,955
6	16,192
7	16,248
8	17,116
9	22,605
10	27,2
11	27,826
12	27,943
13	28,032
14	29,601
15	30,882

Desain Modifikasi	
Mode Shape	Frekuensi natural (Hz)
16	32,682
17	33,571
18	34,4
19	35,615
20	35,79

Dari Gambar 4.10 atau pada Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa frekuensi natural dan *mode shape* yang didapat dari simulasi analisa modal. Diketahui dari tabel jika frekuensi natural dari desain yang sudah dimodifikasi menggunakan material yang sama yaitu *structural steel*. Dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan *beam* dibagian tengah antara fan 1 dan fan 2 dan juga *cross beam* menunjukkan pergeseran *mode shape* dan natural frekuensi dimana pergeseran tersebut berada pada *mode shape* 14 di 29,601 Hz. Gambar 4.11 merupakan modus getar 14 di 29,601 Hz dari model desain yang sudah dimodifikasi menggunakan material *structural steel*.



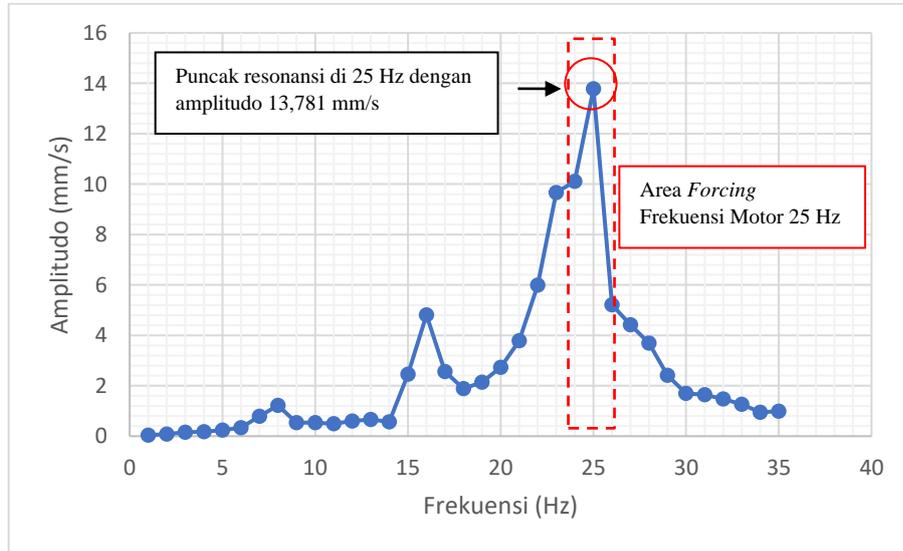
Gambar 4. 11 Mode Shape 14 di 29,601 Hz Desain Modifikasi 2

### 4.3 Pengujian Dinamis

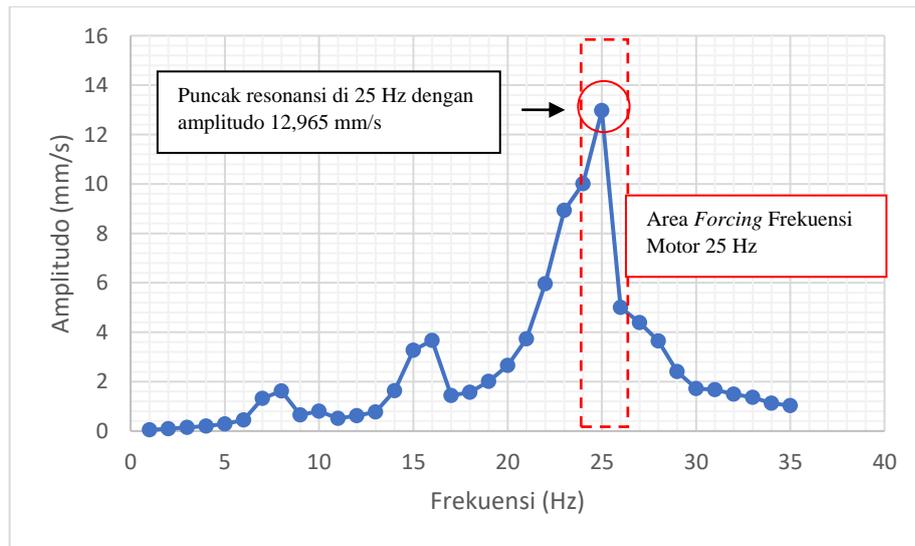
Dari analisa modal kemudian dapat dilanjutkan analisa harmonik. Pengujian dinamis ini dilakukan melalui simulasi *harmonic analysis*. Simulasi ini akan menjelaskan untuk mengetahui karakteristik dinamis dari masing-masing desain ketika diberikan beban harmonik. Hasil yang didapat dari pengujian *harmonic analysis* ini adalah *equivalent stress*, *directional deformation*, dan respon dinamis dari masing-masing fan. Dari simulasi didapatkan hasil yang diuraikan sebagai berikut.

### 4.3.1 Harmonic Response Analysis Desain Eksisting

#### 4.3.1.1 Respon Dinamis Desain Eksisting



(a)

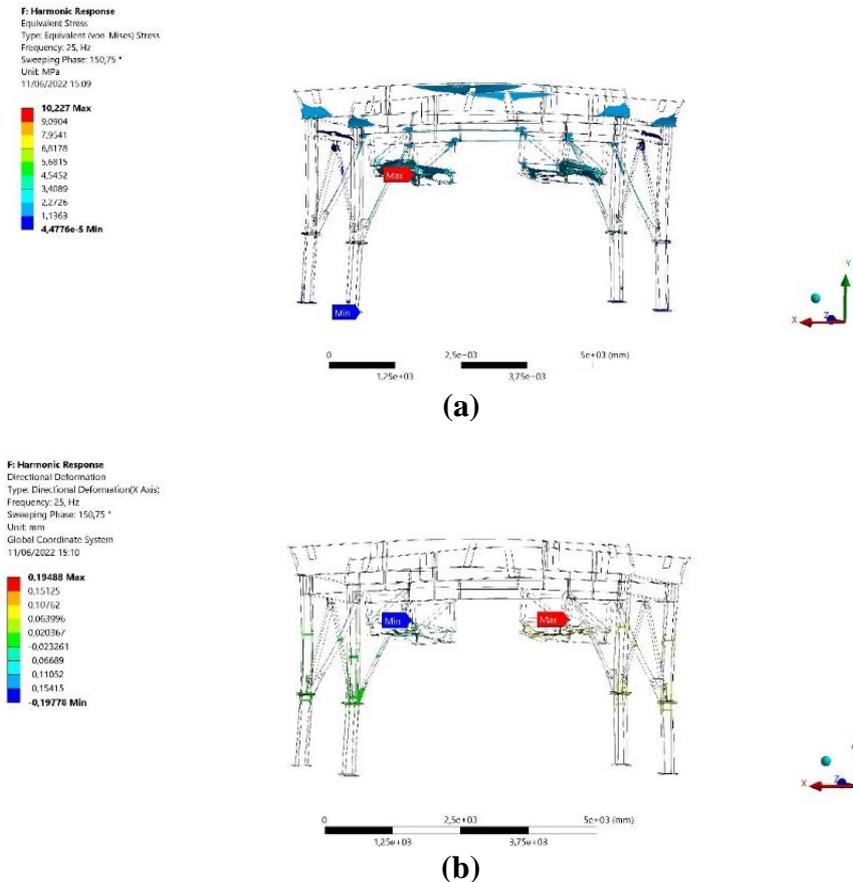


(b)

**Gambar 4. 12** Grafik Respon Dinamis Struktur Blower Desain Awal (a) Unit 1 (b) Unit 2

Pada gambar 4.12 menunjukkan respon dinamis dari struktur eksisting dimana pengambilan amplitudo getaran berada pada face motor pada unit fan 1 dan unit fan 2. Seperti yang dapat dilihat pada grafik bahwa resonansi terjadi pada 25 Hz dimana amplitudo getaran pada masing-masing unit sebesar 13,781 mm/s dan 12,965 mm/s. Saat kedua unit beroperasi bersamaan dimana amplitudo getaran ini terukur berkisaran 1-17 mm/s. Frekuensi pada 25 Hz ini sangat berhimpit dengan *forcing* frekuensi yang dihasilkan oleh motor.

### 4.3.1.2 Persebaran *Stress* dan Deformasi Direksional Desain Eksisting

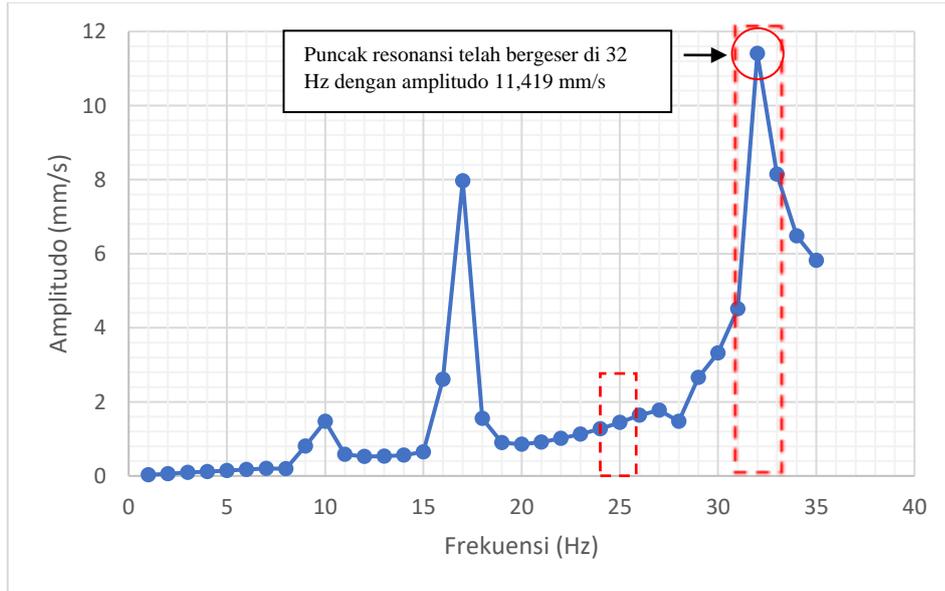


**Gambar 4. 13** Persebaran *Stress* dan Deformasi direksional pada Struktur Blower Desain Eksitasi (a) Persebaran *Stress* (b) Deformasi direksional

