

SKRIPSI

**ANALISIS DINAMIS SANDWICH ALUMINIUM FOAM SEBAGAI PEREDAM
GETARAN KERETA CEPAT MENGGUNAKAN SOFTWARE ABAQUS**



OLEH:

MUHAMMAD FUAD GHIFFARI

D021171514

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS DINAMIS SANDWICH ALUMINIUM FOAM SEBAGAI PEREDAM GETARAN KERETA CEPAT MENGGUNAKAN SOFTWARE ABAQUS

Disusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD FUAD GHIFFARI

D021 17 1514

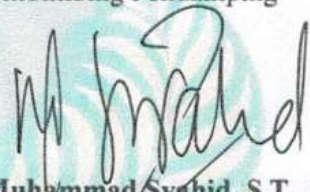
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 16 Januari 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping


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


Dr. Muhammad Syahid, S.T., MT
NIP. 197707072005011001

Ketua Program Studi,


Prof. Dr. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T
NIP. 197208252000031001



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Muhammad Fuad Ghiffari

NIM : D021 17 1514

Program Studi : Teknik Mesin

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Dinamis Sandwich Aluminium Foam Sebagai Peredam Getaran Kereta
Cepat Menggunakan Software Abaqus

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah di beri 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 atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap di klarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasikan 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 dari karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 09 Januari 2024

Yang menyatakan



Muhammad Fuad Ghiffari

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji syukur kita panjatkan atas kehadiran Allah SWT atas berkat Rahmat dan Karunia-nya sehingga tugas akhir ini yang berjudul **“ANALISIS DINAMIS SANDWICH ALUMINIUM FOAM SEBAGAI PEREDAM GETARAN KERETA CEPAT MENGGUNAKAN SOFTWARE ABAQUS”** 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 Alm. Hamdani dan Ibunda yang kusayangi Andi Yusnita 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 MT 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 mengucapka banyak terimakasih 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 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. A. Rizhani Mulyasari yang banyak membantu serta menemani penulis dalam proses penulisan skripsi.
9. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin angkatan 2017 (ZYNCHROMEZH)
10. 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, 9 Januari 2024

Muhammad Fuad Ghiffari

ABSTRAK

Muhammad Fuad Ghiffari (D021171514), Dibimbing oleh bapak Fauzan, ST., MT., Ph.D dan bapak Dr. Muhammad Syahid, ST., MT, dengan judul tugas akhir “Analisis Dinamis Sandwich Aluminium Foam Sebagai Peredam Getaran Kereta Cepat Menggunakan Software Abaqus.”

Salah satu masalah yang dihadapi oleh kereta cepat adalah getaran yang dihasilkan oleh peningkatan kecepatan kereta di atas rel. Untuk mengurangi getaran pada kereta, ada beberapa jenis peredam getaran yang umum digunakan dalam industri kereta cepat, contoh peredam yang digunakan yaitu peredam mekanis, peredam aktif, dan peredam dari material elastis untuk meredam getaran. Konstruksi sandwich aluminium telah diakui sebagai konsep yang menjanjikan untuk desain struktural sistem transportasi ringan sebab penghematan berat struktural adalah salah satu pertimbangan utamanya. Struktur sandwich aluminium foam terdiri dari dua lapisan aluminium dengan lapisan foam aluminium berpori di antara keduanya. Foam aluminium memiliki sifat peredam getaran yang baik karena pori-porinya yang berfungsi sebagai absorber getaran. Adapun tujuan dari penelitian ini (1)Menentukan frekuensi pribadi getaran pada sandwich foam (2)Menganalisa perbedaan karakteristik getaran terhadap variasi ketebalan inti sandwich foam. Penelitian ini mengaji 3 variasi ketebalan foam yaitu 20mm, 25mm, 30mm. Pengujian ini dilakukan dengan menguji frekuensi dari masing-masing model sandwich aluminium dengan menggunakan software ABAQUS CAE. Adapun hasil simulasi, aluminium foam berperan dalam mengurangi frekuensi dan amplitudo yang terjadi pada model. Kesimpulan dari pengujian ini sandwich aluminium foam memiliki kemampuan untuk meredam getaran dengan efektif, frekuensi pribadi dari masing-masing ketebalan foam, serta adanya perbedaan dalam karakteristik getaran dan juga ditemukan bahwa tingkat ketebalan foam berpengaruh terhadap getaran sandwich aluminium.

