

**SKRIPSI**

**ANALISIS GETARAN PADA SANDWICH ALUMINIUM  
FOAM MENGGUNAKAN *SOFTWARE* ABAQUS BERBASIS  
METODE ELEMEN HINGGA**

**Disusun dan Diajukan oleh :**

**JUANDI**

**D021181318**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**  
**ANALISIS GETARAN PADA SANDWICH ALUMINIUM FOAM**  
**MENGGUNAKAN *SOFTWARE* ABAQUS BERBASIS METODE ELEMEN**  
**HINGGA**

Disusun dan diajukan oleh

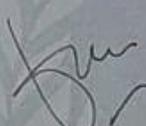
**JUANDI**  
**D021 18 1318**

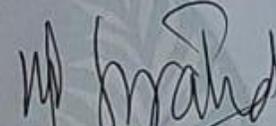
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal *28 November 2023*  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

  
**Fauzan, S.T., M.T., Ph.D**  
NIP. 197701032008011009

  
**Dr. Ir. Muhammad Syahid, S.T., M.T.**  
NIP. 197707072005111001

Ketua Program Studi,

  
**Prof. Dr. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T**  
NIP. 1972082520000310

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Juandi  
NIM : D021181318  
Program Studi : Teknik Mesin  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Analisis Getaran Pada *Sandwich Aluminium Foam* Menggunakan  
*Software Abaqus* Berbasis Metode Elemen Hingga}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 20. November  
2023

Yang Menyatakan

  
Juandi

## ABSTRAK

**JUANDI.** *Analisis Getaran Pada Sandwich Alumunium Foam Menggunakan Software Abaqus Berbasis Metode Elemen Hingga* (dibimbing oleh Fauzan, ST., MT., Ph.D. dan Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT)

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara frekuensi pribadi dan mode getaran menggunakan perangkat lunak Abaqus. Penelitian ini terdiri dari satu jenis tumpuan yaitu tumpuan kantilever dimana salah satu ujungnya di jepit dan yang lainnya bebas. Analisis mode getaran mode balok Sandwich Alumunium Foam kantilever, balok yang digunakan adalah plat dengan material Aluminium seri 6061 dengan panjang 300 mm ,lebar 50 mm,dengan variasi ketebalan plat model 6 mm,8 mm dan dan 10 mm dan tebal inti *core* 10 mm dengan titik jepit pengujian berada pada ujung benda kerja. Pada ketebalan Plat 6 mm frekuensi pribadinya hanya 55,898 Hz dan untuk ketebalan Plat 8 mm frekuensi pribadinya 62.721 Hz dan pada ketebalan 10 mm frekuensi pribadinya 69,076 Hz. Jadi Suatu struktur dapat mengalami getaran pada tingkat, parameter tertentu seperti sifat material, posisi tumpuan, dan sistem frekuensi menentukan karakteristik getarannya. Penelitian ini berhasil melakukan pengukuran dan analisis terhadap getaran yang terjadi pada sandwich foam dengan berbagai variasi ketebalan plate . Hasil penelitian menunjukkan bahwa sandwich foam memiliki kemampuan untuk meredam getaran dengan efektif, dan kemampuan ini terkait dengan ketebalan material plate dan core. Selain itu, penelitian ini juga berhasil menentukan frekuensi pribadi getaran pada sandwich foam, yang merupakan informasi penting dalam memahami perilaku dinamis material ini. Hasil analisis juga menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan dalam karakteristik getaran pada sandwich foam dengan variasi ketebalan plat. Variasi ketebalan tersebut dapat memengaruhi tingkat redaman getaran serta frekuensi pribadi yang terjadi pada material sandwich foam.

Kata Kunci : Modus Getaran, Frekuensi, Perpindahan Getaran.

## ABSTRACT

**JUANDI.** *Vibration Analysis of Aluminum Foam Sandwich Using Abaqus Software Based on Finite Element Method (supervised by Fauzan, ST., MT., Ph.D and Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT).*

*This study aims to analyze the relationship between personal frequency and vibration mode using Abaqus software. This study consists of one type of pedestal, namely a cantilever pedestal where one end is clamped and the other is free. Analysis of the vibration mode of the cantilevered Aluminum Foam Sandwich beam mode, the beam used is a plate with 6061 series Aluminum material with a length of 300 mm, a width of 50 mm, with variations in the thickness of the model plate 6 mm, 8 mm and 10 mm and a core core thickness of 10 mm with the test pinch point at the end of the workpiece. At a plate thickness of 6 mm the personal frequency is only 55.898 Hz and for a plate thickness of 8 mm the personal frequency is 62.721 Hz and at a thickness of 10 mm the personal frequency is 69.076 Hz. So a structure can experience vibration at a certain level, parameters such as material properties, pedestal position, and frequency system determine its vibration characteristics. This study successfully measured and analyzed the vibrations that occur in sandwich foam with various variations in plate thickness. The results show that sandwich foam has the ability to dampen vibration effectively, and this ability is related to the thickness of plate and core materials. In addition, this study also successfully determined the personal frequency of vibration in sandwich foam, which is important information in understanding the dynamic behavior of this material. The analysis results also show that there is a difference between.*

*Keywords: Vibration Mode, Frequency, Vibration Displacement.*

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI</b> .....	<b><i>i</i></b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	<b><i>ii</i></b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b><i>iii</i></b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b><i>iv</i></b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b><i>v</i></b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b><i>vii</i></b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b><i>ix</i></b>
<b>NOMENKLATUR</b> .....	<b><i>x</i></b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b><i>xi</i></b>
<b>BAB I</b> .....	<b><i>1</i></b>
<b>PENDAHULUAN</b> .....	<b><i>1</i></b>
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	<b><i>1</i></b>
<b>1.2 Rumusan masalah</b> .....	<b><i>3</i></b>
<b>1.3 Batasan masalah</b> .....	<b><i>3</i></b>
<b>1.4 Tujuan penelitian</b> .....	<b><i>4</i></b>
<b>1.5 Manfaat penelitian</b> .....	<b><i>4</i></b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b><i>5</i></b>
<b>2.1 Kereta Cepat</b> .....	<b><i>5</i></b>
<b>2.2 Getaran</b> .....	<b><i>6</i></b>
<b>2.3 Jenis Getaran</b> .....	<b><i>6</i></b>
<b>2.4 Parameter Getaran</b> .....	<b><i>12</i></b>
<b>2.5 Sinyal Getaran</b> .....	<b><i>14</i></b>
<b>2.5.1 Sinyal Getaran Domain Waktu</b> .....	<b><i>14</i></b>
<b>2.5.2 Sinyal Getaran Domain Frekuensi</b> .....	<b><i>15</i></b>
<b>2.6 Frekuensi Pribadi</b> .....	<b><i>16</i></b>
<b>2.7 Modus Getaran</b> .....	<b><i>17</i></b>
<b>2.8 Sistem Balok Kontinu</b> .....	<b><i>18</i></b>
<b>2.9 Aluminium</b> .....	<b><i>20</i></b>

2.9.2	Metode proses pemurnian Aluminium dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam, yaitu :	21
2.9.3	Sifat – sifat Aluminium .....	22
2.9.4	Karakteristik aluminium .....	23
2.10	<b>Sandwich Foam .....</b>	<b>25</b>
2.11	<b>Analisa Vibrasi.....</b>	<b>29</b>
2.12	<b>Metode Elemen Hingga .....</b>	<b>30</b>
<b>METODE PENELITIAN .....</b>		<b>36</b>
3.1	<b>Waktu dan Tempat Penelitian.....</b>	<b>36</b>
3.2	<b>Simulator .....</b>	<b>36</b>
3.3	<b>Spesifikasi sandwich panel .....</b>	<b>37</b>
3.4	<b>Metode Penelitian.....</b>	<b>37</b>
3.5	<b>Pembuatan Model Spesimen .....</b>	<b>37</b>
3.6	<b>Jadwal Penelitian .....</b>	<b>45</b>
<b>PEMBAHASAN .....</b>		<b>47</b>
4.1	<b>Simulasi Getaran Bebas .....</b>	<b>47</b>
4.2	<b>Proses Pembuatan Model .....</b>	<b>47</b>
4.3	<b>Hasil Simulasi.....</b>	<b>48</b>
4.3.1	<b>Sandwich Alumunium Foam Plat 6 mm. ....</b>	<b>48</b>
4.3.2	<b>Sandwich Alumunium Foam Plat 8 mm. ....</b>	<b>50</b>
4.3.3	<b>Sandwich Alumunium Foam Plat 10 mm. ....</b>	<b>53</b>
4.4	<b>Data Frekuensi pribadi secara teori .....</b>	<b>56</b>
4.5	<b>Grafik dan pembahasan.....</b>	<b>59</b>
<b>KESIMPULAN .....</b>		<b>63</b>
5.1	<b>Kesimpulan .....</b>	<b>63</b>
5.2	<b>Saran .....</b>	<b>64</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>65</b>
<b>Lampiran.....</b>		<b>66</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Model badan kereta dan rantai kereta.....	5
Gambar 2.2 Getaran Bebas Tanpa Redaman .....	7
Gambar 2.3 Getaran Tanpa Redaman Dengan Frekuensinya .....	8
Gambar 2.4 Getaran Bebas Dengan Redaman.....	8
Gambar 2.5 Getaran Akibat dan Gaya Yang Tidak Beraturan .....	9
Gambar 2.6 getaran paksa harmonik.....	10
Gambar 2.7 Model fisik getaran paksa .....	11
Gambar 2.8 rekuensi dan periode gelombang.....	12
Gambar 2.9 Amplitudo dalam gelombang.....	13
Gambar 2.10 karakteristik getaran .....	14
Gambar 2.11 Sinyal Getaran Domain Waktu .....	15
Gambar 2.12 Sinyal getaran domain Frekuensi .....	15
Gambar 2.13 hubungan antara domain waktu dan frekuensi.....	16
Gambar 2.14 Persamaan Natural Frekuensi.....	17
Gambar 2.15 Persamaan Mudus Getaran.....	18
Gambar 2.16 Model balok kontinu .....	18
Gambar 2.17 sandwich panel aluminium foam.....	25
Gambar 2.18 komponen utama struktur sandwich.....	27
Gambar 3.1 Aluminium foam .....	28
Gambar 3.2 Abaqus CAE.....	36
Gambar 3.3 Menu Pada Abaqus .....	37
Gambar 3.4 Tampilan opsi Create Part dan dimensi Model .....	38
Gambar 3.5 part part yang sudah di gabungkan .....	39
Gambar 3.6 Tampilan global seeds pada Abaqus CAE Kemudian klik apply	40
Gambar 3.7 Element Type .....	40
Gambar 3.8 Properti .....	41
Gambar 3.9 Tampilan panel boundary condition pada Abaqus CAE.....	42
Gambar 3.10 Tampilan panel boundary condition pada Abaqus CAE.....	42