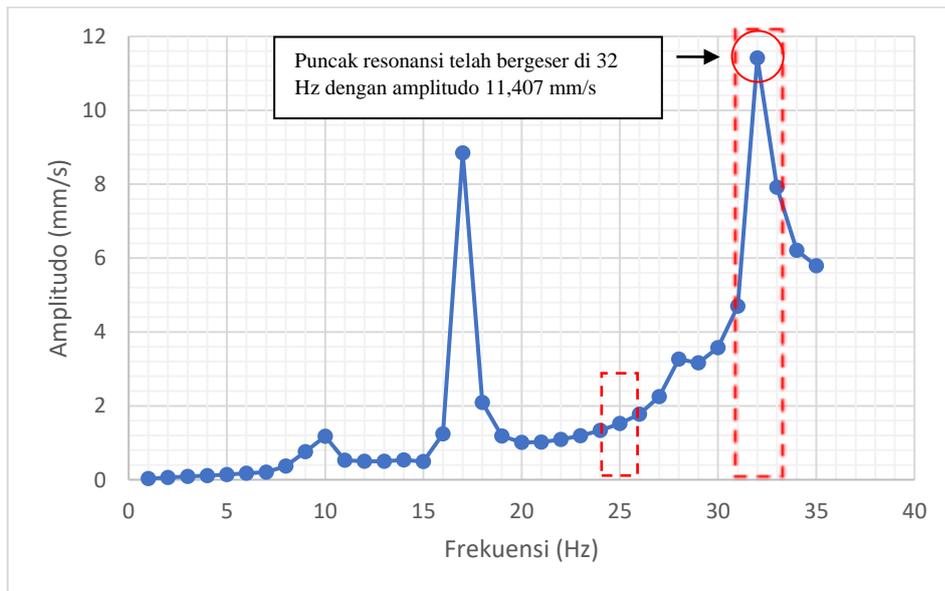
Pada gambar 4.13 (a) merupakan persebaran *stress* pada struktur blower desain awal. Persebaran *stress* ini ditampilkan secara *iso surface*, dapat dilihat bahwa persebaran *stress* dominan berada pada area *beam* bagian atas dan pada *beam* penopang masing-masing fan. Sedangkan untuk *stress* maksimum terjadi pada penopang fan. *Stress* maksimum pada desain awal memiliki nilai 10,227 MPa dimana nilai *stress* ini masih jauh dari nilai *yield strength* dari material yang dipakai yaitu *structural steel* sebesar 250 MPa. Sedangkan untuk gambar 4.13 (b) menunjukkan deformasi direksional pada sumbu x yang tersebar di beberapa komponen seperti pada kaki penopang dan penopang fan. Nilai deformasi maksimum memiliki nilai sebesar 0,19488 mm.

## 4.3.2 *Harmonic Response Analysis* Desain Modifikasi 1

### 4.3.2.1 Respon Dinamis Desain Modifikasi 1



(a)

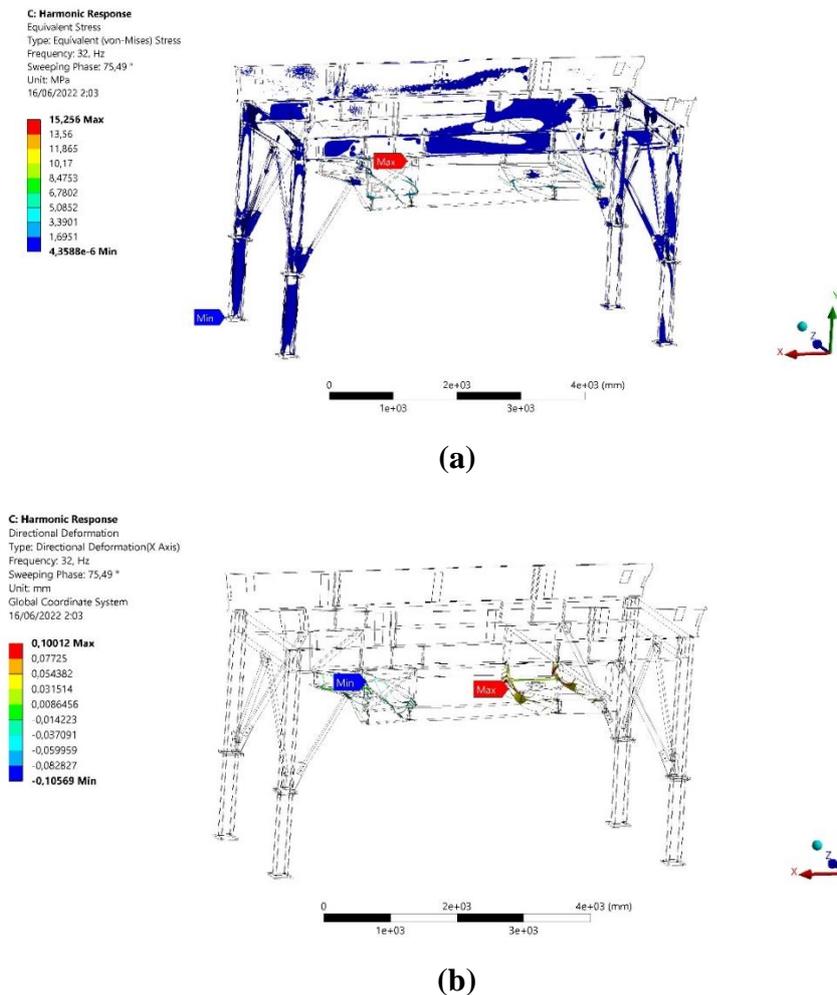


(b)

**Gambar 4. 14** Grafik Respon Dinamis Struktur Blower Modifikasi 1 (a) Unit 1 (b) Unit 2

Pada gambar 4.14 menunjukkan respon dinamis dari struktur yang sudah dimodifikasi dimana ada penambahan *beam* pada bagian antara fan 1 dan fan 2. Dapat dilihat pada grafik respon dinamis bahwa puncak resonansi telah bergeser dari 25 Hz ke 32 Hz yang diakibatkan oleh kekakuan struktur yang telah berubah, sehingga *forcing frequency* dari motor sudah tidak lagi menjadi area yang berbahaya yang diakibatkan oleh vibrasi yang tinggi. Resonansi yang terjadi pada frekuensi 32 Hz memiliki hasil amplitudo sebesar 11,407 mm/s dan 11,419 mm/s pada masing-masing unit. Tetapi terdapat amplitudo dengan puncak resonansi kedua di frekuensi 17 Hz dengan amplitudo 7,9699 mm/s dan 8,8471 mm/s.

### 4.3.2.2 Persebaran *Stress* dan Deformasi Direksional Desain Modifikasi 1

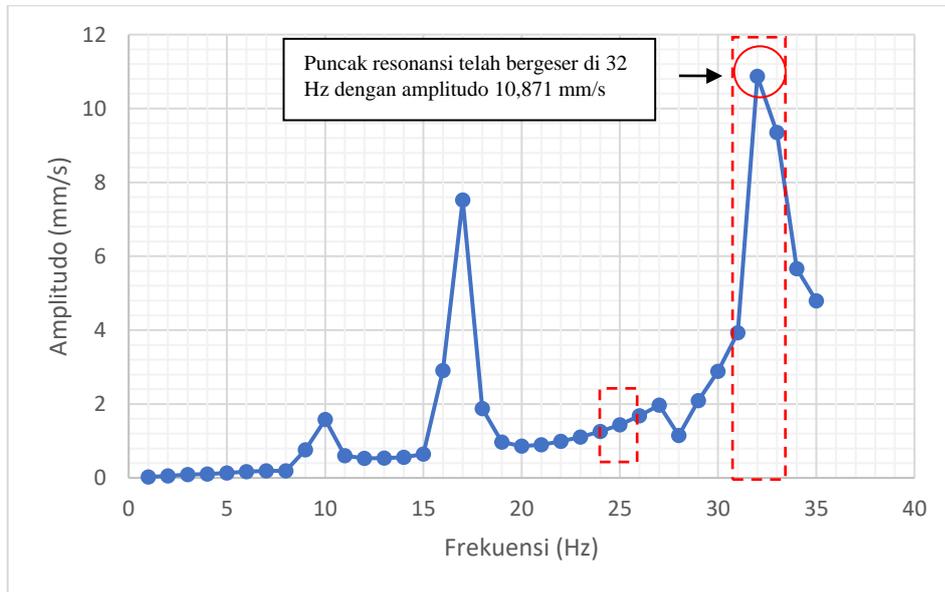


**Gambar 4. 15** Persebaran *Stress* dan Deformasi Direksional pada Struktur Blower Desain Modifikasi 1 (a) Persebaran *Stress* (b) Persebaran Deformasi Direksional