Kata kunci : Aluminium Foam, Software ABAQUS CAE, Sandwich Foam,
Kereta Cepat

ABSTRACT

Muhammad Fuad Ghiffari (D021171514), supervised by Mr. Fauzan, ST., MT., Ph.D and Dr. Muhammad Syahid, ST., MT., conducted a final project with the title "Dynamic Analysis of Sandwich Aluminium Foam as a Vibration Dampener for High-Speed Trains Using Abaqus Software."

One of the challenges faced by high-speed trains is the vibrations generated by the increase in train speed on the tracks. To reduce vibrations in trains, various types of vibration dampeners are commonly used in the high-speed train industry. Examples of dampeners used include mechanical dampeners, active dampeners, and dampeners made from elastic materials to dampen vibrations. The construction of sandwich aluminium has been recognized as a promising concept for the design of lightweight structural transport systems due to the primary consideration of structural weight savings. The structure of sandwich aluminium foam consists of two layers of aluminum with a porous aluminum foam layer in between. Aluminum foam has good vibration damping properties due to its pores that function as vibration absorbers. The objectives of this research are (1) to determine the natural vibration frequencies of the foam sandwich and (2) to analyze the vibration characteristics with variations in the core thickness of the sandwich foam. This research explores three variations in foam thickness: 20mm, 25mm, and 30mm. The testing was conducted by examining the frequencies of each aluminum sandwich model using ABAQUS CAE software. The simulation results show that aluminum foam effectively reduces the frequency and amplitude in the model. The conclusion of this study is that sandwich aluminum foam has the capability to effectively dampen vibrations, and there are differences in vibration characteristics among the various foam thicknesses. It was also found that the foam thickness level affects the vibration of the aluminum sandwich.

Keywords: Aluminium Foam, ABAQUS CAE Software, Sandwich Foam, High-Speed Train.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK.....	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
NOMENKLATUR.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah	3
1.3 Batasan masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kereta Cepat.....	5
2.2 Getaran.....	6
2.3 Jenis-jenis getaran.....	6
2.4 Parameter Getaran.....	9
2.5 Aluminium	11
2.5.1 Golongan Bijih-Bijih Aluminium	11
2.5.2 Proses Pengolahan Bijih-Bijih Aluminium.....	11
2.5.3 Sifat-Sifat Aluminium.....	12
2.5.4 Komposit Aluminium	13
2.5.5 Aplikasi aluminium.....	14
2.6 Sinyal Getaran.....	15
2.6.1 Sinyal Getaran Domain Waktu	15
2.6.2 Sinyal Getaran Domain Frekuensi	16
2.7 Frekuensi Pribadi	17
2.7.1 Sistem Balok Kontinu	18
2.8 Modus Getaran.....	21
2.9 Bagian Sandwich Foam	23
2.10 Analisa Vibrasi.....	25
2.11 Metode Elemen Hingga dalam Struktur Vibrasi.....	26
2.12 Simulasi Numerik dengan <i>Software</i> Abaqus.....	28