Gambar 3.11 Tampilan create step pada Abaqus CAE..... 43  
Gambar 3.12 Tampilan edit step Abaqus CAE..... 44  
Gambar 3.13 Tampilan panel job Abaqus CEA..... 44  
Gambar 3.14 Tampilan panel job manager pada Abaqus CAE ..... 45

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konstanta .....	20
Tabel 2.2 Karakteristik aluminium .....	23
Tabel 2.3 karakteristik aluminium foam .....	29
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.....	45
Tabel 4.1 Hasil simulasi plat 6mm.....	49
Tabel 4.2 Hasil Simulasi Plat 8 mm.....	51
Tabel 4.3 Hasil Simulasi plat 10 mm .....	54

## NOMENKLATUR

$\lambda$	nilai aigen	m
$\omega$	frekuensi alami sudut	Rad/s
E	modulus Young's	N/m <sup>2</sup>
$\delta$	persen eror	%
L	panjang penampang	m
I	momen inersia	kg.m <sup>2</sup>
m	Massa	kg
b	lebar penampang	m
h	tinggi penampang	m
$f$	frekuensi pribadi	Hertz

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji syukur kita panjatkan atas kehadiran Allah SWT atas berkat Rahmat dan Karunia-nya sehingga tugas akhir ini yang berjudul “**ANALISIS GETARAN PADA SANDWICH FOAM MENGGUNAKAN SOFTWARE ABAQUS BERBASIS METODE ELEMEN HINGGA**” dapat terselesaikan dengan baik.

Penelitian ini merupakan salah satu syarat wajib yang harus ditempuh setiap mahasiswa Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin untuk Program S1 agar bisa mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S1).

Penghargaan dan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada Ayahanda tercinta Almarhum Muhammad Bakri dan Ibunda yang kusayangi Aminah yang telah mencurahkan segenap cinta dan kasih sayang serta perhatian moril maupun materil. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan Rahmat, Kesehatan, Karunia dan keberkahan di dunia dan di akhirat atas budi baik yang telah diberikan kepada penulis.

Saya juga mengucapkan banyak terimakasih kepada Bapak Fauzan, ST., MT., Ph.D selaku pembimbing I dan Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST., MT selaku pembimbing II yang telah banyak membimbing saya selama proses penelitian baik dalam pemikiran maupun dalam penulisan skripsi ini. Saya juga ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Yth. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Yth Bapak Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Yth. Bapak Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah menyetujui dan menerima tugas akhir penulis.
4. Yth. Bapak Prof. Dr. Onny Sutresman, MT serta Bapak Prof. Dr. Ir. Zulkifli Djafar, MT selaku dosen penguji yang telah membantu melengkapi kekurangan

penelitian tugas akhir penulis.

5. Seluruh dosen Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang sudah dibagikan terhadap penulis. Ilmu dan pengetahuan yang membuat penulis semakin mengerti fenomena-fenomena dalam bidang teknik terutama bidang teknik mesin.
6. Seluruh Staf Administrasi Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Teman-teman Laboratorium Getaran yang membantu menemani selama masa penelitian dan penulisan tugas akhir.
8. Reski Wulan Salsabila yang banyak membantu serta menemani penulis dalam proses penulisan skripsi.
9. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin angkatan 2018 (REACTOR)
10. Kolega di KMNL SABLON
11. Serta semua pihak yang tidak dapat disebut satu per satu yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua.

Gowa, 23 November 2023

JUANDI

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Peningkatan jumlah penduduk yang sangat pesat menyebabkan berbagai kebutuhan ikut meningkat, termasuk kebutuhan akan transportasi. Dari banyaknya jenis transportasi, kereta api merupakan transportasi yang paling diminati oleh masyarakat dikarenakan kapasitas untuk menampung penumpang dan barang yang besar, ekonomis, dan relatif aman (Zulkabir, 2018). Di Indonesia, kereta api pertama kali didirikan pada masa kolonial Belanda dengan tujuan awal untuk memangkas biaya transportasi pengangkutan hasil bumi. Namun seiring dengan perkembangannya kereta api tidak hanya berfungsi sebagai moda angkutan hasil bumi, akan tetapi juga sebagai moda transportasi masyarakat (Ravico dkk, 2021).

Kereta api berkecepatan tinggi merupakan inti dari sistem kereta api berkecepatan tinggi, yang merupakan sarana transportasi yang secara langsung melayani penumpang. Untuk mencapai kualitas pengoperasian yang stabil dan aman pada kecepatan tinggi, sistem kereta menggabungkan teknologi rel roda kecepatan tinggi, teknologi traksi efisiensi tinggi, dan teknologi rem dengan keandalan tinggi. Pengoperasian kereta api berkecepatan tinggi dipengaruhi oleh jalur lintasan, catenary, dan fasilitas tetap lainnya sementara itu dikendalikan dan dibatasi oleh catu daya traksi dan sistem kontrol berjalan kereta api akhirnya, dibatasi oleh aliran udara dan kebisingan. Dengan demikian, sistem kopling kompleks yang disebut dinamika sistem berpasangan dalam kereta berkecepatan tinggi (DCSHT) diimplementasikan. (Weihua Zhang, 2020) Dalam operasi lapangan kereta api berkecepatan tinggi, semua komponen sistem kereta api pasti akan bergetar di bawah eksitasi eksternal. Tingkat getaran yang tidak dapat diterima secara langsung berdampak pada keselamatan operasi dan kenyamanan berkendara, yang merupakan perhatian penting dari badan operasi kereta api. Investigasi karakteristik getaran kereta api, terutama pada kinerja getaran dari waktu ke waktu, penting untuk memahami status layanan kereta api dan

memastikan keselamatan operasinya dalam jangka panjang. (Wanming Zhai dkk, 2015). Getaran berfrekuensi tinggi dapat menyebabkan suara impulsif yang disebut gelombang tekanan mikro. Gelombang tekanan mikro yang terjadi secara tiba-tiba dalam waktu singkat dapat menghasilkan gelombang kejut yang dapat berdampak di sekitarnya. Dalam beberapa studi mengemukakan bahwa gelombang kejut pada kereta cepat sering terjadi saat kereta keluar dari terowongan dalam kecepatan tinggi. Jika dalam kasus tersebut terjadi di tengah pemukiman warga, maka akan berdampak pada warga di sekitar rel. Oleh karena itulah, struktur kereta cepat harus diperhatikan agar getaran yang dihasilkan tidak terlalu besar. (Kee Paik dkk, 1999)

Konstruksi sandwich aluminium telah diakui sebagai konsep yang menjanjikan untuk desain struktural sistem transportasi ringan seperti pesawat terbang, kereta api berkecepatan tinggi dan kapal cepat. Untuk desain dan konstruksi sistem transportasi ringan seperti satelit, pesawat terbang, kereta api berkecepatan tinggi dan feri cepat, penghematan berat struktural adalah salah satu pertimbangan utama. Untuk memenuhi persyaratan ini, konstruksi sandwich sering digunakan sebagai pengganti peningkatan ketebalan material. Jenis konstruksi ini terdiri dari dua lapisan tipis yang berhadapan yang dipisahkan oleh bahan inti. Bahan potensial untuk permukaan sandwich adalah paduan aluminium, baja tarik tinggi, titanium dan komposit tergantung pada persyaratan misi tertentu. Beberapa jenis bentuk inti dan bahan inti telah diterapkan pada konstruksi struktur sandwich. Di antara mereka, inti sarang lebah yang terdiri dari foil yang sangat tipis dalam bentuk sel heksagonal tegak lurus dengan permukaan adalah yang paling populer. ( Kee Paik dkk, 1999) Kemampuan *foam* logam dalam menyerap kebisingan dan getaran, kekuatan mekanik dan kekakuan yang dapat diterima dengan sifat bobot yang sangat ringan dan sangat signifikan jika lantai dibuat dari material *aluminium foam*. Maka dapat dicapai ketahanan yang baik untuk penggunaan mekanik dan mengurangi tingkat kebisingan dan getaran. Ketika gelombang suara dan getaran molekul udara antar media berpori dari *foam* logam, maka mereka bergerak terus menerus dalam porositas dan saluran lingkungan ini. Kekakuan tekukan yang tinggi dan faktor massa busa logam yang rendah menyebabkan

frekuensi pribadinya meningkat. Akibatnya, *foam* logam lebih tahan terhadap gelombang suara. Karena gerakan molekul udara ke dinding sel dan menghasilkan gesekan, amplitudo getaran molekul udara berkurang secara drastis. Tentu saja, dalam keadaan ini, energi gelombang juga menurun. Gesekan yang dihasilkan antara molekul udara dan dinding rongga berfungsi sebagai kedap suara dan besarnya tergantung pada ketahanan material terhadap aliran udara dan frekuensi gelombang suara. (Ahad Khaselo dkk, 2011)

Penelitian yang fokus pada sandwich aluminium foam sebagai peredam getaran pada kereta cepat masih terbatas. Oleh karena itu, eksplorasi potensi penggunaan sandwich aluminium foam sebagai peredam getaran pada kereta cepat melalui analisis menggunakan software Abaqus memiliki potensi sangat dibutuhkan. Software Abaqus merupakan perangkat lunak simulasi numerik yang sering digunakan dalam analisis struktural. Dengan menggunakan software Abaqus, pengerjaan akan memberikan simulasi numerik yang akurat untuk memahami kinerja sandwich aluminium foam dalam mengurangi getaran pada kereta cepat.

