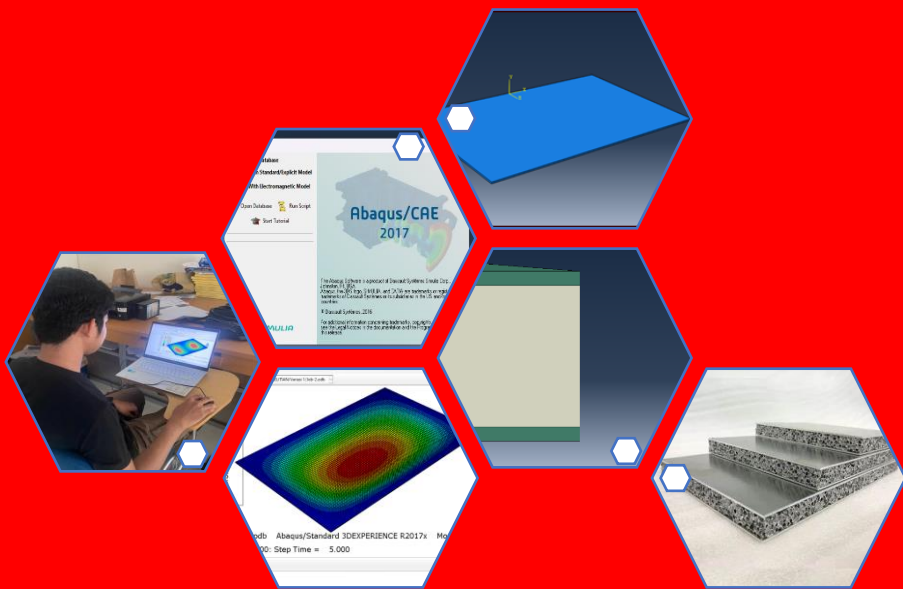


ANALISIS KOMPUTASI GETARAN PADA LANTAI KERETA CEPAT BERBAHAN KOMPOSIT



A. USAMA. AM
D021 20 1045



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024

**ANALISIS KOMPUTASI GETARAN PADA LANTAI KERETA CEPAT
BERBAHAN KOMPOSIT**

**A. USAMA. AM
D021 20 1045**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**ANALISIS KOMPUTASI GETARAN PADA LANTAI KERETA CEPAT
BERBAHAN KOMPOSIT**

A. USAMA. AM
D021 20 1045

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Teknik Mesin

pada

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI

ANALISIS KOMPUTASI GETARAN PADA LANTAI KERETA CEPAT BERBAHAN KOMPOSIT

A. USAMA. AM

D021 20 1045

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian pada 26 November 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

Program Studi Teknik Mesin
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:
Pembimbing,



Fauzan, ST., MT., Ph.D

NIP. 19770103 200801 1 009

Mengetahui:

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT

NIP. 19770707 200511 1 001

**PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN
PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Analisis Komputasi Getaran Pada Lantai Kereta Cepat Berbahan Komposit" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Fauzan, ST., MT., Ph.D). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 26 November 2024



UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *Subhanahu Wata'ala* atas rahmat, berkah serta izin-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian dan menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**Analisis Komputasi Getaran Pada Lantai Kereta Cepat Berbahan Komposit**”. Penyusunan skripsi ini merupakan syarat kelulusan dalam menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu selama proses penelitian dilaksanakan hingga penyusunan skripsi ini selesai. Ucapan terima kasih terkhusus yang sedalam-dalamnya penulis persembahkan kepada Ibunda **Hj. Rohana, S. Pd** dan Ayahanda **A. Mappijanci, S. Pd** serta Kakak dan Adik, yang senantiasa mendoakan, menyayangi, menyemangati dan menasehati penulis sampai bisa berada di tahap ini. Dengan segala keikhlasan dan kerendahan hati penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya terutama kepada:

1. **Fauzan, ST., MT., Ph.D** selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam mengarahkan dan membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak **Prof. Dr. Ir. Zulkifly Djafar, MT** dan Bapak **Prof. Dr. Ir. Onny Sutresman, MT** selaku dosen penguji atas segala saran dan masukan untuk perbaikan serta pengembangan skripsi ini.
3. Seluruh Dosen Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin atas segala ilmu dan bantuan selama penulis menjalani perkuliahan.
4. Seluruh Staf Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin atas segala bantuan yang telah diberikan dalam pengurusan administrasi dan pengurusan lainnya selama penulis menjalani perkuliahan.
5. Perempuan yang berinisial N yang selalu menemani, menyemangati dan mendukung penulis selama pengerjaan skripsi ini.
6. Saudara – saudara seperjuangan ZTATOR 2020 yang setia menemani, membantu, dan mendukung penulis dari awal kuliah dan sekarang dan seterusnya.
7. Teman – teman, kakak senior serta junior seperjuangan Laboratorium *Vibration and Acoustic* yang telah bersedia menemani dan membantu selama masa penelitian dan penyusunan skripsi.
8. Sahabat seperjuangan SOTTA, VIBRATION, CALON S.T yang senantiasa memberikan semangat dalam penyusunan skripsi ini. Terima kasih sudah menemani penulis melewati hari-hari baik maupun buruk selama masa perkuliahan.

9. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang telah memberi dukungan dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna walaupun telah menerima bantuan dari berbagai pihak. Apabila terdapat kesalahan-kesalahan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis dan bukan para pemberi bantuan. Kritik dan saran yang membangun akan lebih menyempurnakan skripsi ini.

Penulis,

A. Usama. AM

ABSTRAK

A. USAMA. AM. **Analisis Komputasi Getaran Pada Lantai Kereta Cepat Berbahan Komposit** (dibimbing oleh Bapak Fauzan)

Latar Belakang. Pemilihan material yang tepat dalam meredam getaran sangat penting untuk menciptakan kenyamanan didalam gerbong kereta cepat. Kombinasi lapisan aluminium 6061-T6 dan aluminium foam dengan ketebalan yang berbeda memiliki potensi sebagai solusi dalam peredam getaran yang efektif. **Tujuan** adalah menganalisis karakteristik pengaruh variasi ketebalan skin (*Aluminium 6061-T6*) dan core (*sandwich aluminium foam*) terhadap respons getaran yang meliputi *displacement*, *velocity*, *acceleration*, dan *stress*. Simulasi dilakukan pada empat konfigurasi: (1) skin 0,5 mm dan core 10 mm, (2) skin 1 mm dan core 10 mm, (3) skin 0,5 mm dan core 15 mm, serta (4) skin 0,5 mm dan core 19 mm. **Metode** dimulai dengan pemodelan geometri lantai menggunakan Autodesk Fusion 360, diikuti dengan simulasi dinamis menggunakan Abaqus. Hasil menunjukkan bahwa variasi ketebalan memengaruhi respons dinamis struktur, di mana konfigurasi dengan core lebih tebal menghasilkan perpindahan dan tegangan yang lebih rendah, **Hasil** menunjukkan kemampuan peredaman getaran yang lebih baik. Validasi dilakukan dengan membandingkan frekuensi natural dari hasil simulasi dengan perhitungan teoritis. Tingkat kesalahan rata-rata berada di bawah 5%, menunjukkan akurasi metode yang digunakan. **Kesimpulan** Penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan desain lantai kereta cepat yang lebih efisien, dengan bahan ringan namun tetap mampu meredam getaran secara efektif. Temuan ini dapat menjadi dasar untuk meningkatkan kenyamanan dan keselamatan pada aplikasi transportasi berkecepatan tinggi.

Kata kunci: Getaran, Lantai Kereta Cepat, Sandwich Aluminium Foam, Aluminium 6061-T6, Metode Elemen Hingga.

ABSTRACT

A. USAMA. AM. **Computational Analysis Of Vibrations On Composite Floor Of High-Speed Train (supervised by Mr. Fauzan)**

Background. The selection of the right material to dampen vibrations is very important to create comfort in high-speed train carriages. The combination of 6061-T6 aluminum layers and aluminum foam with different thicknesses has the potential as a solution in effective vibration damping. The **objective** is to analyze the characteristics of the influence of variations in skin thickness (6061-T6 aluminum) and core (sandwich aluminum foam) on vibration responses including displacement, velocity, acceleration, and stress. Simulations were performed on four configurations: (1) 0.5 mm skin and 10 mm core, (2) 1 mm skin and 10 mm core, (3) 0.5 mm skin and 15 mm core, and (4) 0.5 mm skin and 19 mm core. The **method** begins with floor geometry modeling using Autodesk Fusion 360, followed by dynamic simulation using Abaqus. The results show that thickness variations affect the dynamic response of the structure, where the configuration with a thicker core produces lower displacement and stress. The results show better vibration damping capabilities. Validation is performed by comparing the natural frequencies of the simulation **results** with theoretical calculations. The average error rate is below 5%, indicating the accuracy of the method used. **Conclusion** This study contributes to the development of more efficient high-speed train floor designs, with lightweight materials but still able to dampen vibrations effectively. These findings can be a basis for improving comfort and safety in high-speed transportation applications.

Keywords: Vibration, High-Speed Train Floor, Sandwich Aluminum Foam, Aluminum 6061-T6, Finite Element Method.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
PERNYATAAN PENGAJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK.....	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Landasan Teori.....	3
1.5.1 Kereta Cepat (<i>High Speed Railway</i>)	3
1.5.2 <i>Lantai</i> Kereta Cepat.....	4
1.5.3 Getaran.....	7
1.5.3.1Macam-macam Besaran Getaran	9
1.5.3.2 <i>Displacement</i>	11
1.5.3.3 <i>Velocity</i>	12
1.5.3.4 <i>Acceleration</i>	13
1.5.3.5 <i>Stress</i>	13
1.5.4 Material Komposit.....	14
1.5.5 Material Komposit Dalam Kereta Cepat.....	16
1.5.6 <i>Aluminium Sandiwch Foam</i>	17
1.5.7 Metode Elemen Hingga	21
1.5.8 Perangkat Lunak <i>Abaqus</i>	23
BAB II METODE PENELITIAN	26
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	26
2.2 Alat dan Bahan	26
Alat.....	26
Bahan.....	27
2.3 <i>Flowchart</i> Penelitian	28
2.4 Metodologi Penelitian	28
2.5 <i>Simulator</i>	29
2.6 Karakteristik Material	30
2.7 Spesifikasi <i>Floor</i>	30