2.13 Analisis Dinamis.....	28
BAB III	30
METODE PENELITIAN	30
3.2 Simulator.....	30
3.3 Spesifikasi <i>sandwich</i> panel	31
3.4 Metode Penelitian	31
3.5 Pembuatan Model Spesimen.....	31
a. Jadwal Penelitian.....	39
b. Diagram Alir Penelitian	40
BAB IV PEMBAHASAN.....	41
4.1 Data Frekuensi Pribadi Secara Teori	41
4.2 Simulasi Getaran Bebas	42
4.3 Proses Pembuatan Model.....	42
4.4 Hasil Frekuensi Simulasi	43
4.4.1 Sandwich Aluminium Foam 20mm	44
4.4.2 <i>Sandwich Aluminium Foam</i> 25mm	47
4.4.3 <i>Sandwich Aluminium Foam</i> 30mm	49
4.5 Frekuensi tiap Mode Getaran.....	52
4.6 Analisis Dinamis.....	52
4.7 Magnitudo Terjauh dari Tiap Mode dan Variasi Ketebalan	53
4.8 Data Perbandingan Frekuensi Simulasi dan Teoritis	54
BAB V KESIMPULAN.....	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58
Lampiran.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Model badan kereta dan lantai kereta.....	6
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 Frekuensi dan Periode Gelombang	10
Gambar 2.7 Amplitudo dalam Gelombang	10
Gambar 2.8 Sinyal getaran Domain Waktu	16
Gambar 2.9 Hubungan Antara Domain Waktu Dengan Domain Frekuensi....	16
Gambar 2.10 Persamaan frekuensi natural.....	18
Gambar 2.11 Model Balok Kontinu.....	19
Gambar 2.12 Persamaan Modus getaran <i>Sandwich Foam</i>	21
Gambar 2.13 <i>Sandwich Panel Aluminium Foam</i>	22
Gambar 2.14 <i>Aluminium Foam</i>	23
Gambar 3. 1 Abaqus	30
Gambar 3. 2 Menu Pada Abaqus	32
Gambar 3. 3 Tampilan Opsi <i>Create Part</i> dan Dimensi Model	32
Gambar 3. 4 Tampilan Opsi <i>Material Management</i>	33
Gambar 3. 5 <i>Part</i> yang sudah digabungkan	34
Gambar 3. 6 Tampilan <i>create step</i> pada Abaqus CAE	34
Gambar 3.7 Tampilan edit <i>step</i> Abaqus ACE.....	35
Gambar 3.8 Tampilan global <i>seeds</i> pada Abaqus CAE kemudian klik <i>apply</i> .	35
Gambar 3. 9 Tampilan panel <i>boundary condition</i> pada Abaqus CAE.....	36
Gambar 3.10 Tampilan panel <i>boundary condition</i> pada Abaqus ACE.....	36
Gambar 3.11 Tampilan global <i>seeds</i> pada Abaqus CAE kemudian klik <i>apply</i>	37
Gambar 3.12 Tampilan panel job Abaqus CAE.....	38
Gambar 3. 13 Tampilan panel <i>job manager</i> pada Abaqus CAE.....	39
Gambar 4. 1 Model uji dalam keadaan <i>base state</i>	42
Gambar 4. 2 Ketebalan <i>sandwich</i>	43

Gambar 4. 3 Grafik perbandingan frekuensi ketebalan	44
Gambar 4. 4 Perbedaan mode 5 <i>foam</i> 20mm dan 30mm	53
Gambar 4. 5 Grafik perbandingan nilai frekuensi simulasi dan teoritis	55
Gambar 4. 6 Grafik perbandingan nilai frekuensi simulsi dan teoritis	56
Gambar 4. 7 Grafik perbandingan nilai frekuensi simulasi dan teoritis	56
Gambar 4. 8 Grafik frekuensi pada tiap mode getaran	52
Gambar 4. 9 Grafik perbandingan Amplitudo	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Konstanta	21
Tabel 2. 2 Karakteristik aluminium foam	25
Tabel 2. 3 Karakteristik aluminium	13
Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian.....	39
Tabel 4. 1 Frekuensi pribadi pada satu mode.....	43
Tabel 4. 2 Hasil simulasi foam 20 mm	45
Tabel 4. 3 Hasil Simulasi Foam 25 mm.....	48
Tabel 4. 4 Hasil Simulasi	50

NOMENKLATUR

ω	frekuensi alami sudut	Rad/s
E	modulus <i>Young's</i>	N/m ²
L	panjang penampang	m
I	momen inersia	kg.m ²
m	massa	kg
b	lebar penampang	m
h	tinggi penampang	m
f_n	frekuensi pribadi	Hertz

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kereta cepat atau *High-Speed Train* (HST) telah menjadi salah satu moda transportasi yang paling penting dan efisien dalam sistem transportasi modern. Dengan kecepatan yang tinggi, kereta cepat memberikan keuntungan dalam hal efisiensi waktu perjalanan dan kenyamanan penumpang sehingga dapat mengatasi masalah mobilitas di berbagai negara di seluruh dunia. Kecepatan tinggi kereta cepat memberikan keuntungan signifikan dalam mengurangi waktu perjalanan dan juga meningkatkan efisiensi transportasi. Namun, kereta cepat juga menghadapi tantangan teknis dalam menjaga kenyamanan penumpang, terutama ketika kereta melaju dengan kecepatan tinggi.