## **1.2 Rumusan masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, maka masalah yang akan diangkat pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Seberapa besar getaran yang dapat diredam oleh sandwich foam.
2. Bagaimana perbedaan getaran pribadi terhadap ketebalan plate sandwich foam

## **1.3 Batasan masalah**

1. Memperoleh data analisa getaran menggunakan software Abaqus.
2. Memperoleh getaran pribadi ketebalan plat sandwich foam

#### **1.4 Tujuan penelitian**

Dengan mengacu latar belakang serta rumusan masalah yang ada maka tujuan penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Menentukan frekuensi pribadi getaran pada sandwich foam.
2. Menganalisa perbedaan karakteristik getaran terhadap variasi ketebalan plat sandwich foam.

#### **1.5 Manfaat penelitian**

Manfaat penulisan laporan tugas akhir ini adalah :

1. Bagi penulis, menjadikan referensi pembanding dalam menghitung dan menganalisis getaran balok kantilever diperkuat *aluminium foam* dengan metode elemen hingga.
2. Bagi Akademisi, menjadi acuan dalam penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan penelitian balok kantilever diperkuat dengan variasi bentuk *aluminium foam* lain.
3. Bagi industri : melalui penelitian ini, pihak industri dapat mengetahui seberapa besar getaran bebas *aluminium foam* yang dapat digunakan agar dapat diaplikasikan guna memaksimalkan penggunaannya.

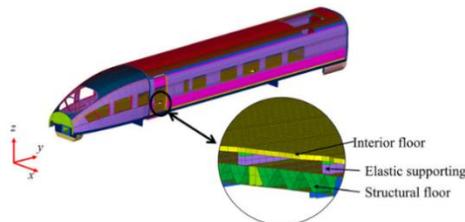
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kereta Cepat

Kenaikan kecepatan operasional kereta listrik unit ganda (EMU) berkecepatan tinggi dan desain mereka yang ringan mengakibatkan eksitasi intensif pada sistem kendaraan dan getaran yang lebih signifikan. Lantai interior, komponen penting dalam EMU, biasanya dipasang secara elastis dari struktur utama badan kereta. Lantai ini meliputi area besar di dalam kendaraan dengan modulus elastis yang lebih rendah daripada badan kereta. Oleh karena itu, jika struktur lantai tidak dirancang dengan baik, hal ini akan menghasilkan tingkat getaran yang besar dan berdampak buruk pada perasaan penumpang. Menurut standar yang berlaku di Eropa dan China, respons pada lantai biasanya diambil sebagai masukan untuk evaluasi kenyamanan perjalanan. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengendalikan getaran lantai internal guna meningkatkan perasaan penumpang. Sayangnya, begitu lantai terpasang, sangat sulit untuk memperbaiki masalah yang muncul.

Beberapa penumpang mengeluh tentang pusing atau mati rasa di kaki yang tidak dapat dijelaskan, terutama saat duduk di dekat tengah badan kereta. Untuk menyelidiki hal ini, uji operasional dilakukan untuk mengukur getaran lantai saat beroperasi. Ketika penumpang terpapar lingkungan getaran yang intensif, frekuensi getaran kritis berkisar antara 0,5 dan 80 Hz, umumnya dianggap memiliki efek signifikan pada tubuh manusia, terutama getaran pada rentang 5-30 Hz menyebabkan resonansi di kepala. (You, 2020)



Gambar 2.1 Model badan kereta dan lantai kereta

## 2.2 Getaran

Getaran atau vibrasi adalah gerakan bolak-balik yang ada di sekitar titik keseimbangan di mana kuat lemahnya dipengaruhi besar kecilnya energi yang diberikan. Getaran tersebut disebabkan oleh eksitasi getaran dari lingkungan atau dalam mesin itu sendiri. Untuk rotating equipment seperti fan, pompa, motor dan turbine pasti memiliki getaran pada saat bekerja. Dengan getaran tersebut pula, dapat mengetahui kondisi/masalah pada mesin. Masalah yang biasa ditemui : kerusakan bearing, misaligned component, unbalance, masalah pondasi, dan lain-lain. Cara pengukuran vibrasi akan baik dilakukan pada setiap bearing. (PT.Wibon,2020)

Menurut bagi para engineer yang bergerak di bidang industri ,mendefinisikan vibrasi sebagai gerakan bolak-balik yang terdapat pada bagian sebuah mesin dari tempat awal kedudukannya,dan dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$\text{Respon Amplitudo Getaran} = \frac{\text{dynamic force}}{\text{dynamic resistance}}$$

Dari persamaan di atas menunjukkan bahwa amplitudo getaran bervariasi sesuai dengan hasil bagi antara dynamic force dengan dynamic resistance. Vibrasi adalah respon dari sebuah sistem menuju ke beberapa stimulus external maupun internal atau gaya yang diaplikasikan ke sebuah sistem. Vibrasi memiliki tiga parameter utama yang dapat diukur yaitu amplitudo ,frekuensi,dan fase. (Hendra, 2014)

## 2.3 Jenis Getaran

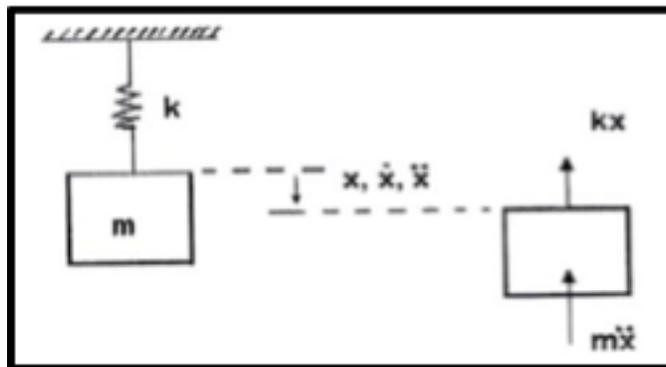
Berdasarkan gangguan yang berkerja getaran dapat dibagi menjadi 2 yaitu :

## 1. Getaran bebas (*free vibration*)

Getaran bebas adalah gerak sistem getaran tanpa adanya gangguan dari luar. Gerakan ini terjadi karena kondisi awal saja. Bila sistem tidak memiliki redaman, maka getaran yang akan terjadi akan berlangsung terus menerus tiada hentinya. Namun kondisi tidak pernah dijumpai dalam peraktek karena sistem getaran selalu memiliki redaman. Adanya redaman akan menyebabkan amplitudo getaran semakin lama semakin kecil sehingga akhirnya berhenti. Contohnya saat memukul gelas. (Haryo, 2018)

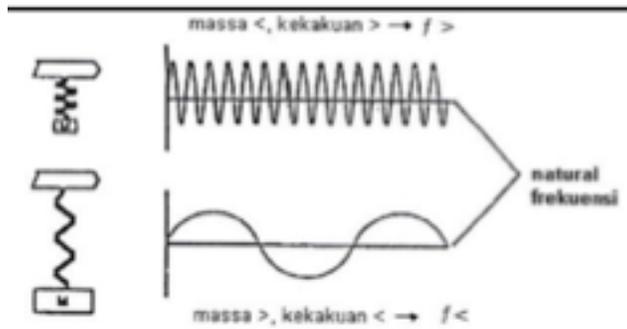
### a. Getaran Bebas Tanpa Redaman.

Setiap benda yang mempunyai massa dan kekakuan akan mampu bergetar. Getaran bebas tanpa redaman adalah getaran dimana pengaruh dari gaya gesekan diabaikan. Bila benda tersebut bergetar bebas, maka getaran akan terjadi pada frekuensi pribadinya. Contoh paling sederhana dari getaran bebas tak teredam adalah getaran sistem massa pegas seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Getaran Bebas Tanpa Redaman

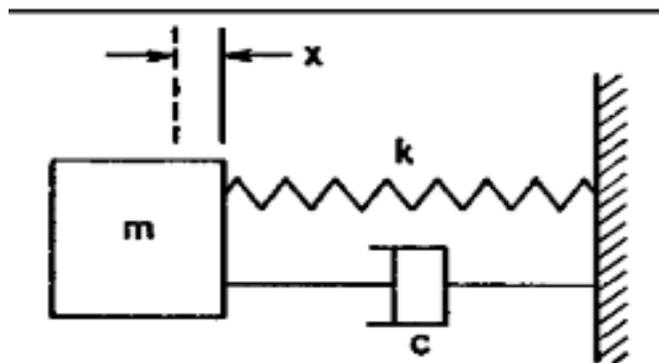
Bila benda diberi gaya kemudian dilepas, maka benda tersebut akan bergetar pada frekuensi pribadinya, seperti gambar 2.3 dibawah ini:



Gambar2.3 Getaran Tanpa Redaman Dengan Frekuensinya

b. Getaran Bebas Dengan Redaman

Bila suatu sistem yang memiliki redaman diberi gaya kemudian dilepas seperti gambar 2.4, sistem tersebut akan bergetar pada frekuensi pribadi sistem teredam ( $\omega_d$ ). (Haryo, 2018)



Gambar 2.4 Getaran Bebas Dengan Redaman

Dimana  $\omega_d$ , frekuensi pribadi sistem teredam dapat dihitung dengan persamaan :

$$\omega_d = \omega_n - \sqrt{1 - c} \dots\dots\dots(1)$$

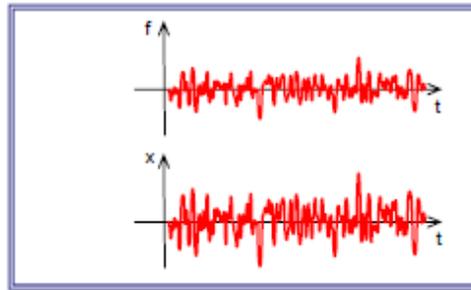
Dimana

$\omega_n$  = frekuensi pribadi

$C$  = harga redaman yang dipasang

c. Getaran akibat dari gaya yang tidak beraturan

Getaran yang terjadi akibat dari gaya yang tidak beraturan, getaran ini biasanya selalu muncul, kebanyakan hanya suara. (Bilsova & Bilos, 2012).