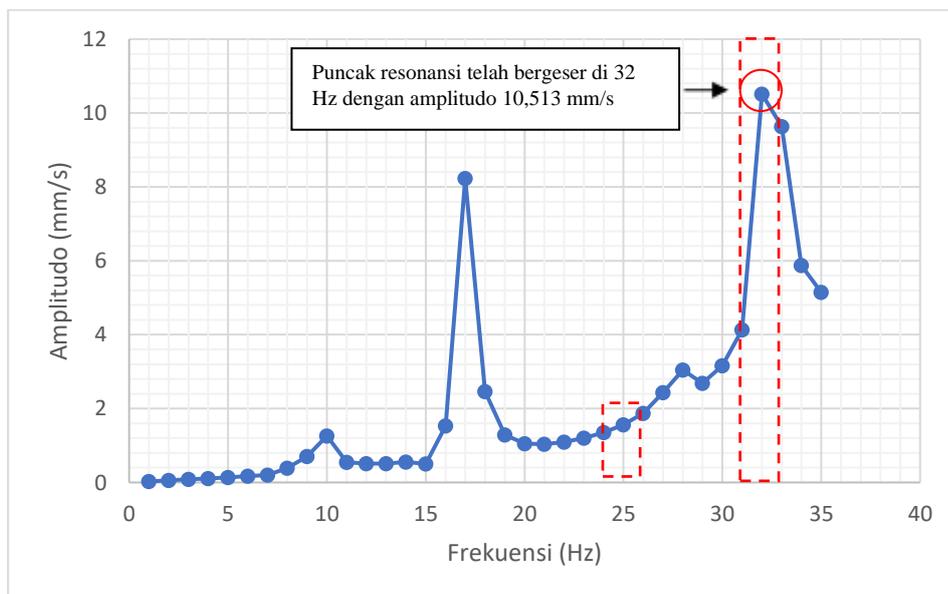
Pada gambar 4.15 (a) merupakan persebaran *stress* pada struktur blower desain modifikasi 1 dimana persebaran *stress* lebih merata ke seluruh bagian dari struktur. Dapat dilihat bahwa *stress* maksimum terjadi pada *beam* penopang fan dan untuk *stress* minimum terjadi pada kaki penopang. *Stress* maksimum memiliki nilai sebesar 15,256 MPa dimana nilai ini masih jauh dari nilai *yield strength* dari material yang digunakan yaitu *structural steel*. Pada gambar 4.15 (b) menunjukkan bahwa deformasi direksional pada arah sumbu x terjadi pada area *beam* penopang fan. Deformasi direksional maksimum terjadi di *beam* penopang fan yang memiliki nilai sebesar 0,10012 mm.

### 4.3.3 Harmonic Response Analysis Desain Modifikasi 2

#### 4.3.3.1 Respon Dinamis Desain Modifikasi 2



(a)



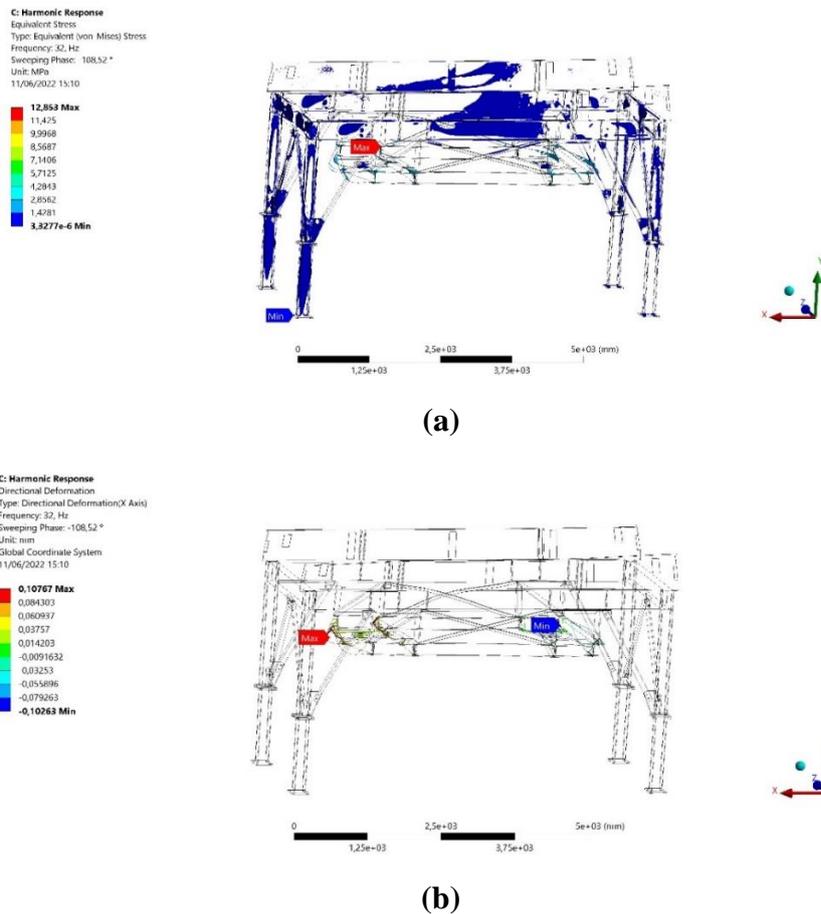
(b)

**Gambar 4.16** Grafik Respon Dinamis Struktur Blower Desain Modifikasi 2 (a) Unit 1 (b) Unit 2

Pada gambar 4.16 menunjukkan respon dinamis dari struktur yang sudah dimodifikasi dimana ada penambahan *beam* pada area antara fan 1 dan fan 2 dan juga *cross beam*. Dapat dilihat pada grafik respon dinamis bahwa puncak resonansi telah bergeser dari 25 Hz ke 32 Hz yang diakibatkan oleh kekakuan struktur yang telah berubah, sehingga *forcing* frekuensi dari motor sudah tidak lagi menjadi area yang berbahaya yang diakibatkan oleh vibrasi yang tinggi. Resonansi yang terjadi pada frekuensi 32 Hz memiliki hasil amplitudo sebesar 10,871 mm/s dan 10,513

mm/s pada masing-masing unit. Namun terdapat amplitudo dengan puncak kedua di frekuensi 17 Hz dengan amplitudo sebesar 7,5202 mm/s dan 8,2315 mm/s.

### 4.3.3.2 Persebaran *Stress* dan Deformasi Direksional *Desain Modifikasi 2*



**Gambar 4. 17** Persebaran *Stress* dan Deformasi Direksional pada Struktur Blower Desain Modifikasi 2 (a) Persebaran *Stress* (b) Persebaran Deformasi Direksional

Pada Gambar 4.17(a) merupakan Persebaran *stress* pada struktur blower desain modifikasi 2 menunjukkan dimana terlihat persebaran *stress* lebih merata ke seluruh *beam* atau *frame*. *Stress* maksimum terjadi di *beam* bagian tengah dan memiliki nilai *stress* maksimum sebesar 12,853 MPa dimana nilai *stress* ini juga masih jauh dari nilai *yield strength* pada material *structural steel*. Sedangkan untuk Gambar 4.17 (b) menunjukkan bahwa deformasi direksional pada arah sumbu x yang berada pada area *beam* penopang fan. Deformasi direksional maksimum juga terjadi pada *beam* penopang unit fan dengan nilai maksimum sebesar 0,10767 mm.

*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan analisa data dan pembahasan dari setiap simulasi, penulis dapat menarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Setelah dilakukan modifikasi pada struktur blower dengan adanya penambahan beam untuk menggeser natural frekuensi agar jauh dari frekuensi eksitasi. Dengan adanya modifikasi ini natural frekuensi sudah bergeser jauh dari frekuensi eksitasi yang dihasilkan oleh motor.
2. Pada simulasi statis didapatkan hasil :
  - a. Pada desain eksitasi menggunakan material *structural steel* memiliki *stress* maksimum sebesar 46,665 MPa dan deformasi maksimum sebesar 0,64709 mm. sedangkan untuk nilai *safety factor* yaitu sebesar 5,36.
  - b. Pada desain modifikasi 1 menggunakan material *structural steel* memiliki *stress* maksimum sebesar 72,311 MPa dan deformasi maksimum sebesar 0,46035 mm. sedangkan untuk nilai *safety factor* yaitu sebesar 3,45.
  - c. Pada desain modifikasi 2 menggunakan material *structural steel* memiliki *stress* maksimum sebesar 70,079 MPa dan deformasi maksimum sebesar 0,45844 mm. sedangkan untuk nilai *safety factor* yaitu sebesar 3,56.

Pada desain modifikasi nilai *stress* yang dihasilkan berbeda jauh daripada desain eksitasi. Perbedaan itu terjadi karena adanya penambahan *beam* yang mengakibatkan kenaikan massa pada struktur. Sedangkan untuk nilai deformasi tidak terlalu jauh antara desain eksitasi dan modifikasi. Nilai deformasi desain eksitasi lebih besar daripada desain modifikasi. Hal ini karena desain modifikasi terdapat penambahan *beam*. Selain itu untuk nilai dari *safety factor* pada desain eksitasi, desain modifikasi 1, dan desain modifikasi 2 masih aman karena nilai dari *safety factor* diatas 1. Jadi untuk struktur blower desain eksitasi dan modifikasi tidak akan mengalami kerusakan jika hanya dianalisa dengan analisa statis.

3. Pada simulasi dinamis didapatkan hasil :
  - a. Pada desain eksitasi puncak resonansi terjadi pada 25 Hz dimana amplitudo getaran pada masing-masing unit sebesar 13,781 mm/s dan 12,965 mm/s. *Stress* maksimum pada desain eksitasi memiliki nilai 10,227 MPa dan deformasi direksional sebesar 0,19488 mm.
  - b. Pada desain modifikasi 1 puncak resonansi telah bergeser dari 25 Hz ke 32 Hz. Resonansi yang terjadi pada frekuensi 32 Hz memiliki hasil amplitudo sebesar 11,407 mm/s dan 11,419 mm/s. *Stress* maksimum memiliki nilai sebesar 15,256 MPa dan deformasi direksional sebesar 0,10012 mm.
  - c. Pada desain modifikasi 2 puncak resonansi telah bergeser dari 25 Hz ke 32 Hz. Resonansi yang terjadi pada frekuensi 32 Hz memiliki hasil amplitudo sebesar 10,871 mm/s dan 10,513 mm/s. *Stress* maksimum sebesar 12,853 MPa dan deformasi direksional sebesar 0,10767 mm.

Dari hasil analisa simulasi dinamis yang didapatkan bahwa modifikasi 1 dan modifikasi 2 untuk respon dinamis yang dihasilkan tidak berbeda jauh dikarenakan modifikasi yang hampir sama pada struktur. Tetapi untuk menghemat biaya modifikasi

1 lebih murah dibandingkan modifikasi 2 karena hanya ada penambahan *beam* pada bagian fan 1 dan fan 2 saja.