Dalam operasi lapangan kereta berkecepatan tinggi, semua komponen sistem kereta api pasti akan bergetar di bawah eksitasi eksternal. Peningkatan kecepatan juga menghasilkan getaran signifikan pada sistem kereta cepat. Getaran yang berlebihan dapat mengganggu kenyamanan penumpang, mengurangi masa pakai struktur, dan berpotensi mengurangi keselamatan operasi. 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. Oleh karena itu, penggunaan peredam getaran yang efektif sangat penting dalam sistem kereta cepat.

Untuk mengurangi getaran pada kereta, ada beberapa jenis peredam getaran yang umum digunakan dalam industri kereta cepat dan telah

mengurangi Sebagian besar getarannya. Contoh peredam yang digunakan yaitu peredam mekanis yang menggunakan desain pegas dan massa untuk menyerap dan mengurangi getaran, dan juga peredam aktif yang menggunakan teknologi kontrol aktif untuk meredam getaran secara aktif dengan menggunakan sensor dan actuator. Sedangkan peredam yang menggunakan bahan dari material elastis seperti karet atau material-material khusus untuk meredam getaran dan isolasi juga digunakan dalam industri ini. Untuk peredam getaran yang digunakan di dalam gerbong kereta untuk meredam getaran demi meningkatkan kenyamanan penumpang juga telah menggunakan material yang dapat menyerap getaran. Hingga saat ini, telah ada beberapa jenis material yang digunakan untuk lantai kereta, seperti bahan karet, bahan berbasis polimer, dan logam berlapis karet. Namun masih terdapat ruang untuk peningkatan dalam hal kualitas peredaman getaran. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengidentifikasi dan mengembangkan material yang lebih efektif dalam meredam getaran pada lantai kereta cepat.

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. *Sandwich aluminium foam* merupakan salah satu bahan yang menarik untuk digunakan sebagai peredam getaran pada kereta cepat. Struktur *sandwich aluminium foam* terdiri dari dua lapisan aluminium dengan lapisan *foam aluminium* berpori di antara keduanya. Busa aluminium memiliki sifat peredam getaran yang baik karena pori-porinya yang berfungsi sebagai absorber getaran. Selain itu, kepadatan rendah *foam aluminium* juga memungkinkan pengurangan bobot struktur yang signifikan. Oleh karena itu, *sandwich aluminium foam* memiliki potensi untuk digunakan sebagai peredam getaran yang efektif

pada kereta cepat.

Penelitian yang fokus pada analisis dinamis *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 dinamis 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 dihasilkan oleh *sandwich foam*.
2. Bagaimana perbedaan getaran terhadap ketebalan *sandwich foam*.

1.3 Batasan masalah

1. Memperoleh data analisa getaran pribadi pada *sandwich foam* terhadap variasi ketebalan *foam* menggunakan *software Abaqus* dengan ketebalan plat aluminium AL-6061 6mm.
2. Memperoleh Analisa karakteristik getaran terhadap ketebalan inti *sandwich foam* menggunakan *software Abaqus* dengan ketebalan plat aluminium AL-6061 6mm.

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* terhadap variasi ketebalan *foam*.

2. Menganalisa perbedaan karakteristik getaran pada *sandwich foam* terhadap variasi ketebalan *foam*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini diharapkan sebagai berikut :

1. Bagi penulis, menjadikan referensi pembandingan 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.

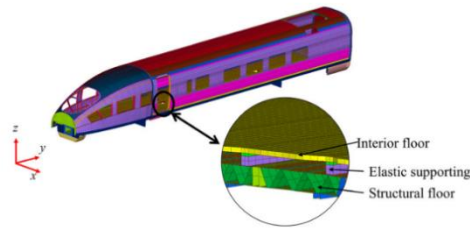
BAB II

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, respon 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, 2021)



Gambar 2.1 Model badan kereta dan rantai 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 turbin pasti memiliki getaran pada saat bekerja. Dengan getaran tersebut pula, dapat mengetahui kondisi/masalah pada mesin. Masalah yang biasa ditemui : kerusakan *bearing*, *missalignment 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. Vibrasi adalah respon dari sebuah sistem menuju ke bebarapa stimulus eksternal 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-jenis getaran

Berdasarkan gangguan yang berkerja getaran dapat dibagi menjadi 2 yaitu:

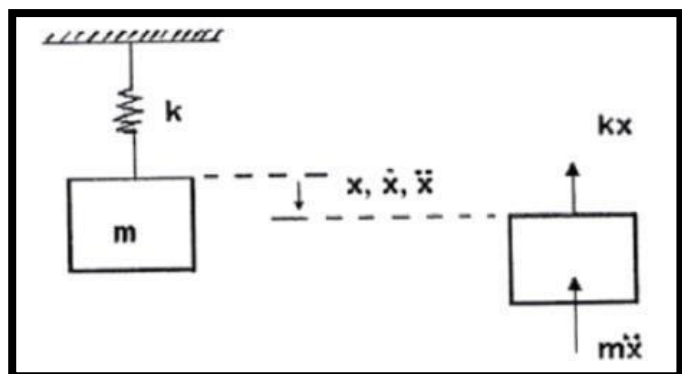
1. Getaran bebas (*free vibration*)

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 praktek 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 2.1

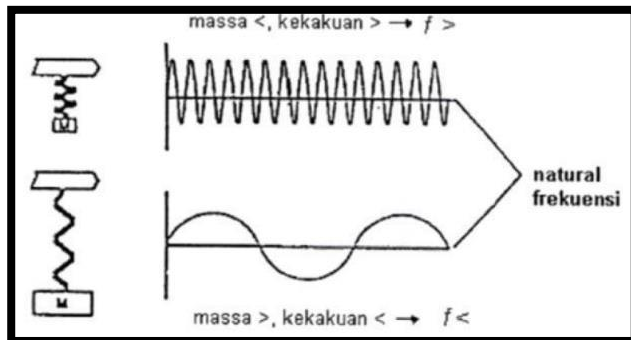


Gambar 2.2 Getaran Bebas Tanpa Redaman

Dari gambar diatas, maka persamaan gerak benda dapat diturunkan sebagai berikut:

$$m\ddot{X} + kX = 0$$

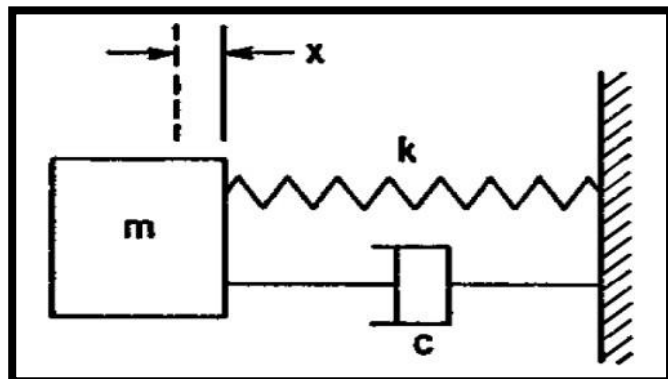
Bila benda diberi gaya kemudian dilepas, maka benda tersebut akan bergetar pada frekuensi pribadinya, seperti gambar 2.2



Gambar 2.3 Getaran Tanpa Redaman dengan frekuensinya

b. Getaran Bebas Dengan Redaman

Bila suatu sistem yang memiliki redaman diberi gaya kemudian dilepas seperti gambar 2.3, sistem tersebut akan bergetar pada frekuensi pribadi sistem teredam (ω_d). (Haryo, 2018)



Gambar 2.4 Getaran Bebas dengan Redaman

Dimana ω_d , frekuensi pribadi sistem teredam dapat dihitung dengan persamaan :

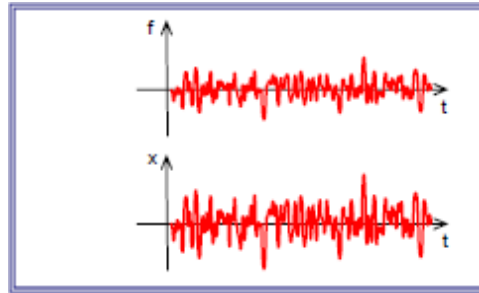
$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - c}$$

Dimana ω_d = 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. (Bilosova & Bilos, 2012).



Gambar 2.5 Getaran Akibat dan Gaya yang Tidak Beraturan

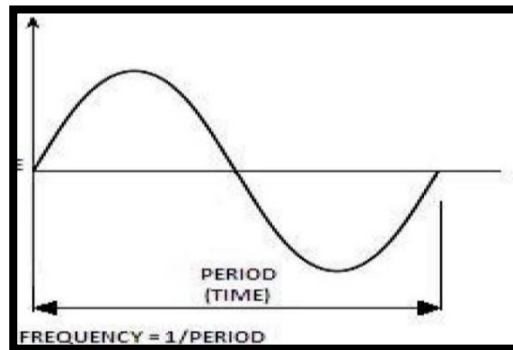
- d. *Self-excited*

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. (Bilosova & Bilos, 2012).