Gambar 2.5 Getaran Akibat dan Gaya Yang Tidak Beraturan

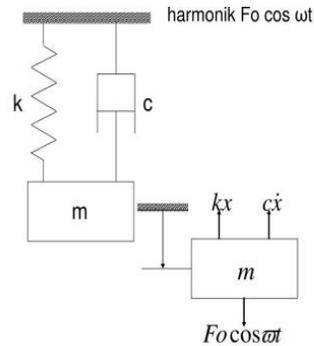
d. *Self-excited*

*Self-excited vibration* terjadi karena getaran tereksitasi pada salah satu frekuensi pribadi benda/konstruksi. Getaran pada jenis ini sangat dihindari untuk terjadi karena akan menyebabkan osilasi dan berpotensi akan merusak konstruksi. (Bilsova & Bilos, 2012).

## 2. Getaran Paksa

Getaran paksa merupakan fenomena gerak bolak-balik yang melalui titik kesetimbangannya akibat adanya simpangan atau gangguan dari luar. Pada dasarnya getaran paksa terjadi karena rangsangan dari luar, jika rangsangan tersebut beresilasi maka sistem di paksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapat keadaan resonansi dan osilasi besar yang berbahaya mungkin terjadi kerusakan pada struktur. Jadi perhitungan frekuensi natural merupakan hal yang utama. Sumber-sumber eksitasi harmonik bisa berasal dari ketidakseimbangan mesin-mesin yang berputar, gaya-gaya pada mesin torak atau gerak mesin itu sendiri. Mula-mula akan diperhatikan

sistem dengan satu derajat kebebasan yang mengalami redaman dan dirangsang oleh gaya harmonik :  $F_0 \sin \omega t$  seperti pada gambar 2.6



Gambar 2.6 getaran paksa harmonik

$F$  yang merupakan fungsi sinus dengan amplitudo  $F_0$  dan frekuensi. Persamaan gerak massa  $m$  sebagai respon dari adanya gaya tersebut dapat ditentukan dari analisa gaya-gaya yang bekerja pada massa  $m$  ketika posisinya tersimpang sejauh  $x$  dari posisi seimbang statisnya.

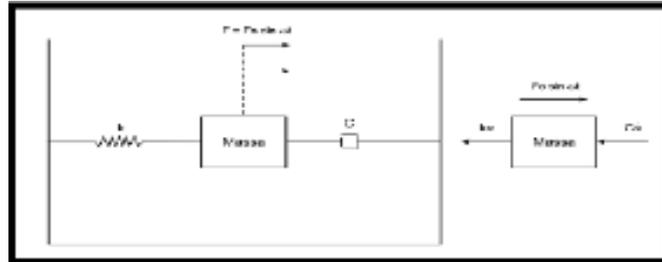
a.) Getaran Paksa dengan redaman

Getaran paksa dengan redaman adalah getaran yang terjadi akibat rangsangan gaya dari luar. Jika rangsangan tersebut beresilasi, maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapat keadaan resonansi (Peristiwa ikut bergetarnya suatu benda karena ada benda lain yang bergetar) dan mengakibatkan osilasi besar mungkin akan terjadi.

b.) Getaran paksa tanpa redaman

Getaran paksa adalah getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar, jika rangsangan tersebut beresilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapat keadaan resonansi dan osilasi besar yang akan

mengakibatkan getaran yang sangat besar. Gambar 2.7 menunjukkan model getaran paksa secara fisik.



Gambar 2.7 Model fisik getaran paksa

Keterangan:

$k$  = Konstanta Pegas (N/m)

$F$  = Gaya (N)

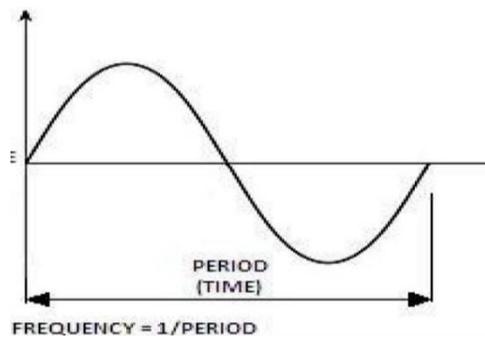
$C$  = Koefisien Peredam (N.s/massa)

Walaupun banyak penerapan-penerapan yang berguna dari getaran bebas, namun ada lagi kelompok yang tidak kalah pentingnya dengan masalah dari getaran bebas, yaitu kelompok getaran paksa yang ditimbulkan oleh gaya-gaya gangguan. Gaya dapat diterapkan dari luar atau ditimbulkan dari sistem itu sendiri. Gaya gangguan yang timbul dari sistem itu sendiri dapat berupa massa tak seimbang yang berputar. Getaran paksa dapat juga ditimbulkan oleh gerak dari sistem landasan (pondasi). (K. Gupta, 1987).

## 2.4 Parameter Getaran

### a) Frekuensi

Didefinisikan sebagai jumlah gelombang yang terjadi dalam satuan waktu  $[1/\text{det}] = [\text{Hertz}]$ . Satuan yang biasa digunakan dalam suatu pengukuran adalah Revolutian per Minutes (RPM) yaitu 60x frekuensi dalam Hertz. Adapun gambarnya dapat dilihat pada **gambar 2.8** di bawah ini. (Haryo, 2018)

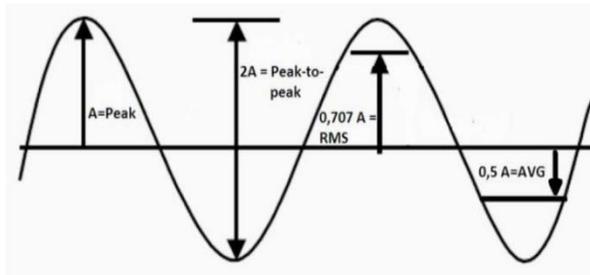


Gambar 2.8 rekuensi dan periode gelombang

Besarnya frekuensi yang timbul pada saat terjadi vibrasi dapat mengidentifikasi jenis-jenis gangguan yang terjadi. Frekuensi merupakan salah satu parameter vibrasi yang sangat penting untuk menganalisa jenis kerusakan suatu mesin. Frekuensi getaran umumnya ditunjukkan dalam jumlah siklus yang terjadi dalam tiap-tiap menit.

### b) Amplitudo

Didefinisikan sebagai simpangan maksimum dari benda yang bergetar. Amplitudo dapat diwakili sebagai *displacement* [mils], *Velocity* [in/s], atau *acceleration* [in/s<sup>2</sup>]. Semua pengukuran getaran yang mana diwakili oleh *displacement*, *velocity*, ataupun *acceleration* mempunyai elemen-elemen yang bisa digunakan dalam menggambarkan suatu fungsi. Elemen-elemen itu antara lain adalah seperti pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Amplitudo dalam gelombang

➤ *Peak to peak*

Besaran ini bisa dihubungkan dengan besarnya jarak maksimum yang terjadi. Harga peak to-peak yaitu jarak dari puncak ke lembah dari data gelombang getaran.

➤ *Zero to peak*

Nilai *Zero-to-peak* bisa didapatkan dari setengah *peak to peak* ( $A$ ) atau juga bisa didapat dengan mengukur dari titik referensi menuju *peak*.

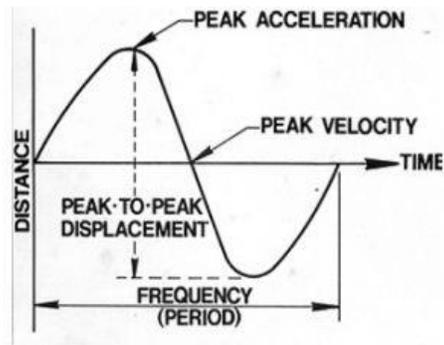
➤ *Root Mean Square (RMS)*

Diartikan sebagai nilai statistik rata-rata dari amplitudo yang dihasilkan oleh getaran mesin. Nilai RMS  $0,707$  dari *peak* ( $A$ ). (Haryo, 2018)

Amplitudo dari sinyal vibrasi mengidentifikasi besarnya gangguan yang terjadi. Makin tinggi amplitudo yang ditunjukkan menandakan makin besar gangguan yang terjadi. Parameter amplitudo dari suatu getaran meliputi; *Displacement*, *velocity* dan *acceleration*.

c) Sudut phase

Pengukuran phase getaran memberikan informasi untuk menentukan bagaimana suatu bagian bergetar relatif terhadap bagian yang lain, atau untuk menentukan posisi suatu bagian yang bergetar pada suatu saat, terhadap suatu referensi atau terhadap bagian lain yang bergetar dengan frekuensi yang sama.