2.8 Konfigurasi <i>Floor</i>	32
2.9 Prosedur Pembuatan Model	33
Pemodelan Lantai Kereta Cepat menggunakan Fusion 360	33
2.10 Simulasi Gerbong Menggunakan <i>Software Abaqus</i>	36
2.11 Jadwal Penelitian	42
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	43
3.1 Simulasi Getaran	43
3.2 Persamaan Matematis Secara Teori	43
Perbandingan Teori dan Simulasi untuk Frekuensi Natural	43
Hasil Perhitungan Secara Teoritis	44
Perbandingan Teori dan Simulasi untuk Akustik Intensitas	53
3.3 Hasil	54
3.3.1 Variasi 1 (Aluminium 6061 T6 0.5 mm – Aluminium Foam 10 mm)	54
3.3.2 Variasi 2 (Aluminium 6061 T6 1 mm – Aluminium Foam 10 mm)	59
3.3.3 Variasi 3 (Aluminium 6061 T6 0.5 mm – Aluminium Foam 15 mm)	65
3.3.4 Variasi 4 (Aluminium 6061 T6 0.5 mm – Aluminium Foam 19 mm)	71
3.4 Perbandingan Hasil Acceleration, Displacement, Stress, Velocity. Pada Empat Variasi	77
BAB IV KESIMPULAN	84
4.1 Kesimpulan	84
4.2 Saran	85
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN	90
Lampiran 1. Gambar 3D di Autodesk Fusion 360	90
Lampiran 2. Gambar Konfigurasi 4 Variasi	90
Lampiran 3. Proses Pemberian Beban dan Meshing	91
Lampiran 4. Result dan Pengambilan Data (Gambar Salah Satu Variasi)	91

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Mekanika Properti Aluminium 6061 T6	30
Tabel 2. Mekanika Properti <i>Aluminium Foam</i>	30
Tabel 3. Spesifikasi <i>Floor</i> Kereta Cepat	31
Tabel 4. Konfigurasi desain <i>Floor</i>	32
Tabel 5. Jadwal Penelitian.....	42
Tabel 6. Tabel Perbandingan Simulasi dan Teori untuk Frekuensi <i>Natural</i>	43
Tabel 7. Tabel Perbandingan Simulasi dan Teori untuk Frekuensi <i>Natural</i>	53
Tabel 8. Data Simulasi Pengaruh <i>Displacement</i> Terhadap Waktu	55
Tabel 9. Data Simulasi Pengaruh <i>Velocity</i> Terhadap Waktu	56
Tabel 10. Data Simulasi Pengaruh <i>Acceleration</i> Terhadap Waktu	57
Tabel 11. Data Simulasi Pengaruh <i>Stress</i> Terhadap Waktu	59
Tabel 12. Data Simulasi Pengaruh <i>Displacement</i> Terhadap Waktu	60
Tabel 13. Data Simulasi Pengaruh <i>Velocity</i> Terhadap Waktu	62
Tabel 14. Data Simulasi Pengaruh <i>Acceleration</i> Terhadap Waktu	63
Tabel 15. Data Simulasi Pengaruh <i>Stress</i> Terhadap Waktu	65
Tabel 16. Data Simulasi Pengaruh <i>Displacement</i> Terhadap Waktu	66
Tabel 17. Data Simulasi Pengaruh <i>Velocity</i> Terhadap Waktu	68
Tabel 18. Data Simulasi Pengaruh <i>Acceleration</i> Terhadap Waktu	69
Tabel 19. Data Simulasi Pengaruh <i>Stress</i> Terhadap Waktu	71
Tabel 20. Data Simulasi Pengaruh <i>Displacement</i> Terhadap Waktu	72
Tabel 21. Data Hasil Simulasi Pengaruh <i>Velocity</i> Terhadap Waktu	74
Tabel 22. Data Simulasi Pengaruh <i>Acceleration</i> Terhadap Waktu	75
Tabel 23. Data Simulasi Pengaruh <i>Stress</i> Terhadap Waktu	77
Tabel 24. Data <i>Displacement</i> maksimal Terhadap Waktu	78
Tabel 25. Data <i>Velocity</i> maksimal Terhadap Waktu	80
Tabel 26. Data <i>Acceleration</i> maksimal Terhadap Waktu	81
Tabel 27. Data <i>Stress</i> maksimal Terhadap Waktu	82