## **5.2 Saran**

Saran yang dapat penulis berikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Menambah variasi modifikasi desain struktur blower agar dapat diketahui desain mana yang terbaik, baik dari kekuatan struktur saat menerima pembebanan statis dan dinamis serta respon dinamis yang dihasilkan.
2. Menambah variasi material agar dapat diketahui material yang cocok untuk struktur blower

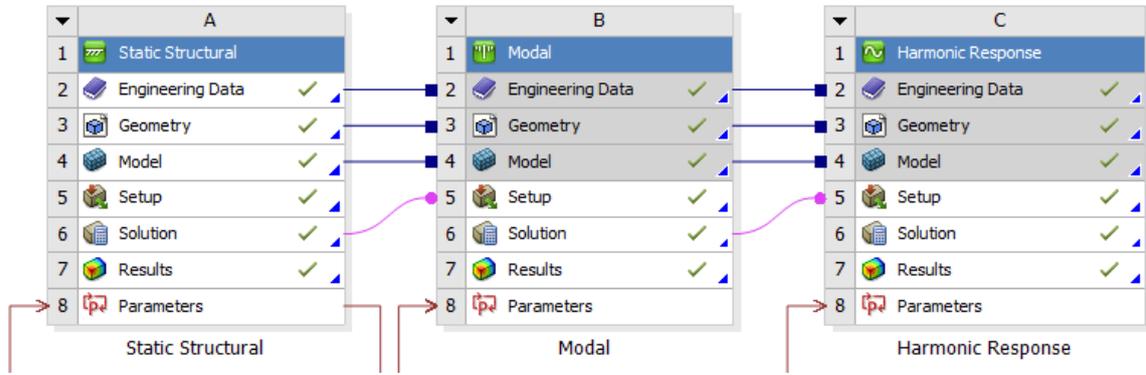
## DAFTAR PUSTAKA

- Fallis, A. (2013). Bab II Landasan Teori. *Journal of Chemical Information and Modelling*, 53(9), 1689-1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Francis, V., Rai, R., Singh, S. K., & Yadav, H. (2014). Structural Analysis of Ladder Chassis Frame for Jeep Using Ansys. *International Journal of Modern Engineering Research*, 4(4), 41-47.
- Kelly, S. G. (2012). Mechanical Vibration : Theory and Applications. *Stamford: Global Engineering: Shristopher M. Shortt*.
- Pedrammehr, S., Farrokhi, H., Rajab, A. K., Pakzad, S., Mahboubkhah, M., Ettefagh, M. M., & Sadeghi, M. H. (2012). Modal Analysis of the Miling Machine Structure through FEM and Experimental Test. *Advanced Materials Research*, 6717-6721. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.383-390.6717>
- Rachman, F. A. (2019). Analisa Pengaruh Diameter Impeller Pada Unjuk Kerja Blower Sentrifugal. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:EIbFtnb9vwAJ:repository.umsu.ac.id/bitstream/123456789/7635/1/SKRIPSI%2520FARIZ%2520AULIA%2520RACHMAN.pdf+&cd=2&hl=id&ct=clnk&gl=id&client=firefox-b-d>
- Rao, S. (2011). Mechanical Vibration Fifth Edition.
- Singh, A., Ahmad, F., & Saini, N. K. (2019). Finite Element Analysis BAsed Vibration behavior on Warren Truss Bridge. *International Journal of Applied Engineering Research*, 14(9), 215-219. <http://www.ripublication.com>
- Sumiyanto., Sapura, R., & Darmawan, R. R. (2021). Analisa Perbandingan Kualitas Katup Original, Katup Original Ex-Pakai dan Katup Imitasi Sepeda Motor YJZ 10CC. *Jurnal Tera*, 1(1), 84-97. <http://jurnal.undira.ac.id/index.php/tera/>
- Wong, Y. J., Hashim, M. S., Shahrman, A. B., Rahman, A., Aziz, I. A., Saad, M. A., & Faizi, M. K. (2021). Study on Modal and Harmonic Response Analysis by Modifying Motorcycle Chassis using Finite Element Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1-6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2051/1/012004>
- Yildirim, S., & Esim, E. (2019). Harmonic Response Analysis of Double Bridge Crane System on Multi Carriages. *International Conference on Engineering and natural Science*, 90-96.