Gambar 2.10 karakteristik getaran

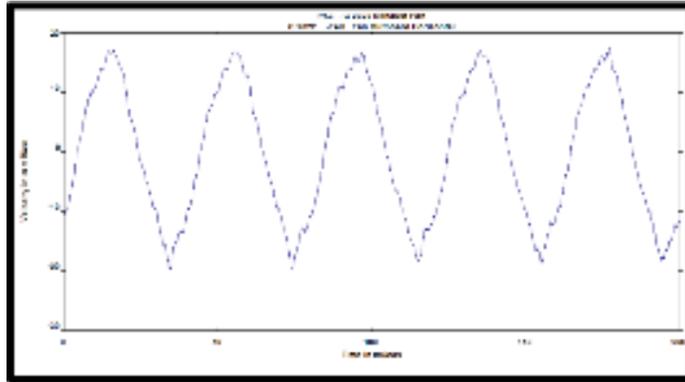
Fasa adalah perbedaan posisi dari getaran sebuah titik relatif terhadap titik referensi yang diam (*fasa absolute*) atau relatif terhadap titik lain yang bergetar (*fasa relative*). *Fasa relative* sebenarnya adalah perbedaan *timing*, dimana satu *event* muncul relatif terhadap *event* yang lainnya. Jika suatu *event* terjadi pada waktu yang sama maka disebut *in-phase* jika tidak maka disebut *out of phase*.

## 2.5 Sinyal Getaran

Sinyal yang diperoleh melalui transducer pada pengukuran suatu getaran mesin adalah suatu gabungan berbagai respons atau tanggapan bangunan mesin terhadap bermacam-macam gaya eksitasi dari dalam mesin maupun dari luar mesin. Sehingga kunci analisis yang efektif adalah penguraian sinyal kompleks ini terhadap frekuensi komponen-komponennya. (Haryo, 2018)

### 2.5.1. Sinyal Getaran Domain Waktu

Dengan domain waktu analisis dapat mengamati perubahan simpangan suatu getaran terhadap waktu secara terinci. Gambar 2.9 merupakan gambar sinyal getaran dalam domain waktu.

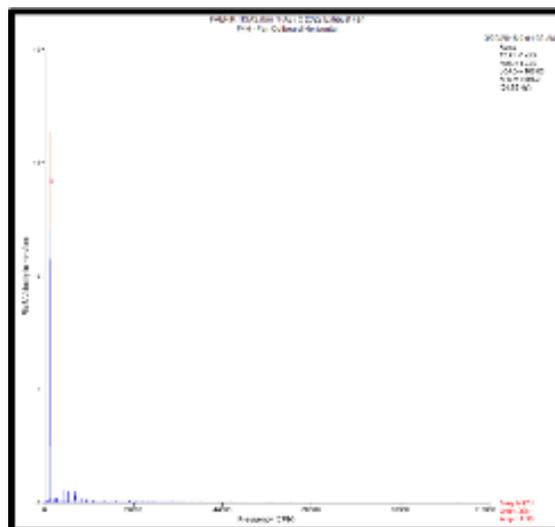


Gambar 2.11 Sinyal Getaran Domain Waktu

Domain waktu memberikan gambaran yang alamiah dari fenomena getaran, maka analisis dalam domain waktu menjadi lebih sulit.

### 2.5.2. Sinyal Getaran Domain Frekuensi

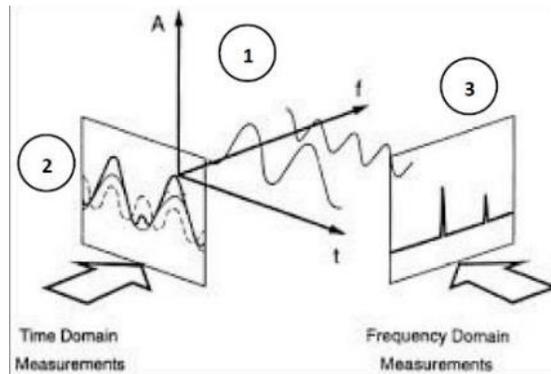
Sumbu vertikal pada diagram domain frekuensi menyatakan amplitudo dari variabel respon, sedangkan sumbu horizontal menyatakan frekuensi (Hz, RPM). Gambar 2.12 merupakan gambar sinyal getaran dalam domain frekuensi.



Gambar 2.12 Sinyal getaran domain Frekuensi

Dengan adanya sinyal getaran dalam domain frekuensi, analisis kegagalan

dapat dilakukakan dengan melihat amplitudo tinggi berdasarkan frekuensinya. Ilustrasi tentang konsep data dalam domain waktu dan dalam domain frekuensi diperlihatkan dalam gambar 2.13



Gambar 2.13 hubungan antara domain waktu dan frekuensi

Gambar (1) memperlihatkan data dalam sistem koordinat 3 dimensi yang terdiri atas sumbu waktu, sumbu frekuensi dan amplitudo. Hubungan antara amplitudo dengan frekuensi ditunjukkan dalam Gambar (3), sedangkan hubungan antara amplitudo dan waktu ditunjukkan dalam Gambar (2). Data dalam domain waktu ternyata tersusun atas dua sinyal sinus yang frekuensinya berbeda seperti yang diperlihatkan oleh data dalam domain frekuensi. Dalam domain waktu masing-masing komponen sinyal tidak teramati langsung sedangkan domain frekuensi baik amplitudonya maupun frekuensi dapat diketahui secara langsung. Pernyataan sinyal dalam domain frekuensi disebut spektrum sinyal. (Haryo, 2018)

## 2.6 Frekuensi Pribadi

Analisis getaran pelat telah menjadi subjek penelitian aktif dan banyak makalah teknis telah dikumpulkan. Meskipun solusi analitik telah ditemukan untuk pelat dengan bentuk modifikasi massa atau kekakuan tertentu, masalah pelat dengan modifikasi massa dan kekakuan yang berubah-ubah belum dibahas hingga saat ini meskipun implikasi praktisnya penting. Dalam makalah ini, metode baru dan efektif telah dikembangkan untuk memprediksi secara tepat frekuensi alami dan bentuk mode pelat dengan modifikasi massa, kekakuan, dan redaman yang berubah-ubah. Penerimaan

pelat diturunkan berdasarkan superposisi mode dan kemudian digunakan untuk menghitung penerimaan pelat yang dimodifikasi. Frekuensi alami dan bentuk mode dari pelat yang dimodifikasi diidentifikasi dengan menganalisis data penerimaan berdasarkan konsep analisis modal. Hasil numerik diberikan untuk menunjukkan penerapan praktis dari metode yang diusulkan. (Lin, 1995)

**Natural Frequency [Hz]**

$$f_i = \frac{(C_i)^2}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{mL^4}}$$

$$I = \frac{bh^3}{12}, m = \rho A$$

Gambar 2.14 Persamaan Natural Frekuensi

Dimana:

E: Modulus elastisitas

I: Momen inersia

M: massa per satuan Panjang L: Panjang balok

## 2.7 Modus Getaran

Modus getaran bebas mewakili sifat getaran yang melekat pada sistem atau struktur yang sedang dibahas. Mereka biasanya disebut sebagai mode normal atau alami dari struktur dan, meskipun di beberapa tempat perbedaan dapat ditarik antara dua nama yang berbeda ini, di sini mereka dianggap sinonim. Mode normal adalah mode alami getaran. Modus normal diperoleh dari solusi persamaan gerak untuk sistem yang dibahas untuk kasus eksitasi eksternal nol, yaitu, solusi persamaan gerak homogen. (Qiao & Fan, 2014)

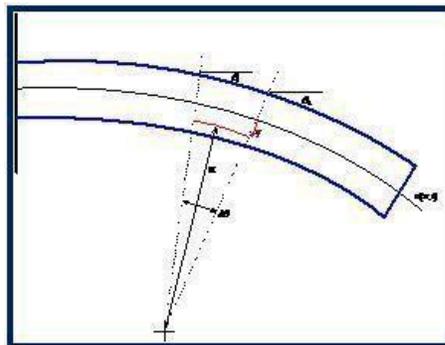
### Vibration Mode

$$y = [\sin(\beta_i L) - \sinh(\beta_i L)](\sin(\beta_i x) - \sinh(\beta_i x)) \\ + [\cos(\beta_i L) + \cosh(\beta_i L)](\cos(\beta_i x) - \cosh(\beta_i x))$$

*Gambar 2.15 Persamaan Modus Getaran*

## 2.8 Sistem Balok Kontinu

Dalam semua sistem massa terkonsentrasi pada satu titik. Pendekatan ini berlaku untuk semua sistem, terutama pada frekuensi rendah, tetapi tidak semua model sistem memberikan informasi nyata secara akurat. Salah satu contoh penting dari sebuah sistem kontinu adalah getaran transversal balok. Contohnya, garpu tala, lonceng, bar gambang dan sejenisnya. Model getaran balok juga penting dalam simulasi struktur teknik gempa bumi dan pemodelan rangka mobil.



*Gambar 2.16 Model balok kontinu*

Model dari sebuah balok yang akan diteliti diperlihatkan seperti gambar di atas.

Perpindahan dari tengah balok diberikan oleh  $w(x,t)$ . Perhatikan bahwa  $w$  adalah fungsi ruang (jarak,  $x$ , sepanjang balok) serta waktu.

Dengan menggantikan ekspresi untuk gaya geser yang telah ditemukan sebelumnya, persamaan geraknya menjadi :

$$\rho A dx \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = -EI \frac{\partial^4 w}{\partial t^2} dx$$

$$\frac{\partial^4 w}{\partial t^2} = -\frac{\rho A}{EI} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$$

Ini merupakan persamaan gerak untuk balok akibat beban lentur. Hal ini mirip dengan persamaan gelombang, yang digunakan untuk model suara di udara, serta dalam mekanika kuantum. Persamaan ini adalah order - keempat, persamaan diferensial parsial, dan dapat disederhanakan dengan menggunakan teknik pemisahan variabel.