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Komponen Sistem Getaran	8
Gambar 2. Diagram Benda Bebas Sistem Pegas	9
Gambar 3. Panjang Gelombang dan Amplitudo	9
Gambar 4. Ilustrasi Matriks Pada Komposit.....	15
Gambar 5. Ilustrasi Reinforcement pada Komposit	16
Gambar 6. Struktur komposit Sandwich	18
Gambar 7. (a) Mesh Metode perbedaan hingga, (b) elemen segitiga (c) elemen segiempat titik adalah titik mesh (nodes).....	22
Gambar 8. Tahapan Proses Analisa Numerik Program Abaqus	23
Gambar 9. Tempat Penelitian.....	26
Gambar 10. Komputer.....	26
Gambar 11. Mouse.....	27
Gambar 12. <i>Software Autodesk Fusion 360</i>	27
Gambar 13. <i>Software Abaqus CAE</i>	27
Gambar 14. Alur Proses Penelitian	28
Gambar 15. Tampilan utama <i>software Abaqus</i>	29
Gambar 16. Ilustrasi Lantai kereta cepat.....	31
Gambar 17. Desain <i>Floor</i> (a) Konfigurasi 1 (b) konfigurasi 2 (c) konfigurasi 3 (d) konfigurasi 4	32
Gambar 18. <i>Color Code</i>	33
Gambar 19. Mode <i>Sketch</i>	34
Gambar 20. Fitur <i>Extrude</i>	34
Gambar 21. Desain <i>Floor</i> Kereta Cepat	35
Gambar 22. Menu <i>Export</i>	35
Gambar 23. Menu <i>Import</i>	36
Gambar 24. <i>Part-part</i> yang sudah di gabungkan.....	37
Gambar 25. <i>Part-part</i> yang sudah di gabungkan.....	37
Gambar 26. <i>Part-part</i> yang sudah di gabungkan.....	38
Gambar 27. <i>Part-part</i> yang sudah di gabungkan.....	39
Gambar 28. <i>Part-part</i> yang sudah di gabungkan.....	40
Gambar 29. Tampilan <i>global seeds</i> pada Abaqus CAE Kemudian klik <i>apply</i>	40
Gambar 30. Tampilan <i>panel job</i> Abaqus CEA.....	41
Gambar 31. Tampilan <i>panel job manager</i> pada Abaqus CAE.....	41
Gambar 32. Hasil Simulasi Mode Variasi 1 (Visualisasi Abaqus).....	48
Gambar 33. Hasil Simulasi Mode Variasi 2 (Visualisasi Abaqus).....	49
Gambar 34. Hasil Simulasi Mode Variasi 3 (Visualisasi Abaqus).....	51
Gambar 35. Hasil Simulasi Mode Variasi 4 (Visualisasi Abaqus).....	53
Gambar 36. Hasil Simulasi (Visualisasi Abaqus).....	54
Gambar 37. Grafik Pengaruh Displacement Terhadap Waktu	55

Gambar 38. Hasil Simulasi (Visualisasi Abaqus).....	55
Gambar 39. Grafik Pengaruh Velocity Terhadap Waktu.....	56
Gambar 40. Hasil Simulasi (Visualisasi Abaqus).....	57
Gambar 41. Grafik Pengaruh Acceleration Terhadap Waktu	58
Gambar 42. Hasil Simulasi (Visualisasi Abaqus).....	58
Gambar 43. Grafik Pengaruh Stress Terhadap Waktu	59
Gambar 44. Hasil Simulasi (Visualisasi Abaqus).....	60
Gambar 45. Grafik Pengaruh Displacement Terhadap Waktu	61
Gambar 46. Hasil Simulasi (Visualisasi Abaqus).....	61
Gambar 47. Grafik Velocity Terhadap Waktu	62
Gambar 48. Hasil Simulasi (Visualisasi Abaqus).....	62
Gambar 49. Grafik Pengaruh Acceleration Terhadap Waktu	64
Gambar 50. Hasil Simulasi (Visualisasi Abaqus).....	64
Gambar 51. Grafik Pengaruh Stress Terhadap Waktu	65
Gambar 52. Hasil Simulasi (Visualisasi Abaqus).....	66
Gambar 53. Grafik Displacement Terhadap Waktu	67
Gambar 54. Hasil Simulasi (Visualisasi Abaqus).....	67
Gambar 55. Grafik Velocity Terhadap Waktu	68
Gambar 56. Hasil Simulasi (Visualisasi Abaqus).....	69
Gambar 57. Grafik Acceleration Terhadap Waktu	70
Gambar 58. Hasil Simulasi (Visualisasi Abaqus).....	70
Gambar 59. Grafik Stress Terhadap Waktu	71
Gambar 60. Hasil Simulasi (Visualisasi Abaqus).....	72
Gambar 61. Grafik Displacement Terhadap Waktu	73
Gambar 62. Hasil Simulasi (Visualisasi Abaqus).....	73
Gambar 63. Grafik Velocity Terhadap Waktu	74
Gambar 64. Hasil Simulasi (Visualisasi Abaqus).....	75
Gambar 65. Grafik Acceleration Terhadap Waktu	76
Gambar 66. Hasil Simulasi (Visualisasi Abaqus).....	76
Gambar 67. Grafik Stress Terhadap Waktu	77
Gambar 68. Grafik Perbandingan Displacement empat Variasi	79
Gambar 69. Grafik Perbandingan Velocity empat Variasi	80
Gambar 70. Grafik Perbandingan Acceleration empat Variasi	81
Gambar 71. Grafik Perbandingan Stress empat Variasi.....	83