*“Halaman ini sengaja di kosongkan”*

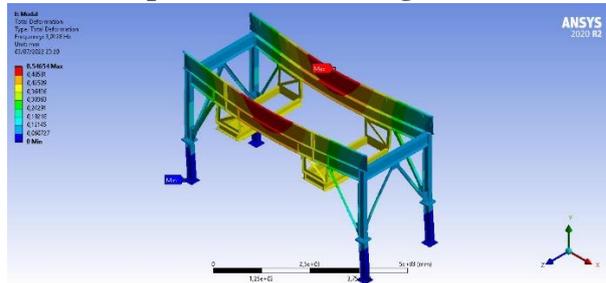
# LAMPIRAN

## Alur Simulasi Ansys

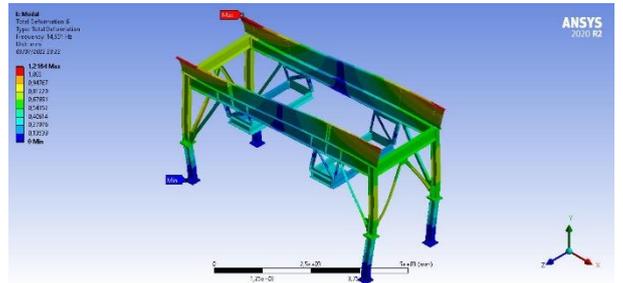


# Analisa Modal

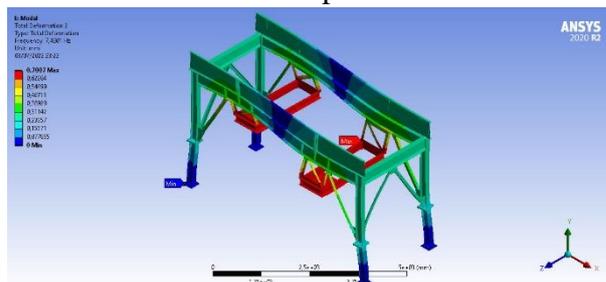
## Mode Shape Desain Eksisting



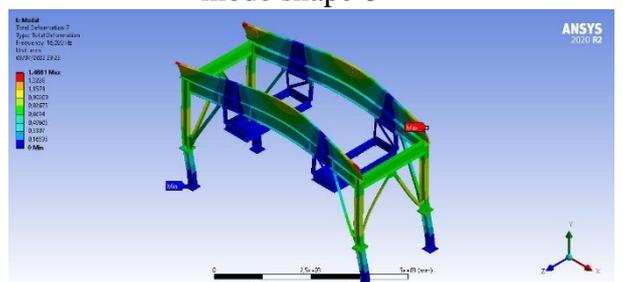
mode shape 1



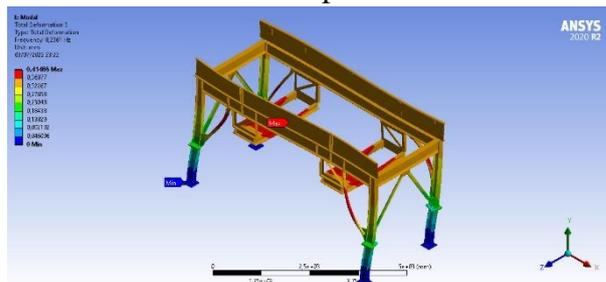
mode shape 6



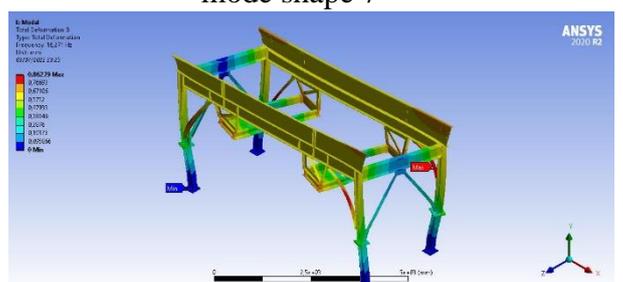
mode shape 2



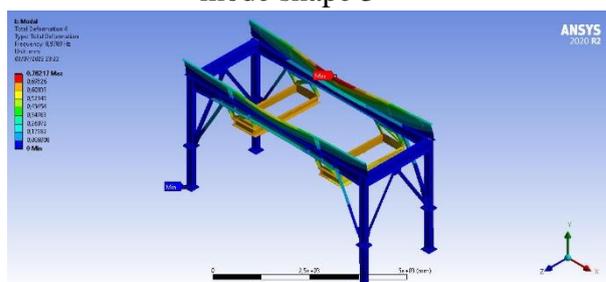
mode shape 7



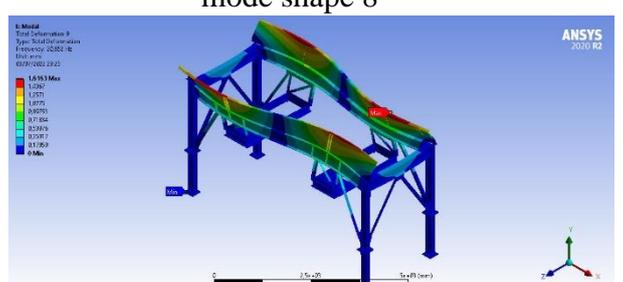
mode shape 3



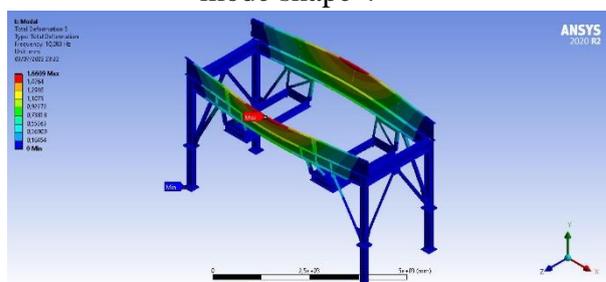
mode shape 8



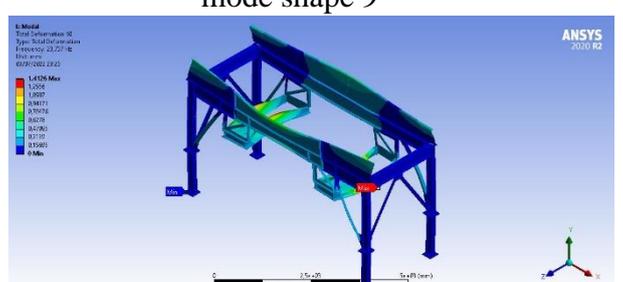
mode shape 4



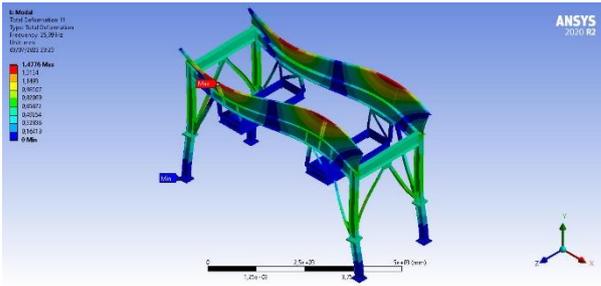
mode shape 9



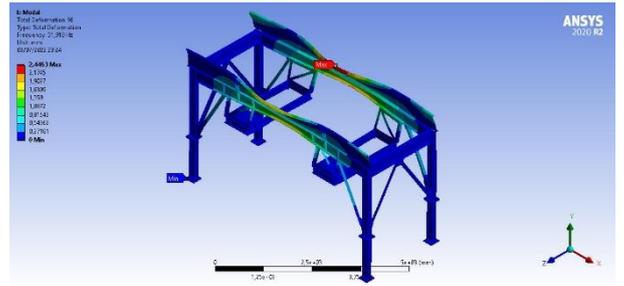
mode shape 5



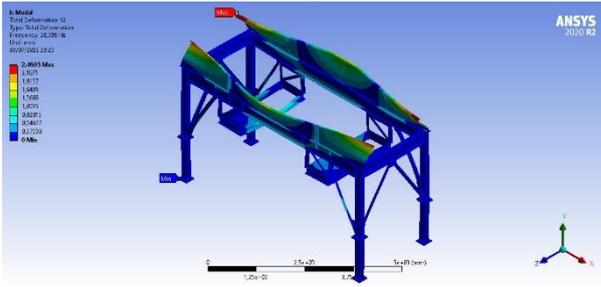
mode shape 10



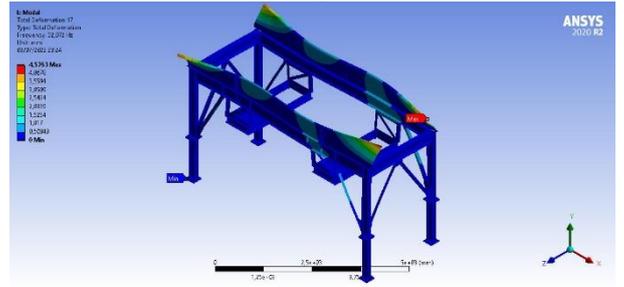
mode shape 11



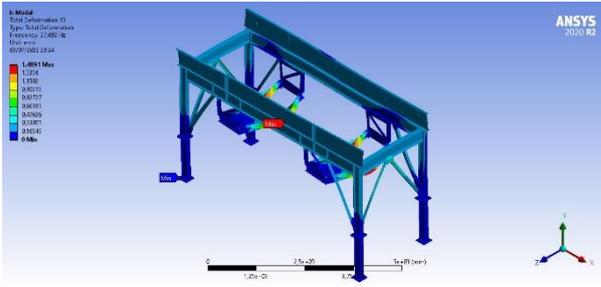
mode shape 16



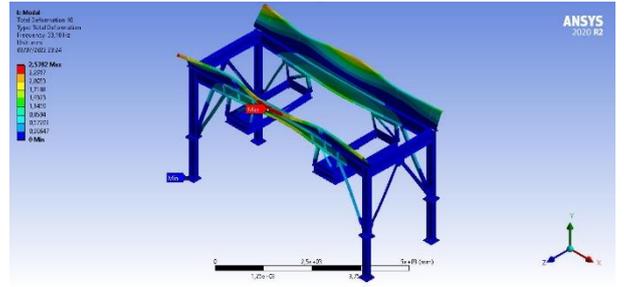
mode shape 12



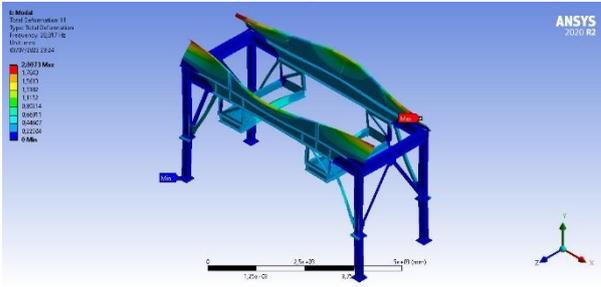
mode shape 17



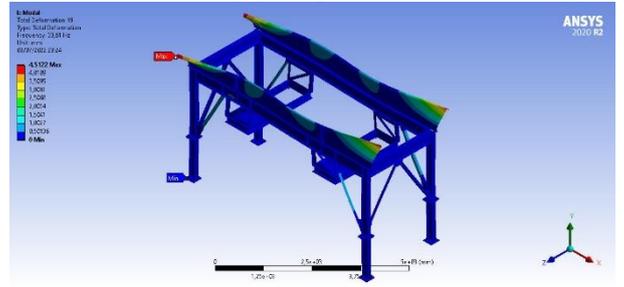
mode shape 13



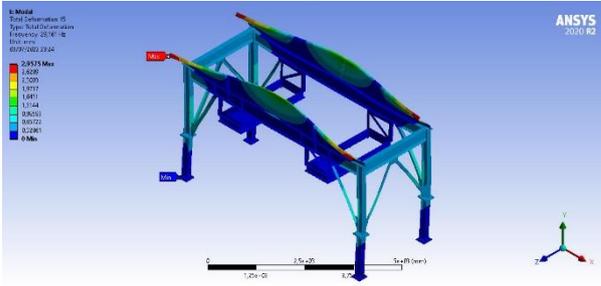
mode shape 18



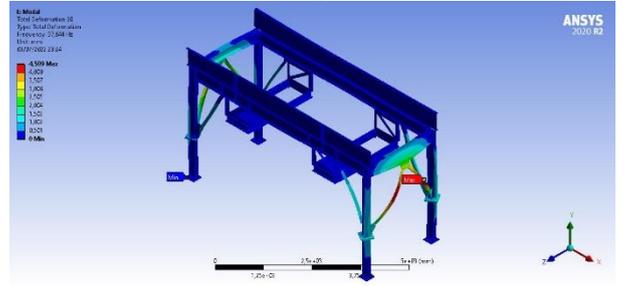
mode shape 14



mode shape 19

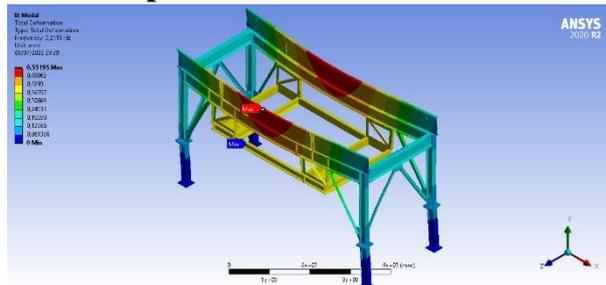


mode shape 15

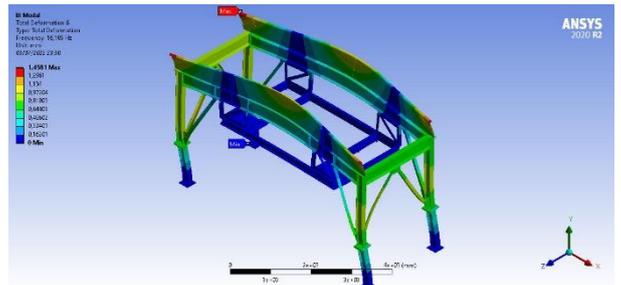


mode shape 20

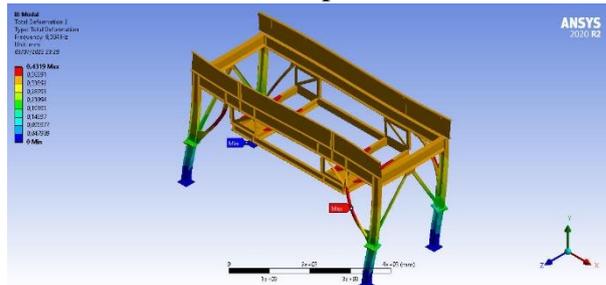
# Mode Shape Desain Modifikasi 1



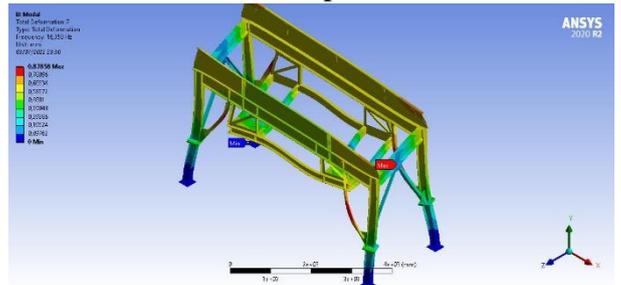
mode shape 1



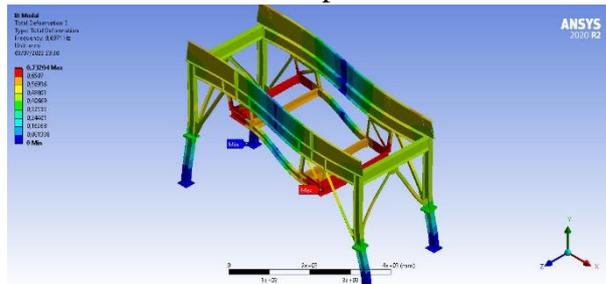
mode shape 6



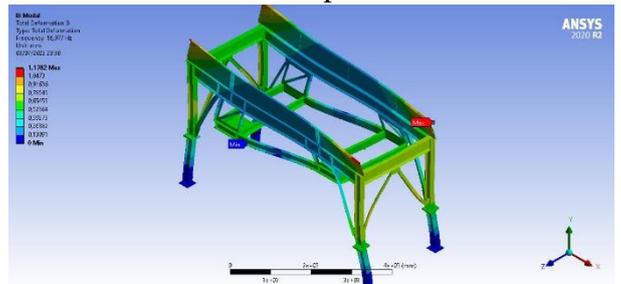
mode shape 2



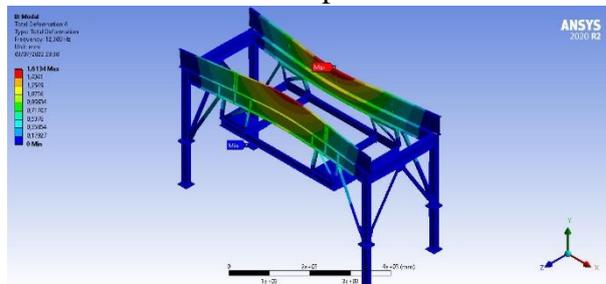
mode shape 7



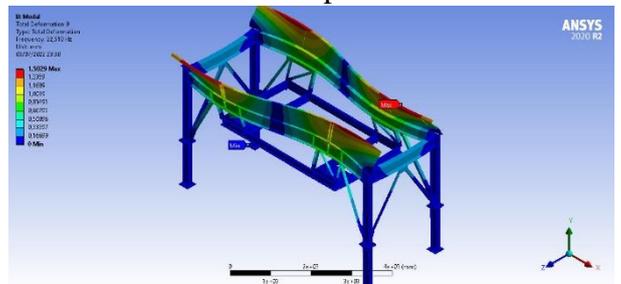
mode shape 3



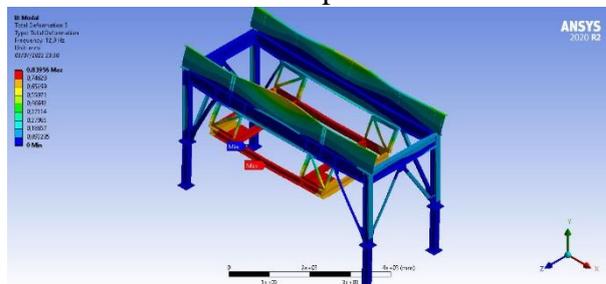
mode shape 8



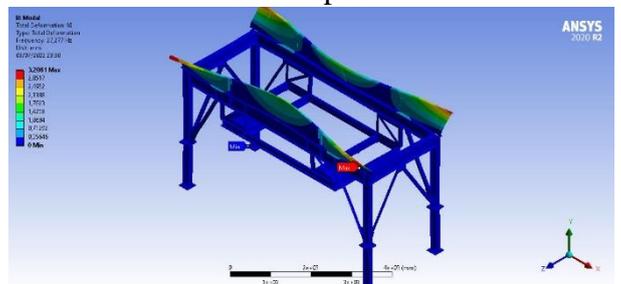
mode shape 4



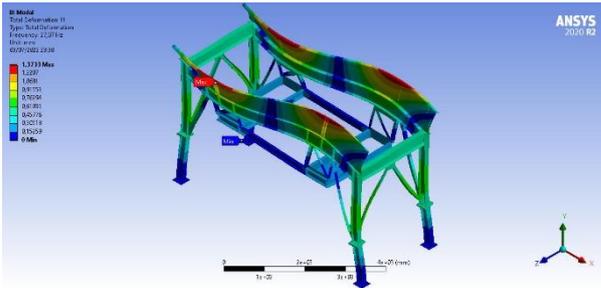
mode shape 9



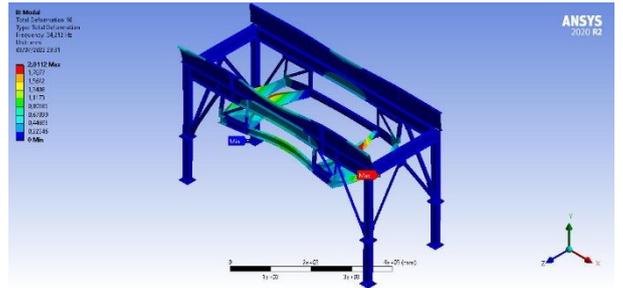
mode shape 5



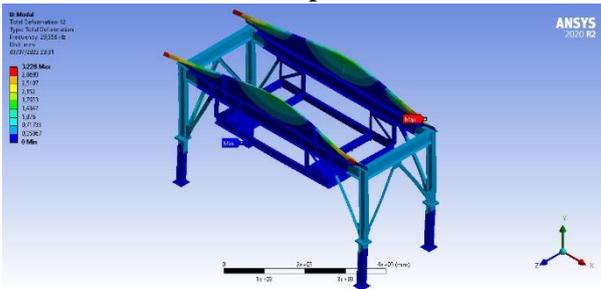
mode shape 10



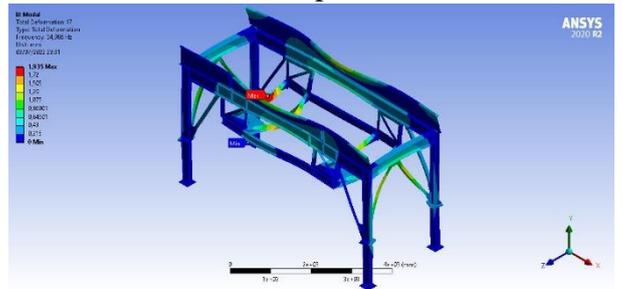
mode shape 11



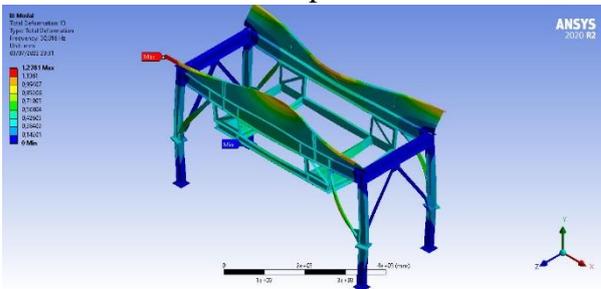
mode shape 16



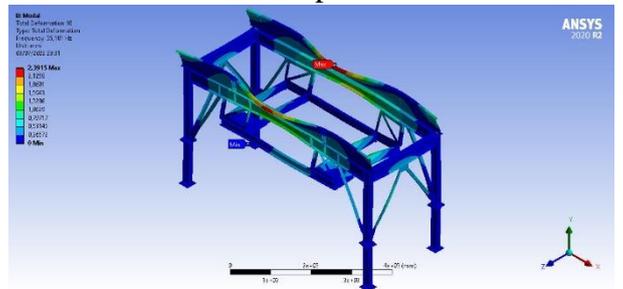
mode shape 12



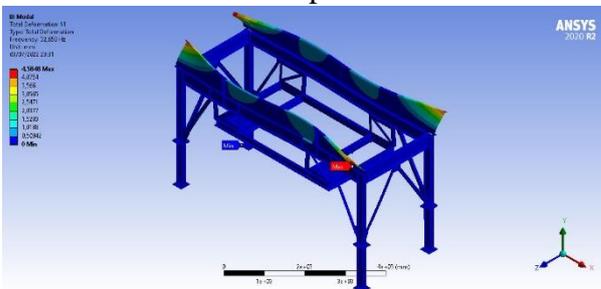