2.4 Parameter Getaran

- a) Frekuensi

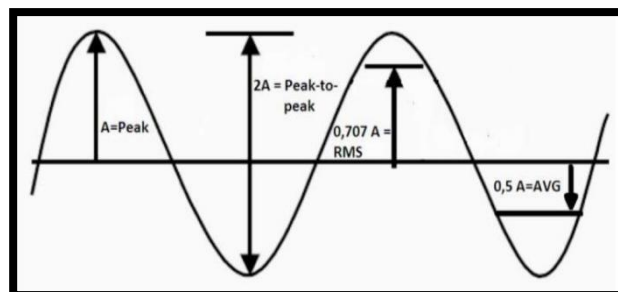
Didefinisikan sebagai jumlah gelombang yang terjadi dalam satuan waktu $[1/\text{det}] = [\text{Hertz}]$. Satuan yang biasa digunakan dalam suatu pengukuran adalah *Revolution per Minutes* (RPM) yaitu 60x frekuensi dalam Hertz. Adapun gambarnya dapat dilihat pada gambar 2.5 dibawah ini. (Haryo, 2018)



Gambar 2.6 Frekuensi dan Periode Gelombang

b) Amplitudo

Didefinisikan sebagai besaran simpangan maksimum dari benda yang bergetar. Amplitudo dapat diwakili sebagai *displacement* [mils], *Velocity* [in/s], atau *acceleration* [in/s²]. 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 2.6 :



Gambar 2.7 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)

2.5 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)

2.5.1 Golongan Bijih-Bijih Aluminium

1. Bauksit, bijih bauksit ini didapat dalam bentuk batu-batuan yang berwarna merah atau coklat. Bauksit setelah dipisahkan dari kotoran-kotoran pengantar didapat kaolin ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{Si}_2\text{O} \cdot \text{H}_2\text{O}$), *Bochmite*/diaspora ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), Gibbsite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)
2. *Nepheline* ($\text{Na K})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)
3. *Alunite* ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{Al}(\text{OH})_3$)
4. *Cyanite* ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) : bijih ini tidak dapat diproduksi untuk aluminium,tetapi diproduksi untuk peleburan langsung paduan *aluminium – silicon*. (Suarsana,2017)

2.5.2 ProsesPengolahan Bijih-Bijih Aluminium

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 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, 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_2CO_3 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)

2.5.3 Sifat-Sifat Aluminium

Rapat massa <i>relative</i>	: 2,7 gr / cm ³
Titik lebur	: 660 0C
Kekuatan Tarik	: -Dituang : 90 – 120 N/mm ² -Di <i>annealing</i> : 70 N/mm ² -Di roll : 130 – 200 N/mm ²
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 ³)	2.698
Titik Cair °C	660.1
Koefisien mulur panas kawat 20° – 100° C (10 ⁻⁶ /K)	23.9
Konduktifitas panas 20° – 400 °C (W/(m K)	238
Tahanan listrik 20 °C (10 ⁻⁸ KΩ m)	2.69
Modulus elastisitas (GPa)	70.5
Modulus kekakuan (GPa)	26.0
Poissons Ratio	0.3

Tabel 2. 1 Karakteristik aluminium

2.5.4 Komposit 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, Al₂O₃ dan grafit.

2.5.5 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.

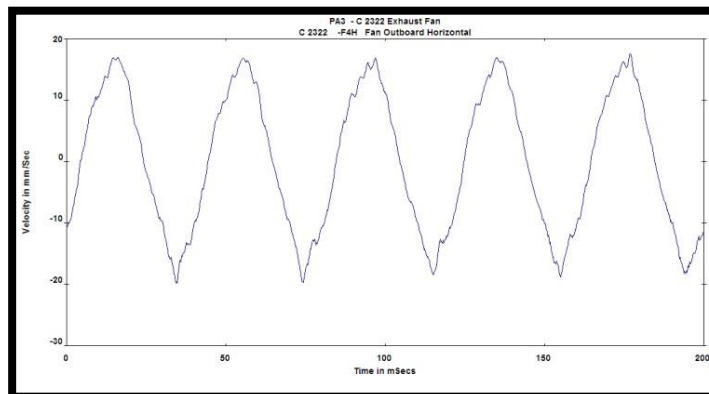
2.6 Sinyal Getaran

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)

2.6.1 Sinyal Getaran Domain Waktu

Dengan domain waktu analisis dapat mengamati perubahan simpangan suatu getaran terhadap waktu secara terinci. Gambar 2.7

merupakan gambar sinyal getaran dalam domain waktu.