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Gambar 3D Fusion Autodesk 360	90
LAMPIRAN 2. Gambar Konfigurasi 4 Variasi	90
LAMPIRAN 3. Proses Pemberian Beban dan Meshing	91
LAMPIRAN 4. Result dan Pengambilan Data (Gambar Salah Satu Variasi).....	91

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi manufaktur material saat ini terus mengalami peningkatan seiring dengan kebutuhan akan material-material baru yang lebih ringan dan kuat untuk digunakan. Banyak industri yang terus berinovasi untuk menggunakan material yang lebih ringan dengan volume yang lebih efisien dan salah satunya adalah teknologi kereta cepat. Tren yang ada di dunia saat ini adalah mencoba menggantikan bahan-bahan struktur kereta cepat yang terbuat dari metal dengan material baru yang lebih ringan yakni komposit. Data ini sangat diperlukan nantinya untuk digunakan sebagai *variable - variable* yang perlu dimasukkan dalam melakukan design dan simulasi struktur gerbong kereta cepat. Karakteristik mekanis komposit perlu diketahui untuk mengetahui ketahanan material tersebut dari beban yang didapatkan saat strukturnya beroperasi. Kemampuan struktur untuk dapat bertahan terhadap getaran juga sangat penting terutama untuk bagian-bagian yang diharapkan bisa meredam getaran (Astra et al., 2021).

Di dalam era globalisasi saat ini, terlihat jelas bahwa kebutuhan transportasi semakin hari semakin bertambah sejalan dengan melajunya tingkat pertumbuhan penduduk, mobilitas penduduk, pembangunan negara serta kemakmuran rakyat. Salah satu jenis transportasi yang banyak digunakan di Indonesia adalah transportasi darat yang meliputi kereta rel, kendaraan bermotor, dan lain sebagainya. Pada saat ini kondisi lintasan kereta cepat di Indonesia sebagian besar masih menggunakan jalur tunggal (*single-track*). Kereta cepat dirancang untuk mengurangi getaran sebanyak mungkin agar perjalanan menjadi lebih nyaman bagi penumpang. Meskipun demikian, getaran kecil mungkin masih terasa terutama selama percepatan atau pengereman. Namun, dalam kondisi normal, getaran yang terasa di dalam kereta cepat biasanya lebih rendah daripada didalam kereta konvensional. Oleh karena itu, penulis mencoba menganalisa gerbong kereta cepat yang ada pada saat ini untuk meningkatkan faktor kenyamanan (Yudistirani et al., 2021).

Berdasarkan penjelasan diatas maka pengaruh material pada gerbong kereta api diharapkan mampu meningkatkan kenyamanan dan mengurangi getaran yang terjadi pada saat kereta cepat berjalan dengan menggunakan hasil simulasi dari aplikasi Abaqus. Maka dari itu, penulis akan melakukan penelitian dengan judul **“ANALISIS KOMPUTASI GETARAN PADA LANTAI KERETA CEPAT BERBAHAN KOMPOSIT”**.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh getaran pada lantai kereta cepat berbahan Aluminium 6061-T6 dan *Sandwich Aluminium Foam*.
2. Bagaimana pengaruh variasi ketebalan *Sandwich Aluminium Foam (core)* terhadap getaran yang terjadi di lantai kereta cepat.
3. Bagaimana pengaruh variasi ketebalan Aluminium 6061-T6 (*skin*) terhadap getaran yang terjadi di lantai kereta cepat.

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Untuk Menganalisis karakteristik getaran yang terjadi pada lantai kereta cepat berbahan Aluminium 6061-T6 dan *Sandwich Aluminium Foam*.
2. Untuk Menganalisis pengaruh variasi ketebalan *core Sandwich Aluminium Foam* terhadap getaran yang terjadi pada lantai kereta cepat.
3. Untuk Menganalisis pengaruh variasi ketebalan *skin* Aluminium 6061-T6 terhadap getaran yang terjadi pada lantai kereta cepat.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah batasan pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini terfokus pada analisis getaran di dalam lantai kereta cepat.
2. Software yang dianalisis untuk pemodelan elemen hingga yang digunakan adalah Abaqus.
3. Penelitian ini tidak mencakup analisis getaran pada bagian eksternal lantai kereta cepat.