mode shape 17



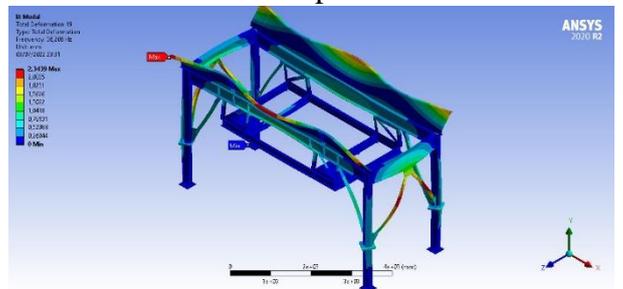
mode shape 13



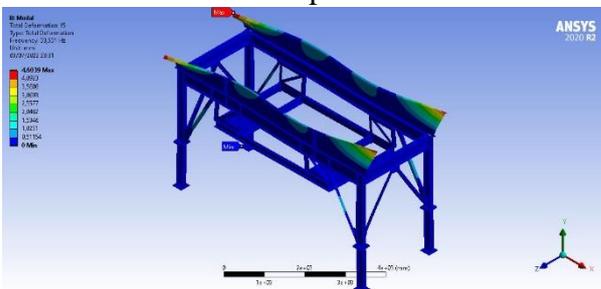
mode shape 18



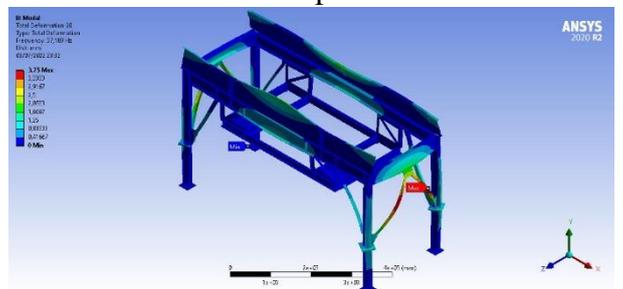
mode shape 14



mode shape 19

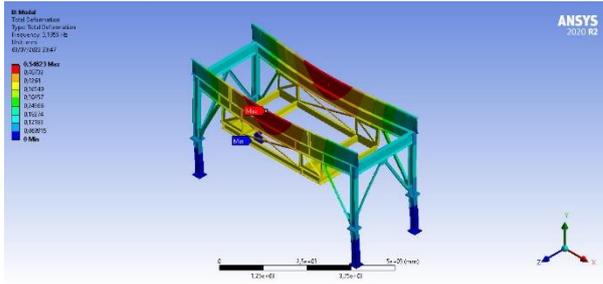


mode shape 15

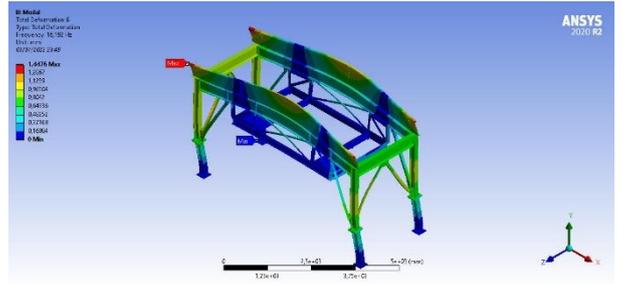


mode shape 20

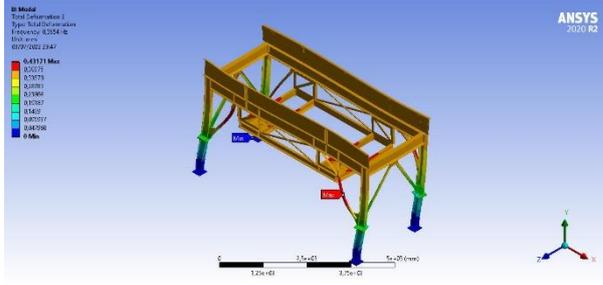
# Mode Shape Desain Modifikasi 2



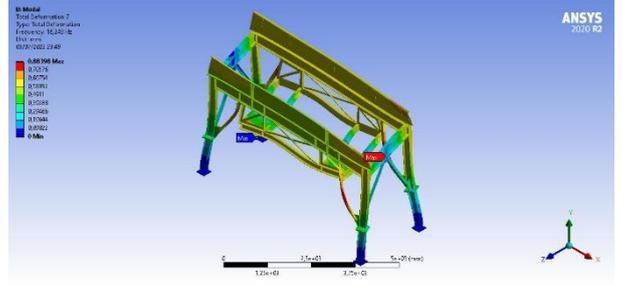
mode shape 1



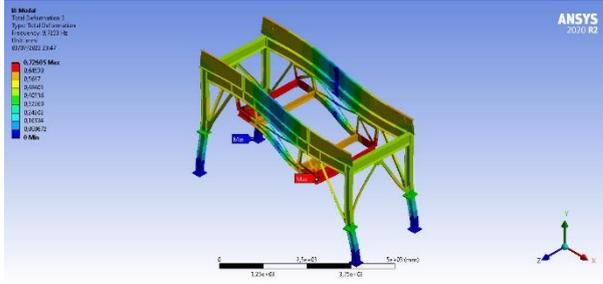
mode shape 6



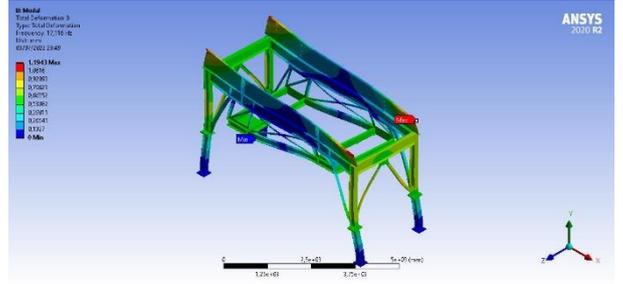
mode shape 2



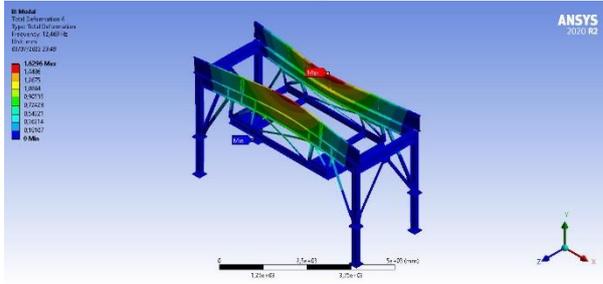
mode shape 7



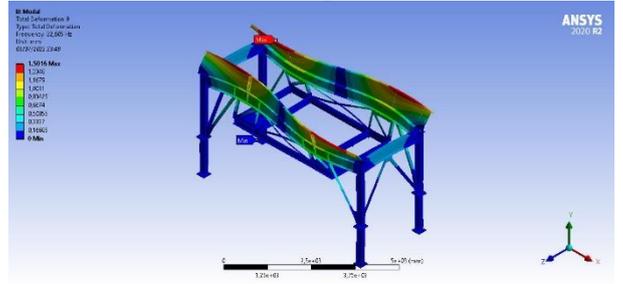
mode shape 3



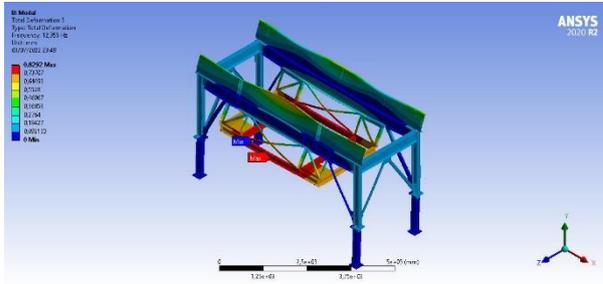
mode shape 8



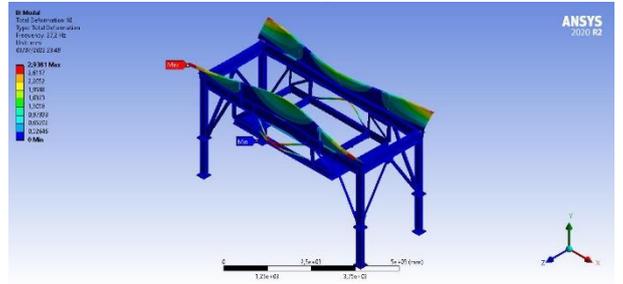
mode shape 4



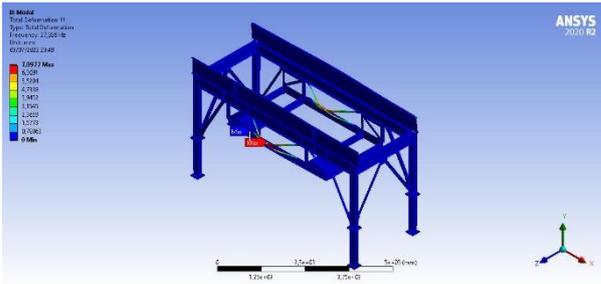
mode shape 9



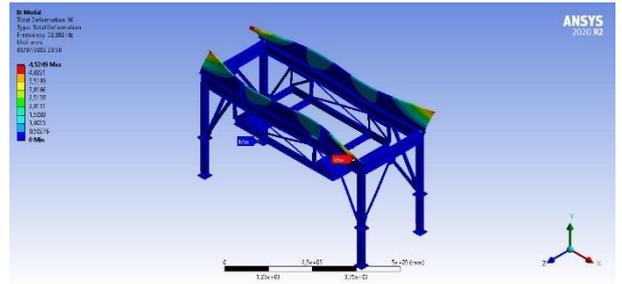
mode shape 5



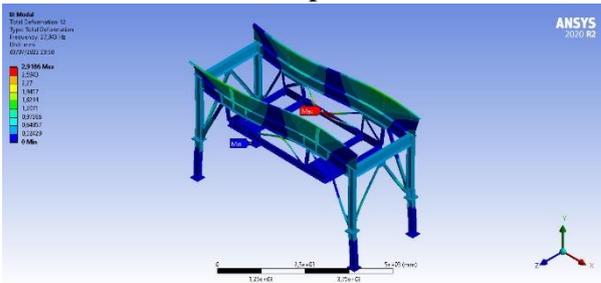
mode shape 10



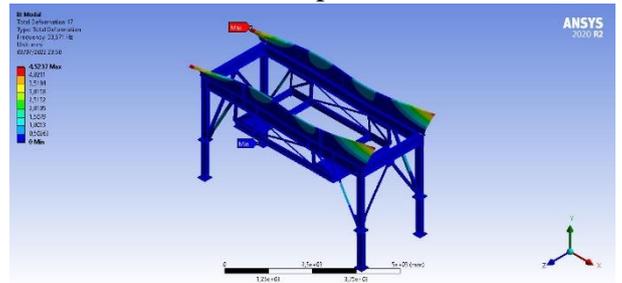
mode shape 11



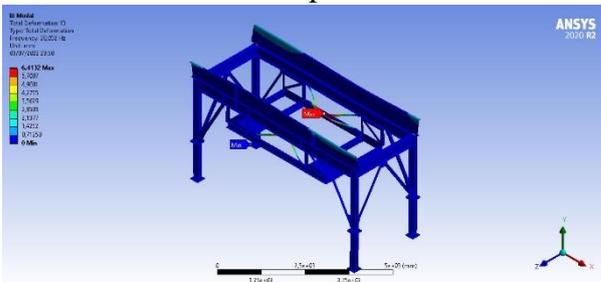
mode shape 16



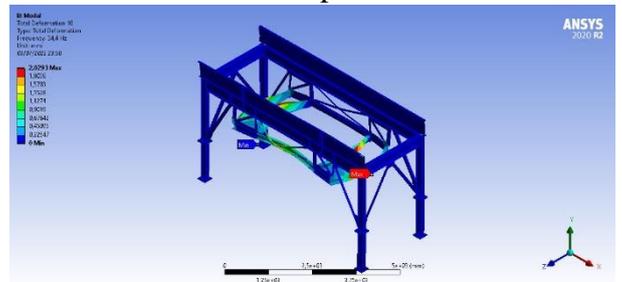
mode shape 12



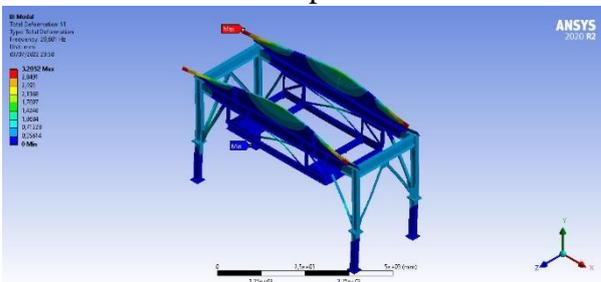
mode shape 17



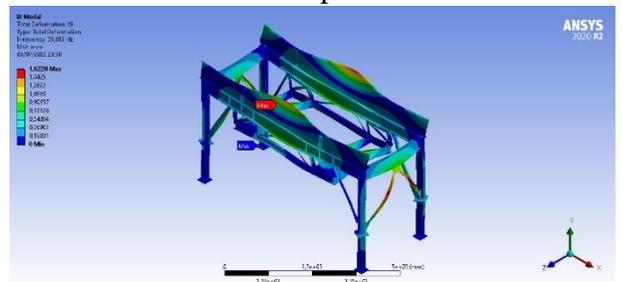
mode shape 13



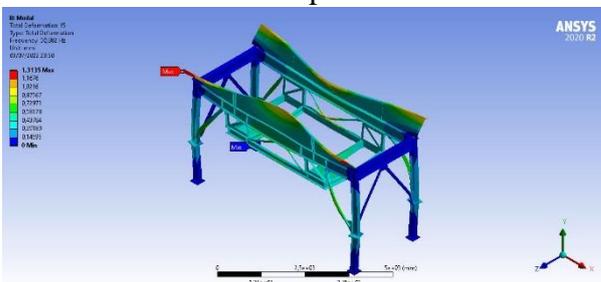
mode shape 18



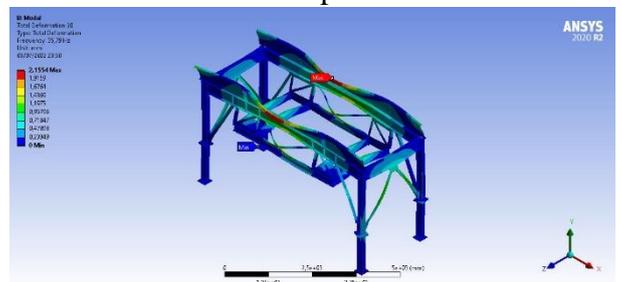
mode shape 14



mode shape 19



mode shape 15



mode shape 20

**Analisa *Harmonic Response***  
**Respon Dinamis Desain Eksisting**

Unit Fan 1		
Frekuensi (Hz)	Amplitudo (mm/s)	Phase Angle (°)
1	4,24E-02	75,523
2	8,60E-02	74,573
3	0,15244	67,566
4	0,17825	67,672
5	0,23768	61,065
6	0,33322	46,411
7	0,79471	4,3654
8	1,219	164,96
9	0,5325	113,34
10	0,53634	74,446
11	0,49338	107,95
12	0,60039	100,64
13	0,66573	90,366
14	0,56803	31,828
15	2,461	167,17
16	4,8115	124,28
17	2,5678	51,953
18	1,8922	66,293
19	2,1419	74,715
20	2,7267	77,794
21	3,7881	77,459
22	5,9934	73,437
23	9,665	56,746
24	10,105	-15,824
25	13,781	-28,991
26	5,217	-72,801
27	4,424	-80,017
28	3,6944	-89,62
29	2,416	-111,55
30	1,6954	-93,31
31	1,6468	-90,845
32	1,474	-95,728
33	1,2651	-100,88
34	0,95311	-89,38
35	0,98654	-85,452

Unit Fan 2		