Solusi Dengan Pemisahan Variabel

Jika diasumsikan bahwa solusi persamaannya adalah terdiri dari dua fungsi, yaitu ruang dan waktu, atau dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$w(x, t) = W(x)e^{j\omega_n t}$$

Bila eksponensial kompleksnya dikeluarkan, maka diperoleh konstanta tunggal yang dinyatakan sebagai berikut :

$$\beta^4 = \frac{\rho A \omega_n^2}{EI}$$

Konstanta  $\beta$  disubstitusikan ke sebelumnya, maka memberikan :

$$\frac{d^4 w}{dx^4} = \beta^4 W$$

Persamaan ini adalah fungsi dari x saja, dan tidak memiliki komponen waktu. Dengan menerapkan kondisi batas dari balok, yang akan memberikan nilai dari  $\beta$ . Setelah mengetahui nilai-nilai  $\beta$ , maka dapat ditentukan frekuensi pribadi dari balok.

$$\omega_n = \beta^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho}}$$

Untuk balok dimana ujung yang satu tetap/dijepit sedangkan ujung yang lain bebas (balok kantilever) dapat digunakan persamaan

$$f_n = \frac{K_n}{2\pi} \sqrt{\frac{Elg}{w \cdot l^4}}$$

Dikarenakan balok yang diuji mempunyai sisi berbentuk persegi panjang maka digunakan momen inersia persegi panjang sehingga didapatkan persamaan :

$$f_n = \frac{K_n}{2\pi} \sqrt{\frac{Eh^2}{12 \cdot \rho \cdot l^4}}$$

Dimana:

$K_n$  adalah konstan di mana n mengacu pada mode getaran

Mode	$K_n$	Nodal position/l				
1	3.52	0.0				
2	22.0	0.0	0.783			
3	61.7	0.0	0.504	0.868		
4	121	0.0	0.358	0.644	0.905	
5	200	0.0	0.279	0.500	0.723	0.926

Table 2.1 Konstanta

## 2.9 Aluminium

Aluminium adalah jenis material ringan yang paling banyak digukan selain anti karat material ini juga mudah didapatkan .Sifat aluminium yang menonjol adalah berat jenisnya yang rendah dan daya hantar listrik/panas yang cukup baik.

Logam aluminium mempunyai struktur kristal FCC. Logam ini tahan terhadap korosi pada media yang berubah-ubah dan juga mempunyai duktilitas yang tinggi.(Suarsana,2017)

**2.9.1** Bijih-bijih aluminium dapat digolongkan menjadi beberapa golongan, yaitu :

1. *Bauksit*, bijih bauksit ini didapat dalam bentuk batu-batuan yang berwarna merah atau coklat. Bauksit setelah dipisahkan dari kotoran-kotoran pengantar didapat kaolin ( $Al_2 O_3 \cdot 2Si_2O \cdot H_2O$ ), *Bochmite/diaspora* ( $Al_2 O_3 \cdot H_2O$ ), *Gibbsite* ( $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ )
2. *Nepheline* ( $(Na \cdot K)_2O \cdot Al_2 O_3 \cdot SiO_2$ )
3. *Alunite* ( $K_2 SO_4 \cdot Al_2 (SO_4)_3 \cdot Al(OH)_3$ )
4. *Cyanite* ( $Al_2 O_3 \cdot SiO_2$ ) : bijih ini tidak dapat diproduksi untuk aluminium,tetapi diproduksi untuk peleburan langsung paduan aluminium – silicon.(Suarsana,2017)

**2.9.2** Metode proses pemurnian Aluminium dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam, yaitu :

- 1) Proses Elektrothermis

Pada proses ini bijih – bijih dicairkan / direduksi dalam dapur listrik sehingga diperoleh cairan aluminium. Proses ini jarang digunakan karena diperlukan energi listrik yang sangat besar

- 2) Proses Asam

Pada proses ini bijih – bijih aluminium dilarutkan dengan larutan asam ( $H_2SO_4$ ,  $HCl$  dsb ). Dari reaksi ini didapat garam  $Al_2 ( SO_4 )_3$ ,  $AlCl_3$ , dsb, sehingga unsur – unsur pengantar dapat dipisahkan. Setelah garam terpisah dari pengantarnya baru kemudian dipisahkan logam dari garam tersebut. Proses ini dalam industri digunakan dalam batas – batas tertentu, karena dibutuhkan peralatan – peralatan tahan asam yang sangat mahal.

- 3) Proses Alkaline

Proses ini adalah efek dari reaksi bauksit dengan NaOH atau Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dengan bahan tambahan kapur / batu kapur. Dari hasil ini akan didapatkan Sodium Aluminate. Pada proses ini unsur – unsur oksida, besi, titanium, dan kalsium dapat dipisahkan, dan silisium yang ada dalam bijih – bijih akan bereaksi dengan alkali yang mengakibatkan sebagian dari alkalis dan aluminium yang bereaksi akan mengotori aluminium yang akan dihasilkan. Oleh karenanya jika metode alkalin sering digunakan pada bijih – bijih dengan kandungan silica rendah .(Suarsana,2017)

### 2.9.3 Sifat – sifat Aluminium

Rapat massa relative	: 2,7 gr / cm <sup>3</sup>
Titik lebur	: 660 0C
Kekuatan Tarik	: -Dituang : 90 – 120 N/mm <sup>2</sup> -Di annealing : 70 N/mm <sup>2</sup> -Di roll : 130 – 200 N/mm <sup>2</sup>
Sifat – sifat	: - Paling ringan diantara logam -logam yang sering digunakan. - Penghantar panas dan listrik yang tinggi. - Lunak, ulet, dan kekuatan tariknya rendah. - tahan terhadap korosi.
Penggunaan	: -Karena sifatnya yang ringan, maka banyak digunakan dalam pembuatan kapal terbang, rangka khusus untuk kapal laut modern kendaraan-kendaraan dan bangunan-bangunan industri. -Karena ringan dan penghantar panas yang baik, banyak dipakai untuk keperluan alat-alat masak. -Banyak dipakai untuk kabel-kabel listrik karena konduktivitas Listriknya tinggi dan relative lebih murah dibandingkan dengan tembaga.

-Aluminium tuang dibuat jika dikehendaki konstruksi yang ringan dengan kekuatan yang tidak terlalu besar .(Suarsana,2017)

Sifat-sifat	Aluminium Murni tinggi
Struktur Kristal	FCC
Densitas pada 20 °C (sat. 103kg/m <sup>3</sup> )	2.698
Titik Cair °C	660.1
Koefisien mulur panas kawat 20° – 100° C (10 <sup>-6</sup> /K)	23.9
Konduktifitas panas 20° – 400 °C (W/(m K)	238
Tahanan listrik 20 °C (10 <sup>-8</sup> KΩ m)	2.69
Modulus elastisitas (GPa)	70.5
Modulus kekakuan (GPa)	26.0
Poissons Ratio	0.3

*Table 2.2 Karakteristik aluminium*

#### **2.9.4** Karakteristik aluminium

Pada umumnya material komposit terbuat dari pengecoran bahan dasar, sebagai unsur dengan persentase fraksi berat paling tinggi dibandingkan dengan komponen lain dan unsur serta senyawa lain guna memperkuat bahan dasar guna memperbaiki sifat-sifatnya. Dibandingkan dengan komposit logam lainnya, aluminium dan paduannya tersebar luas. Aluminium dan paduannya memungkinkan penggunaan berbagai bahan penguat dan perbaikan. Keunggulan utama material

komposit dengan bahan dasar aluminium dibandingkan material tanpa tulangan adalah

- a) kekuatan yang lebih besar,
- b) kekakuan yang lebih besar,
- c) kepadatan berkurang (berat),
- d) meningkatkan sifat pada suhu tinggi,
- e) koefisien muai panas terkendali,
- f) pemanasan bahan yang terkendali,
- g) konduktivitas listrik yang lebih baik dan dapat disesuaikan,
- h) meningkatkan ketahanan terhadap abrasi dan keausan,
- i) berat terkontrol (terutama untuk gerakan seperti piston ICE),
- j) kemampuan penyusutan yang lebih baik.

Tetapi paduan aluminium memiliki kelemahan tertentu seperti koefisien ekspansi termal yang tinggi dan karakteristik tribologis yang tidak memadai.

Kekakuan dan ketangguhan yang lebih tinggi, ketahanan lelah, serta peningkatan karakteristik tribologis, diperoleh dengan menambahkan bahan untuk penguatan dan peningkatan dan dengan demikian memodelkan komposit aluminium tertentu. Sebagai bahan untuk perbaikan dibedakan SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan grafit

### **2.9.5 Aplikasi Aluminium**

Paduan aluminium untuk produksi, khususnya bodywork kendaraan bermotor, baru digunakan akhir-akhir ini. Namun, dalam waktu yang sangat singkat, bahan jenis ini telah mendapatkan popularitas dan kehadiran yang sangat tinggi di sejumlah besar pabrikan kendaraan bermotor, terutama karena massanya yang rendah dan karena praktis tidak menunjukkan kecenderungan korosi. Selain badan kendaraan itu sendiri, bagian tertentu dari ICE, serta unit daya lainnya (motor listrik, dll.) Terbuat dari paduan ini, serta rakitan individu dan bagian dari sistem

lain pada kendaraan. Salah satu kelemahan utama dalam penerapan aluminium dan paduannya adalah proses pengelasan elemen tertentu yang sulit dan menuntut, tetapi juga kecenderungannya untuk menghasilkan getaran dan kebisingan yang meningkat.