1.5 Landasan Teori

1.5.1 Kereta Cepat (*High Speed Railway*)

Transportasi merupakan salah satu sarana yang dapat digunakan untuk memindahkan orang atau barang dari tempat asal ke tempat tujuan. Saat ini, Indonesia sudah memiliki beragam jenis transportasi diantaranya transportasi darat, laut, udara, dan transportasi berbasis rel. Transportasi berbasis rel mempunyai daya tarik yang cukup tinggi oleh masyarakat, karena transportasi berbasis rel mempunyai kelebihan yaitu mempunyai kapasitas penumpang yang tinggi dan tidak akan mengalami kemacetan karena mempunyai jalur khusus. Sehingga kereta menjadi moda transportasi yang sangat cocok sebagai transportasi massal perkotaan pada koridor yang padat (Rahmatunnisa et al., 2021)

Indonesia saat ini mulai membangun kereta cepat dalam rangka mengurangi masalah transportasi. Kebutuhan akan moda transportasi baru sangat memungkinkan untuk membangun kereta cepat. Dibandingkan dengan kereta konvensional kereta cepat memiliki inovasi teknologi yang dapat memperpendek waktu perjalanan terutama untuk perjalanan jarak menengah. Terdapat beberapa perbedaan antara kereta cepat yang ada di Indonesia dan yang ada di luar negeri salah satunya adalah inisiasi dari kereta cepat dalam suatu negara. Di Eropa hampir semua kereta cepatnya diinisiasi oleh pemerintah sehingga keuntungan yang didapat dari adanya kereta cepat adalah dari manfaat sosial misalnya penghematan waktu perjalanan. Di Indonesia kereta cepat diinisiasi oleh swasta sehingga keuntungan didapat dari tiket kereta. Keunikan ini dapat menjadi salah satu topik penting yang dapat di bahas dalam pembangunan kereta cepat Indonesia. Kajian kereta cepat di Indonesia akan membandingkan pengalaman negara lain dari segi ekonomi dan juga deskripsi teknis yang menjadi parameter dalam menentukan biaya pembangunan kereta cepat (LESTARI, 2018).

Secara umum, di perusahaan manapun baik produk maupun jasa, selalu mengupayakan untuk pencapaian kepuasan konsumen. Sama halnya pada PT. KAI, dimana pencapaian kepuasan penumpang dalam gerbong kereta api merupakan hal prioritas utama yang menjadi pertimbangan perusahaan.

Salah satu faktor yang mempengaruhi kepuasan penumpang kereta api adalah kelengkapan dan kondisi pembaharuan dari fasilitas yang tersedia di setiap gerbong karena pada beberapa gerbong kereta api kelas ekonomi, fasilitas-fasilitas didalam gerbongnya bukan dalam kondisi yang baru, melainkan barang bekas (second hand) dari gerbong kereta api yang digunakan di Luar Negeri (Liansari et al., 2018).

Kereta cepat adalah transportasi massal dengan menggunakan rel yang mempunyai kecepatan di atas 200 km/jam (Pasal 4 Huruf b UU No.23, 2007). Transportasi sendiri merupakan bidang kegiatan yang sangat penting dalam kehidupan masyarakat Indonesia. Pentingnya transportasi bagi masyarakat Indonesia disebabkan oleh beberapa faktor antara lain, keadaan geografis Indonesia yang terdiri dari ribuan pulau kecil dan besar, perairan yang terdiri dari sebagian laut, sungai, dan danau yang memungkinkan pengangkutan dilakukan melalui darat, perairan, dan udara guna untuk menjangkau seluruh wilayah Indonesia. Hal lain yang tidak kalah pentingnya adalah peran transportasi dalam perekonomian dan pembangunan. Fungsi dari transportasi diibaratkan sebagai urat nadi perekonomian sebagai fasilitas penunjang pembangunan.

Menurut UIC (*International Union of Railways*), kereta cepat adalah kereta dengan kecepatan minimal 250 km/jam. Menurut Komisi Eropa (2010), kereta cepat adalah kereta yang mampu mencapai kecepatan diatas 200 km/jam dengan jalur konvensional dan diatas 250 km/jam pada jalur baru yang dirancang khusus untuk kecepatan tinggi. Biasanya kereta kecepatan tinggi berjalan dengan kecepatan antara 250 km/jam (150 mil/jam) sampai 300 km/jam (180 mil/jam), meskipun rekor kecepatan dunia untuk kereta beroda dipecahkan pada tahun 2007 oleh kereta Perancis TGV yang mencapai kecepatan 574,8 km/jam (357,16 mpj), sedangkan kereta MagLev eksperimen Jepang telah mencapai kecepatan 581 km/jam (Giantara, 2018).

1.5.2 Lantai Kereta Cepat

Peningkatan kecepatan operasional kereta multi unit listrik berkecepatan tinggi dan desainnya yang ringan mengakibatkan eksitasi yang kuat pada sistem kendaraan dan getaran yang lebih signifikan. Lantai interior, komponen penting, biasanya dipasang dengan kuat dari struktur bodi mobil

utama. Rantai tersebut menutupi area yang luas di dalam kendaraan dengan modulus elastisitas yang lebih rendah daripada bodi mobil. Akibatnya, jika struktur rantai tidak dirancang dengan benar, maka akan menghasilkan tingkat getaran yang besar dan berdampak buruk pada perasaan penumpang. Menurut standar yang relevan di Eropa dan Tiongkok, respons di rantai biasanya diambil sebagai masukan untuk evaluasi kenyamanan berkendara. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengendalikan getaran rantai internal guna meningkatkan perasaan penumpang. Sayangnya, setelah rantai dipasang, sangat sulit untuk memperbaiki masalah yang muncul.