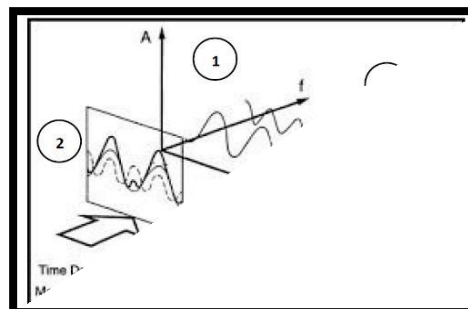
Gambar 2.8 Sinyal getaran Domain Waktu

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

2.6.2 Sinyal Getaran Domain Frekuensi

Sumbu vertikal pada diagram domain frekuensi menyatakan amplitudo dari variabel respon, sedangkan sumbu horizontal menyatakan frekuensi (Hz, RPM). Gambar 2.8 merupakan gambar sinyal getaran dalam domain frekuensi.

Dengan adanya sinyal getaran dalam domain frekuensi, analisis kegagalan dapat dilakukan dengan melihat amplitudo tinggi berdasarkan frekuensinya. Ilustrasi tentang konsep data dalam domain waktu dan dalam domain frekuensi diperlihatkan dalam gambar 2.8.



Gambar 2.9 Hubungan Antara Domain Waktu Dengan Domain 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)

2.7 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 2.10 Persamaan frekuensi natural

Dimana:

E : Modulus

elastisitas I :

Momen

inersia

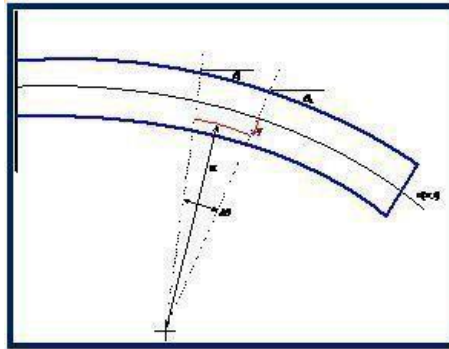
M : massa per satuan

Panjang L : Panjang

balok

2.7.1 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 kontinyu 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 2.11 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 :

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

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

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 :

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

Konstanta β 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 β . Setelah mengetahui nilai-nilai β , maka dapat ditentukan frekuensi pribadi dari balok.

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

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

Tabel 2. 2 Konstanta

2.8 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 2.12 Persamaan Modus getaran *Sandwich Foam*



Gambar 2.13 *Sandwich Panel Aluminium
Foam*

Sandwich busa aluminium (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 saja berkinerja 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 selembat

busa logam, karakter logam murni. (Banhart & Seeliger 2012)

2.9 Bagian Sandwich Foam

Berdasarkan struktur sandwich foam, terdapat 2 bagian

a. Face plate.

Berbagai teknologi telah diusulkan untuk membuat panel sandwich menggabungkan busa aluminium dan logam lembar. Pendekatan yang paling jelas adalah memulai dari selembur 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 berbisa sebagai produk datar dalam cetakan – adalah terikat pada dua lembar 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)



Gambar 2.14 *Aluminium Foam*

b. 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 berbusa 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 kurus untuk se cara 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. Dalam makalah ini, kita akan membahas 'Aluminium Foam Sandwich (AFS)', 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)
Massa Jenis	197.8 kg/m ³	(103.08 MPa)
Modulus Elastis (Tegangan)	50 MPa	(50 MPa)

Modulus Elastis (Tekanan)	0.78 Mpa	(0.78 MPa)
Poissons Ratio	0	0

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 x 10 ⁻⁶ in/in-f	(23.58 x 10 ⁻⁶ m/m-C)
Resistivitas Massal	2.84 x 10 ⁻⁵ ohm - in	(7.2 x 10 ⁻⁵ ohm-cm)
Titik Lebur	1220°F	(660°C)