Frekuensi (Hz)	Amplitudo (mm/s)	Phase Angle (°)
1	4,46E-02	-65,711
2	9,13E-02	-64,565
3	0,14875	-71,092
4	0,19775	-58,477
5	0,2811	-51,884
6	0,44879	-41,156
7	1,3185	-31,098
8	1,6216	-160,1
9	0,65449	-129,35
10	0,80397	-139,03
11	0,51465	-113,19
12	0,61886	-102,3
13	0,76597	-89,127
14	1,636	-67,214
15	3,268	-150,7
16	3,6695	151,33
17	1,437	-24,761
18	1,5709	-73,884
19	2,0106	-86,646
20	2,6546	-92,676
21	3,7308	-97,291
22	5,9554	-103,97
23	8,935	-122,33
24	10,004	155,38
25	12,965	150,75
26	5,0002	106,87
27	4,3837	99,873
28	3,6447	90,056
29	2,4075	68,926
30	1,7144	86,665
31	1,671	89,215
32	1,4966	84,931
33	1,3591	82,953
34	1,1221	84,124
35	1,0315	87,695

## Respon Dinamis Desain Modifikasi 1

Unit Fan 1		
Frekuensi (Hz)	Amplitudo (mm/s)	Phase Angle (°)
1	2,83E-02	85,338
2	5,69E-02	85,469
3	8,98E-02	85,375
4	0,11201	85,654
5	0,14234	86,32
6	0,17273	86,726
7	0,20166	85,003
8	0,19478	40,971
9	0,80393	153,15
10	1,4721	42,323
11	0,58504	42,507
12	0,52133	51,09
13	0,53056	53,225
14	0,55837	58,718
15	0,64908	71,933
16	2,6096	93,249
17	7,9699	-74,37
18	1,5535	-177,47
19	0,90029	140,99
20	0,85231	118,03
21	0,91341	105,84
22	1,0099	98,636
23	1,1299	93,793
24	1,2729	90,013
25	1,4423	86,538
26	1,6362	82,427
27	1,7717	75,28
28	1,4708	93,25
29	2,66	91,499
30	3,3179	85,485
31	4,5086	81,873
32	11,407	75,49
33	8,149	62,465
34	6,476	18,487
35	5,815	-46,408

Unit Fan 2		
Frekuensi (Hz)	Amplitudo (mm/s)	Phase Angle (°)
1	2,82E-02	-85,591
2	5,68E-02	-85,838
3	8,94E-02	-86,893
4	0,11152	-86,947
5	0,14166	-87,527
6	0,17223	-88,122
7	0,2068	-86,82
8	0,3711	-68,233
9	0,75646	-166,65
10	1,1765	19,542
11	0,52515	-34,51
12	0,49782	-51,002
13	0,49606	-56,369
14	0,5374	-59,016
15	0,48909	-66,296
16	1,2423	101,54
17	8,8471	-76,833
18	2,0892	-138,24
19	1,1803	-128,47
20	1,0129	-116,5
21	1,0173	-108,15
22	1,0865	-102,65
23	1,1934	-98,907
24	1,3347	-96,085
25	1,5188	-93,656
26	1,7749	-90,979
27	2,2479	-87,495
28	3,2635	-100,36
29	3,1619	-106,77
30	3,5713	-105,67
31	4,6964	-105,09
32	11,419	-108,98
33	7,913	-120,41
34	6,208	-163,55
35	5,795	130,78

## Respon Dinamis Desain Modifikasi 2

Unit Fan 1		
Frekuensi (Hz)	Amplitudo (mm/s)	Phase Angle (°)
1	2,73E-02	83,282
2	5,51E-02	83,429
3	8,73E-02	83,404
4	0,10837	83,537
5	0,13761	84,229