Keuntungan utama paduan aluminium dibandingkan dengan bahan baja konvensional untuk produksi suku cadang dan rakitan kendaraan adalah sebagai berikut: tenaga kendaraan yang lebih tinggi diperoleh dengan massa kendaraan yang lebih rendah, kekakuan yang lebih baik, kepadatan (berat) yang berkurang, sifat yang lebih baik pada suhu tinggi, koefisien ekspansi termal terkontrol, rakitan individu, kinerja listrik yang ditingkatkan dan disesuaikan, ketahanan aus yang lebih baik dan redaman kebisingan yang lebih baik

## 2.10 Sandwich Foam

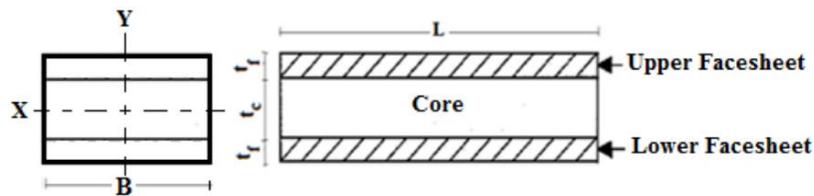
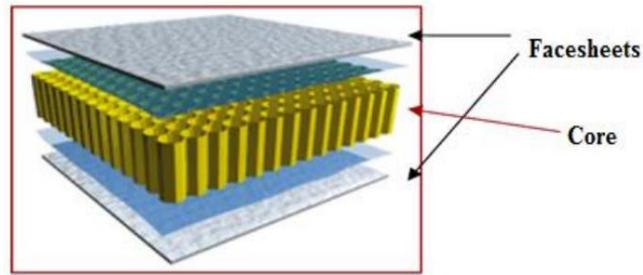


*Gambar 2.17 sandwich panel aluminium foam*

*Aluminium Foam Sandwich* (AFS) adalah produk yang terdiri dari inti busa paduan aluminium yang sangat berpori dan dua aluminium lembaran wajah paduan. Lapisan-lapisan itu melekat erat satu sama lain oleh ikatan logam. Penggunaan panel *sandwich* seperti itu telah diusulkan untuk banyak sektor industri termasuk otomotif, pembangunan kapal, kereta api, dan industri pesawat terbang. Panel *sandwich* dibandingkan dengan bahan padat atau busa telanjang memiliki berbagai

keunggulan. Mereka lebih kaku dari lembaran padat massa yang sama. Dibandingkan dengan busa telanjang tanpa lembaran wajah keuntungan utama adalah bahwa kulit luar memungkinkan sandwich untuk menanggung beban tarik yang terjadi, misalnya pada saat panel bengkok. Busa logam telanjang sajaberkinerja buruk dalam tegangan dan panel patah dengan cepat di sisi luar. Busa aluminium diperkuat dengan kabel logam atau jerat meningkatkan ini situasi yang mirip dengan AFS. Keduanya mengarah pada sifat tarik yang lebih baik tetapi kurang efisien dalam menampung tegangan tekan. Di panel sandwich, inti busa berpori tersembunyi di dalam bahan padat yang menghindari kemungkinan masalah dengan permukaan kerusakan atau korosi. Jika ujung-ujungnya disegel aluminium busa dapat sepenuhnya tidak dapat diakses oleh cairan dan gas. Dibandingkan dengan panel sandwich di mana lembaran wajah hanyalah terpaku pada selembar busa logam, karakter logam murni. (Banhart & Seeliger 2012).

Struktural sandwich adalah bentuk khusus dari komposit yang terdiri dari kombinasi berbagai bahan yang diikat satu sama lain sehingga dapat memanfaatkan sifat-sifat masing-masing komponen yang terpisah untuk keuntungan struktural dari keseluruhan perakitan. Bahan sandwich sering digunakan di mana kekuatan tinggi dan berat rendah merupakan kriteria penting. Aplikasi yang paling penting ditemukan di industri transportasi seperti di industri kedirgantaraan, pesawat terbang, mobil, kereta api dan kelautan di mana rasio kekakuan/berat dan kekuatan/berat yang tinggi memberikan peningkatan kapasitas muatan, peningkatan kinerja, dan konsumsi energi yang lebih rendah. Struktur sandwich terdiri dari tiga elemen yaitu; lembaran muka, inti dan lapisan antarmuka perekat. Muka membawa beban dalam bidang dan beban lentur, sedangkan inti menahan gaya geser transversal dan menjaga permukaan tetap pada tempatnya.



Gambar 2.18 komponen utama struktur sandwich

### 2.10.1 Bagian-bagian Sandwich Foam

Berdasarkan struktur sandwich foam, terdapat 2 bagian:

- a. Plat Alumunium 6061

Berbagai teknologi telah diusulkan untuk membuat panel sandwich menggabungkan busa aluminium dan logam lembaran. Pendekatan yang paling jelas adalah memulai dari selembar busa logam dan untuk merekatkan lembaran wajah ke dalamnya. dengan ikatan perekat, mematri atau ikatan difusi. Kita akan menyebutnya ikatan ex-situ. Panel busa baik diiris blok yang lebih besar atau berbusa sebagai produk datar dalam cetakan adalah terikat pada dua lembaran padat. Sifat-sifat yang dihasilkan panel sandwich kemudian diberikan oleh interaksi busa, lembaran dan perekat dan, tergantung pada parameter yang dipilih, berbagai properti dan mode kegagalan diamati ( Banhart & Seeliger, 2008)

b. *Aluminium foam*



*Gambar 2.19 Aluminium foam*

*Aluminum foam* merupakan material logam yang berpori dengan struktur selular, yang berbentuk bola dan pori tertutup mencapai lebih dari 70% dari jumlah volume (Simancik dkk, 1997). Aluminum foam memiliki kombinasi sifat yang baik, seperti kekakuan yang tinggi, kekuatan, dan energi penyerapan (Vinaydkk, 2014).

Busa logam dapat diproduksi dalam berbagai bentuk mulai dari produk datar sederhana hingga komponen berbentuk hampir sewenang-wenang. Teknologi pemrosesan yang tersedia saat ini baik menghasilkan busa logam dari paduan cair yang mengandung aditif khusus atau melibatkan memanggang prekursor yang awalnya padat, mengandung zat peniup yang memicu pembusaan. Ketika prekursor mulai mencair, tergantung pada pembuatannya proses yang digunakan, bagian busa logam dapat menunjukkan kulit luar yang tertutup ketika mereka telah diperluas di dalam cetakan atau dalam kasus busa harus dipotong sesuai ukuran menunjukkan sebagian terbuka pori-pori. Kulit alami yang membatasi komponen berbuisa memainkan peranan penting. Mereka dapat meningkatkan kompresi kekuatan secara signifikan dan juga melindungi yang sangat berpori busa. Namun, dalam banyak kasus, mereka mungkin masih terlalu tipis untuk secara efektif menyegel busa atau untuk memberikan mekanik yang cukup; stabilitas. Desain sandwich yang tepat berdasarkan wajah yang padat lembaran dapat mengoptimalkan kompresi,

tegangan, torsi atau sifat lentur jauh lebih efisien. *Aluminium Foam Sandwich* (AFS) merupakan komposit yang terdiri dari inti busa aluminium (paduan) dan dua lembaran wajah logam padat melekat erat pada inti. (Banhart & Seeliger, 2008)

Kekuatan Kompresi	367 psi	(2.53 MPa)
Kekuatan Tarik	180 psi	(1.24 MPa)
Kekuatan geser	190 psi	(1.31 MPa)
Modulus Elastis (Tekanan)	$15 \times 10^3$ psi	(103.08 MPa)
Modulus Elastis (Tegangan)	$14.6 \times 10^3$ psi	(101.84 MPa)
Modulus Geser	$2.9 \times 10^4$ psi	(199.95 MPa)
Nilai Piramida Vicker	35 HV	-
Panas Spesifik	214 BTU/lb-°F	(895J/g-C)
Konduktivitas Termal Massal	3.4 BTU/ft-hr-F	(5.8 W/m-C)
Koefisien Ekspansi Termal (0-100 °C)	$13.1 \times 10^{-6}$ in/in-f	( $23.58 \times 10^{-6}$ m/m-C)
Resistivitas Massal	$2.84 \times 10^{-5}$ ohm -In	( $7.2 \times 10^{-5}$ ohm-cm)
Titik Lebur	1220 °F	(660 °C)

Table 2.3 karakteristik *aluminium foam*

## 2.11 Analisa Vibrasi

Analisa vibrasi digunakan untuk menentukan kondisi mekanis dan operasional dari peralatan. Vibrasi adalah getaran, dapat disebabkan oleh getaran udara atau getaran mekanis, misalnya mesin atau alat-alat mekanis lainnya. Keuntungan utama adalah bahwa analisa vibrasi dapat mengidentifikasi munculnya masalah sebelum menyebabkan *downtime* yang tidak terencana. Hal ini bisa dicapai dengan melakukan monitoring secara regular terhadap getaran mesin baik secara kontinyu maupun pada interval waktu yang terjadwal. Mentoring vibrasi secara regular dapat mendeteksi detorisasi atau cacat pada bantalan, kehilangan mekanis (*mechanical looseness*), dan gigi yang rusak atau aus. Analisa vibrasi juga dapat mendeteksi *misalignment* dan

ketidakseimbangan (*unbalance*) sebelum kondisi ini menyebabkan kerusakan pada bantalan dan poros (Michael, 2019).

Trending terhadap tingkat vibrasi dapat mengidentifikasi praktek pemeliharaan yang buruk seperti instalasi dan penggantian bantalan yang buruk, *alignment* poros yang tidak akurat, dan *balancing* rotor yang tidak presisi. Semua mesin yang berputar menghasilkan getaran yang merupakan fungsi dari dinamika permesinan seperti *misalignment* dan *unbalance* dari komponen-komponen rotor. Pengukuran amplitude getaran pada frekuensi tertentu akan menginformasikan tingkat akurasi dari porses *alignment* dan *balancing*, kondisi bantalan atau roda gigi, dan efek mesin yang diakibatkan oleh resonansi dari rumha mesin, pipa, dan struktur lainnya (Michael 2019).

Sinyal getaran yang memiliki informasi perilaku dinamik sering dipakai untuk mendeteksi kerusakan komponen mesin. Sinyal ini biasanya tercampur dengan sinyal getaran akibat komponen-komponen lain sehingga diperlukan metode yang tepat untuk memisahkan sinyal komponen yang diamati dengan sinyal yang lain, yang selanjutnya sinyal ini diolah untuk memperoleh informasi keadaan mesin atau peralatan yang dipantau (Didik Djoko Susilo, 2009).