Tabel 2. 3 Karakteristik aluminium foam

2.10 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 amplitudo getaran pada frekuensi tertentu akan menginformasikan tingkat akurasi dari proses *alignment* dan *balancing*, kondisi bantalan atau roda gigi, dan efek mesin yang diakibatkan oleh resonansi dari rumah 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. (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. (Susilo, 2009)

2.11 Metode Elemen Hingga dalam Struktur Vibrasi

Metode elemen hingga adalah metode numerik yang dapat digunakan untuk solusi yang akurat dari masalah getaran mekanikal dan struktural yang kompleks. Dalam metode ini, struktur sebenarnya digantikan oleh beberapa bagian atau elemen, masing-masing dianggap berperilaku seperti anggota struktural kontinu yang disebut elemen hingga. Elemen-elemen tersebut dianggap saling terhubung pada titik-titik tertentu yang dikenal sebagai sambungan atau simpul. Karena sangat sulit untuk menemukan

solusi yang tepat (seperti perpindahan) dari struktur asli di bawah beban yang ditentukan, solusi perkiraan yang nyaman diasumsikan dalam setiap elemen hingga. Idennya adalah bahwa jika solusi dari berbagai elemen dipilih dengan baik, mereka dapat diarahkan untuk konvergen ke solusi tepat dari struktur total saat ukuran elemen dikurangi. Selama proses penyelesaian, keseimbangan gaya pada sambungan dan kesesuaian perpindahan antara elemen dipenuhi sehingga seluruh struktur (gabungan elemen) diatur untuk berperilaku sebagai satu kesatuan tunggal.

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:

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

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

2.12 Simulasi Numerik dengan *Software Abaqus*

Software Abaqus adalah alat simulasi numerik yang umum digunakan dalam analisis struktural. Beberapa penelitian telah menggunakan abaqus untuk melakukan analisis dinamis pada material dan struktur peredam getaran. Misalnya, Jangid (2017) menggunakan Abaqus untuk menganalisis respon dinamis sandwich foam polimer sebagai peredam getaran pada struktur rangka baja. Hasil simulasi numerik mereka menunjukkan penurunan amplitude getaran yang signifikan.

2.13 Analisis Dinamis

Analisis dinamis adalah analisis terhadap sifat-sifat dari program yang sedang berjalan. Berbeda dengan analisis statis, yang memeriksa teks program untuk menurunkan sifat-sifat yang berlaku untuk semua eksekusi, analisis dinamis menurunkan sifat-sifat yang berlaku untuk satu atau lebih eksekusi dengan memeriksa program yang sedang berjalan, biasanya melalui instrumentasi program. Meskipun analisis dinamis tidak dapat membuktikan bahwa suatu program memenuhi suatu properti tertentu, ia dapat mendeteksi pelanggaran properti serta memberikan informasi yang

berguna kepada para programmer tentang perilaku program mereka, seperti yang akan ditunjukkan dalam makalah ini. Kebermanfaatan analisis dinamis berasal dari dua karakteristik intinya:

Ketepatan informasi analisis dinamis umumnya melibatkan instrumentasi program untuk memeriksa atau merekam aspek tertentu dari keadaan runtime-nya. Instrumentasi ini dapat diatur untuk mengumpulkan dengan tepat informasi yang diperlukan untuk mengatasi masalah tertentu. Sebagai contoh, untuk menganalisis bentuk struktur data yang dibuat oleh sebuah program (daftar, pohon, *dag*, dll), alat instrumentasi dapat diciptakan untuk mencatat hubungan di antara sel penyimpanan yang dialokasikan di *heap*.

Ketergantungan pada masukan program: hal yang membuat analisis dinamis tidak lengkap juga menyediakan mekanisme yang kuat untuk mengaitkan masukan dan keluaran program dengan perilaku program. Dengan analisis dinamis, mudah untuk menghubungkan perubahan dalam masukan program dengan perubahan dalam perilaku program internal dan keluaran program, karena semua dapat diamati secara langsung dan terkait oleh eksekusi program. Dilihat dari sudut pandang ini, analisis dinamis dan statis mungkin lebih baik disebut analisis "berpusat pada masukan" dan "berpusat pada program" masing-masing.