6	0,16692	84,625
7	0,19488	82,678
8	0,19495	32,786
9	0,76213	152,52
10	1,5818	43,117
11	0,60224	39,828
12	0,52752	47,878
13	0,53688	49,749
14	0,5613	54,886
15	0,64687	68,912
16	2,9038	87,21
17	7,5202	-54,066
18	1,8757	-170,61
19	0,96838	148,25
20	0,85822	123,39
21	0,89934	109,37
22	0,98912	100,96
23	1,109	95,198
24	1,2559	90,785
25	1,4409	86,733
26	1,6813	81,757
27	1,9677	70,923
28	1,146	59,802
29	2,093	92,191
30	2,8868	86,482
31	3,9306	82,086
32	10,871	76,443
33	9,3496	65,323
34	5,6643	30,561
35	4,791	-40,779

Unit Fan 2		
Frekuensi (Hz)	Amplitudo (mm/s)	Phase Angle (°)
1	2,79E-02	-83,05
2	5,62E-02	-83,29
3	8,92E-02	-84,597
4	0,10997	-84,31
5	0,13978	-84,84
6	0,17002	-85,34
7	0,20484	-83,813
8	0,38919	-65,806
9	0,70653	-165,69
10	1,2624	22,857
11	0,54612	-32,128
12	0,51403	-47,608
13	0,50914	-53,628
14	0,55508	-55,404
15	0,50096	-61,586
16	1,5304	87,635
17	8,2315	-59,421
18	2,46	-139,54
19	1,2866	-132,47
20	1,0539	-120,33
21	1,035	-111,16
22	1,0959	-104,94
23	1,2015	-100,59
24	1,3523	-97,438
25	1,5587	-95,019
26	1,8687	-93,179
27	2,4357	-94,318
28	3,0468	-112,08
29	2,689	-111,84
30	3,1602	-107,17
31	4,136	-106,12
32	10,513	-108,52
33	9,635	-117,47
34	5,8782	-150,47
35	5,149	138,59

## BIODATA PENULIS



**Muchammad Alfien Darmawan** dilahirkan di Probolinggo, 22 April 1999 merupakan anak pertama yang dilahirkan dari orangtua bernama Bapak Hanapi dan Ibu Eny Indra Herowati. Riwayat pendidikan penulis diawali di SDN Sukodadi 2, kemudian SMPN 1 Kraksaan, dan SMAN 1 Kraksaan. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan jenjang S-1 Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun non akademik di lingkungan kampus Teknik Mesin FTIRS. Penulis pernah menjadi anggota Ash-Shaff dalam periode kepengurusan 2018/2019 sebagai staff ukhuwah. Pada periode kepengurusan 2019/2020, penulis menjadi Kepala Biro Minat Bakat Dagri Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM). Dalam kegiatan akademik, penulis aktif menjadi asisten Praktikum Mekanika Getaran dan juga seragkaian kegiatan kampus. Untuk kritik dan saran dari pembaca terkait penelitian ini, maupun hal lainnya dapat melalui kontak pada email [alfindarmawan@gmail.com](mailto:alfindarmawan@gmail.com)