Sinyal getaran yang termasuk sebagai sinyal dinamik merupakan fenomena fisik yang berubah-ubah dengan cepat. Sinyal ini biasanya diubah dalam bentuk sinyal listrik, yang selanjutnya didigitasi menggunakan sebuah *analog digital converter* (ADC) untuk diolah lebih lanjut. Karakteristik sinyal getaran yang penting untuk pemantauan kondisi mesin adalah: frekuensi, amplitudo, dan sudut fase (Didik Djoko Susilo, 2009).

## **2.12 Metode Elemen Hingga**

Susatio (2004) menyatakan bahwa metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis. Tipe masalah teknis dan matematika yang dapat diselesaikan dengan

metode elemen hingga terbagi dalam dua kelompok, yaitu kelompok analisis struktur dan kelompok masalah non-struktur. Masalah analisis struktur, meliputi analisis tegangan, buckling, dan analisis getaran. Sedangkan masalah non-struktur antara lain adalah perpindahan panas dan massa, mekanika fluida, serta distribusi dari potensial listrik. Menurut Purba dan Tarigan (2012), persoalan yang menyangkut geometri yang rumit terhadap struktur yang kompleks, pada umumnya sulit dipecahkan melalui matematika analisis. Formulasi dari metode elemen hingga dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini. Akibat adanya beban pada balok, akan mengakibatkan lendutan. Permasalahan ini dapat ditinjau dan diselesaikan dengan menghitungnya secara elemen hingga. Konsep yang mendasari metode elemen hingga menurut Bargess dkk (2009) adalah prinsip discretization.

Proses inti MEH adalah membagi sistem yang kompleks menjadi bagian-bagian kecil atau elemen-elemen sehingga solusi yang lebih sederhana dapat dengan mudah diperoleh. Solusi dari setiap elemen jika digabungkan akan menjadi solusi sistem secara keseluruhan. Untuk mendapatkan solusi elemental, MEH menggunakan fungsi interpolasi untuk mengaproksimasi solusi elemen. Untuk contoh tersebut suatu fungsi linear yang sederhana digunakan sebagai fungsi interpolasi. Setelah solusi setiap elemen diperoleh, dengan menggabungkan solusi-solusi elemen maka solusi secara keseluruhan sistem dapat diperoleh. Dengan menggunakan fungsi polinomial seperti fungsi kuadrat sebagai fungsi interpolasi, solusi yang lebih akurat bisa diperoleh.

Beberapa istilah-istilah yang digunakan dalam analisis struktur yang digunakan dalam metode elemen hingga yang dijelaskan oleh Katili (2008) adalah sebagai berikut.

#### 1. Beban

Beban adalah semua gaya yang menimbulkan tegangan dan regangan dalam suatu struktur. Beban nodal (BN) adalah beban terpusat yang langsung bekerja pada nodal. Beban nodal ekuivalen (BNE) adalah beban terpusat atau beban merata yang bekerja di antara nodal dan ditransmisikan menjadi beban nodal.

## 2. Gaya Nodal Struktur

Gaya nodal struktur adalah resultan atau hasil penggabungan beban nodal atau reaksi perletakan. Gaya tersebut akan didistribusikan ke seluruh elemen struktur dan menimbulkan gaya internal geser, aksial, momen torsi, dan momen lentur sampai akhirnya disalurkan ke perletakan. Gaya nodal struktur juga berperan dalam menjaga keseimbangan struktur bebas (free- body structure) bila perletakan dilepas.

## 3. Gaya Nodal Elemen

Gaya nodal elemen adalah gaya yang muncul pada nodal elemen dengan peran untuk menjaga keseimbangan elemen bila elemen dilepas dari struktur sebagai free-body. Gaya nodal elemen ini akan menghilang bila elemen-elemen dirangkai menjadi satu kesatuan dengan struktur dan bergabung menjadi gaya nodal struktur.

## 4. Peralihan Nodal

Peralihan nodal adalah terjadinya perpindahan derajat kebebasan nodal pada elemen struktur yang dapat berupa rotasi atau translasi dalam arah horisontal maupun vertikal akibat pembebanan.

## 5. Nodal Struktur

Nodal struktur adalah titik pertemuan elemen-elemen yang merupakan acuan dalam merangkai elemen-elemen pembentuk struktur. Pada nodal struktur gaya nodal struktur dan derajat kebebasan struktur didefinisikan untuk kemudian dibentuk relasi persamaan kekakuan struktur.

## 6. Nodal Elemen

Nodal elemen adalah titik-titik pada elemen dimana gaya nodal elemen dan derajat kebebasan elemen didefinisikan untuk kemudian dibentuk suatu persamaan kekakuan elemen.

## 7. Elemen Struktur

Elemen struktur adalah komponen-komponen pembentuk struktur yang dibatasi oleh minimal dua nodal.

Tujuan utama analisis dengan metode elemen hingga adalah untuk memperoleh nilai pendekatan (bukan eksak) tegangan dan peralihan pada suatu struktur. Karena pendekatan berdasarkan fungsi peralihan merupakan teknik yang seringkali dipakai, maka langkah-langkah berikut ini dapat digunakan sebagai pedoman bila menggunakan pendekatan berdasarkan asumsi tersebut:

1. Bagilah kontinum menjadi sejumlah elemen (Sub-region) yang berhingga dengan geometri yang sederhana (segitiga, segiempat, dan lain sebagainya).
2. Padat titik-titik pada elemen yang diperlakukan sebagai titik nodal, dimana syarat keseimbangan dan kompatibilitas dipenuhi.
3. Asumsikan fungsi peralihan pada setiap elemen sedemikian rupa sehingga peralihan pada setiap titik sembarangan dipengaruhi oleh nilai-nilai titik nodalnya.
4. Pada setiap elemen khusus yang dipilih tadi harus memenuhi syarat hubungan regangan peralihannya dan hubungan tegangan-regangannya.
5. Tentukan kekakuan dan beban titik nodal ekuivalen untuk setiap elemen dengan menggunakan prinsip usaha atau energi.
6. Turunkan persamaan keseimbangan ini untuk mencari peralihan titik nodal.
7. Selesaikan persamaan keseimbangan ini untuk mencari peralihan titik nodal.
8. Hitung tegangan pada titik tertentu pada elemen tadi.
9. Tentukan reaksi perletakan pada titik nodal yang tertahan bila diperlukan.

Beberapa kelebihan dalam penggunaan metode elemen hingga menurut Susatio (2004), antara lain adalah ;

1. Benda dengan bentuk yang tidak teratur dapat dengan mudah dianalisis.
2. Tidak terdapat kesulitan dalam menganalisis beban pada suatu struktur.
3. Pemodelan dari suatu benda dengan komposisi materi yang berlainan dapat dilakukan karena tinjauan yang dilakukan secara individu untuk setiap elemen.
4. Dapat menangani berbagai macam syarat batas dalam jumlah yang tak terbatas.
5. Variasi dalam ukuran elemen memungkinkan untuk memperoleh detail analisis yang diinginkan.

Adapun dasar dari metode elemen hingga adalah membagi benda kerja menjadi elemen-elemen kecil yang jumlahnya berhingga sehingga dapat menghitung reaksi akibat beban pada kondisi batas yang diberikan. Dari elemen- elemen tersebut dapat disusun persamaan-persamaan matriks yang biasa diselesaikan secara numerik dan hasilnya menjadi jawaban dari kondisi beban yang diberikan pada benda kerja tersebut. Metode elemen hingga (MEH) dapat mengubah suatu masalah yang memiliki jumlah derajat kebebasan tidak berhingga menjadi suatu masalah dengan jumlah derajat kebebasan tertentu sehingga proses pemecahannya lebih sederhana. Metode ini merupakan metode computer oriented yang harus dilengkapi dengan program-program komputer digital yang tepat dalam penelitian ini penulis menggunakan program ABAQUS untuk perhitungan numerik.

Perpindahan  $w(x, y, t)$  dapat dinyatakan dalam bentuk perpindahan bersama yang tidak diketahui sebagai berikut:

$$w(x, y, t) = \sum_{i=1}^i N_i(x, y) w_i(t)$$

Dimana  $N_i$  Disebut fungsi bentuk yang sesuai dengan perpindahan bersama  $w_i(t)$  dan  $n$  adalah jumlah perpindahan bersama yang tidak diketahui. Jika beban terdistribusi  $f(x, y, t)$  bekerja pada elemen, itu dapat diubah menjadi gaya bersama

setara  $f_i(t)$ .

Energi kinetik  $T$  dan energi regangan  $V$  dari elemen dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$T = \frac{1}{2} \dot{\vec{w}}^T [m] \dot{\vec{w}}$$

$$V = \frac{1}{2} \vec{w}^T [k] \vec{w}$$

Di mana

$$\vec{w} = \begin{Bmatrix} w_1(t) \\ w_2(t) \\ \vdots \\ w_n(t) \end{Bmatrix}, \dot{\vec{w}} = \begin{Bmatrix} \dot{w}_1(t) \\ \dot{w}_2(t) \\ \vdots \\ \dot{w}_n(t) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} dw_1/dt \\ dw_2/dt \\ \vdots \\ dw_n/dt \end{Bmatrix}$$

$[m]$  dan  $[k]$  adalah matriks massa dan kaku elemen. Dengan menggantikan persamaan gerak elemen hingga dapat diperoleh sebagai

$$[m] \ddot{\vec{w}} + [k] \vec{w} = \vec{f}$$

Di mana vektor gaya pada sambungan dan vektor percepatan pada sambungan diberikan oleh

$$\ddot{\vec{w}} = \begin{Bmatrix} \ddot{w}_1 \\ \ddot{w}_2 \\ \vdots \\ \ddot{w}_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} d^2w_1/dt^2 \\ d^2w_2/dt^2 \\ \vdots \\ d^2w_n/dt^2 \end{Bmatrix}$$

Catatan bahwa bentuk elemen hingga dan jumlah pergeseran persendian yang tidak diketahui dapat berbeda untuk berbagai aplikasi.