Sebagian besar penelitian sebelumnya difokuskan pada analisis dan pengurangan getaran bodi kendaraan secara keseluruhan, termasuk getaran yang terjadi karena mode deformasi kelonggaran, mode tekukan vertikal orde pertama, dan mode torsional. Untuk menyelidiki pengaruh desain ringan pada dinamika kendaraan membangun model getaran vertikal kendaraan penumpang kereta api, termasuk mode pertama bodi kendaraan yang diverifikasi dengan eksperimen aktual dan semua mode kaku vertikal. Hasilnya menunjukkan bahwa ketika kekakuan bodi kendaraan dikurangi hingga jumlah tertentu, dapat terjadi pengurangan signifikan pada frekuensi alami bodi kendaraan. mengusulkan metode kontrol proporsional-integral (PI) untuk menekan getaran lentur vertikal bodi kendaraan kereta api, yang divalidasi dalam model simulasi dinamika kendaraan 1D dan ditetapkan sebagai balok Euler–Bernoulli seragam sederhana yang ditopang pada suspensi sekunder, di mana hanya mode getaran vertikal bodi kendaraan, yaitu mode pantulan, kemiringan, dan tekukan fleksibel, yang dipertimbangkan. menyelidiki getaran bodi mobil dalam simulasi dinamis sistem multibodi dan membuat model multibodi nonlinier dengan model elemen hingga bodi mobil. membangun model dinamis kopling kaku-fleksibel dari bodi mobil, yang mengadopsi metode kondensasi Craig–Bampton dalam perangkat lunak FEM dan diverifikasi dengan eksperimen modal aktual. Beberapa penelitian juga merujuk pada getaran lokal bodi mobil. menyajikan metode analitis untuk menyelidiki getaran bodi mobil yang dimodelkan

sebagai struktur tipe kotak yang terdiri dari pelat dan balok dan memverifikasi model ini dengan model eksperimental. menyederhanakan lantai sebagai pelat persegi panjang yang diperkuat oleh balok dalam dua arah ortogonal, sementara gerakan vertikal dan rotasi sambungan pelat-kolom dipandang sebagai derajat kebebasan yang tidak diketahui. Namun, dalam penelitian yang dibahas di atas, trim interior diabaikan dalam model mobil atau hanya dianggap sebagai bagian dari keseluruhan bodi. Oleh karena itu, model dalam penelitian yang ada tidak dapat mempelajari masalah getaran lokal pada trim interior kereta api berkecepatan tinggi seperti lantai, kursi, dan bagasi, yang sering terjadi. Selain itu, masih sedikit penelitian yang telah dilaporkan tentang pengendalian getaran lantai KRL. Metode pengendalian getaran yang diterapkan pada lantai kereta sebagian besar bersifat empiris, seperti memodifikasi lokasi dan luas struktur pendukung antara lantai bagian dalam dan lantai, atau menggunakan material peredam tinggi. Melakukan optimasi tujuan ganda untuk meminimalkan massa dan biaya panel sandwich komposit untuk struktur lantai interior gerbong metro. Merancang uji kekakuan untuk mempelajari pengaruh anggota non-struktural di bodi gerbong terhadap kekakuan dan getarannya. Namun, setelah kendaraan dioperasikan, modifikasi struktur kendaraan akan menyebabkan biaya tambahan yang besar, dan keselamatan kendaraan tidak dapat dijamin setelah modifikasi tersebut. Peredam getaran dinamis menyediakan solusi lain untuk mengurangi getaran struktur. Ini terdiri dari sistem massa-pegas yang diredam yang disetel agar sesuai dengan frekuensi alami struktur induk. Mengusulkan 'teori titik tetap' dan memberikan hubungan desain sederhana untuk mengidentifikasi parameter optimal. Metode ini telah diadopsi secara luas dalam pengendalian getaran struktural. mengonfigurasi beberapa (disebut peredam massa yang disetel) untuk mengendalikan getaran lantai. DVA yang dipasang mengurangi getaran lantai setidaknya 40%. Baru-baru ini, penerapan DVA telah dipertimbangkan untuk berbagai aplikasi di bidang getaran kereta api. Menunjukkan aplikasi DVA yang mengendalikan (You et al., 2022)

1.5.3 Getaran

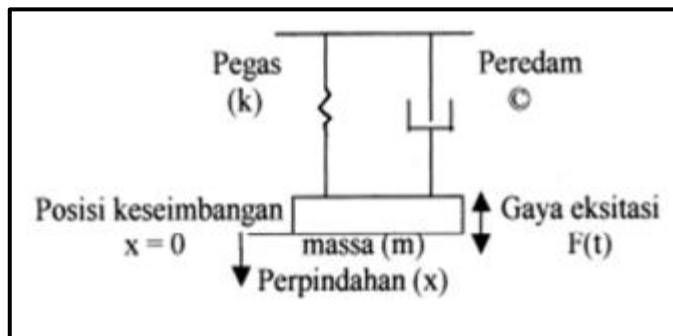
Getaran mekanik dapat didefinisikan sebagai gerak osilasi dari sistem mekanik di sekitar titik/posisi seimbang. Getaran terjadi karena adanya gaya *eksitasi*. Hampir semua mesin yang bergerak akan bergetar meskipun mungkin intensitasnya sangat kecil. Karena secara praktis tidak mungkin menghilangkan eksitasi getaran sama sekali. Eksitasi dapat terjadi karena adanya ketidakseimbangan pada mesin itu sendiri atau dari sumber di luar mesin. Pada banyak hal biasanya terjadinya getaran sangat tidak diinginkan karena getaran dapat mengganggu kenyamanan, menimbulkan ketidakpresisian atau menurunkan kualitas kerja mesin-mesin perkakas. Bahkan getaran juga dapat merusak konstruksi mesin. Untuk itu banyak upaya dilakukan untuk meredam getaran.

Sebelum melakukan upaya untuk melakukan redaman pada getaran, terlebih dahulu perlu dilakukan identifikasi masalah dan analisis tentang jenis dan besaran getaran yang muncul. Sebagai contoh, getaran yang umumnya terjadi pada bagian mesin (hal yang sudah wajar) pada interval tertentu tidak memerlukan redaman, hal ini dianggap tidak memberikan dampak negatif terhadap kondisi mesin secara lebih lanjut. Salah satu bentuk identifikasi awal yang dilakukan untuk menyelesaikan beberapa permasalahan yang terkait dengan getaran pada mesin, diantaranya adalah menentukan model matematika pada fenomena tersebut. Model matematika yang dibuat secara lebih lanjut dapat dikembangkan dan disimulasikan untuk kemudian dilakukan analisis hingga menentukan alternative solusi yang dapat ditentukan. Adapun hal yang menjadi ukuran untuk menentukan model matematika sistem getaran pada mesin torak merupakan model yang sudah valid atau belum, pada prosesnya akan dilakukan pengecekan numerik terhadap hasil yang diperoleh antara respon hasil model dan respon aktual fenomena tersebut.

Getaran dapat dipandang sebagai gerakan yang teratur dari benda atau media dengan arah bolak-balik dari kedudukan keseimbangan. Getaran biasa terjadi saat mesin atau alat dijalankan dengan motor, hal ini mempunyai pengaruh yang bersifat mekanis. Getaran merupakan gerak osilasi disekitar sebuah titik yang disebabkan oleh getaran udara atau

mekanis, misalnya mesin atau alat-alat mekanis lainnya. Oleh sebab itu getaran banyak dipergunakan untuk menganalisis mesin-mesin baik dari gerak rotasi atau translasi. Vibrasi atau getaran mempunyai 3 parameter yang dapat dijadikan sbg tolak ukur yaitu amplitude, frekuensi dan phase (Tafinao, 2018).

Konsepsi awal kajian teoritis matematis getaran beranjak dari Hukum Newton II yang menyatakan bahwa gaya yang bekerja pada benda merupakan hasil kali massa benda tersebut dengan percepatan gerak bendanya atau yang lebih sering kita kenal dengan formulasi. Pada kasus benda kerja yang mengalami getaran, suatu sistem getaran memiliki komponen dalam sistem tersebut yang secara fisik adalah massa, pegas, peredam, dan gaya eksitasi. Secara sederhana, kondisi tersebut sering kali diperlihatkan seperti pada gambar 2.1 berikut:

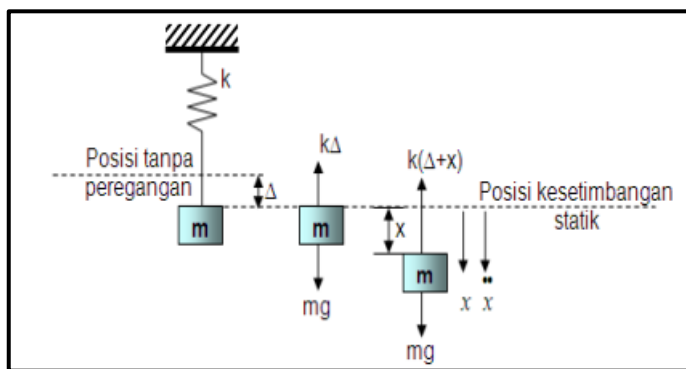


Gambar 1. Komponen Sistem Getaran
(Sumber: Tafinao 2018)

Semua benda yang mempunyai massa dan elastisitas mampu bergetar. Pada umumnya mesin dan struktur rekayasa (engineering) mengalami getaran sampai derajat tertentu, dan rancangannya selalu memerlukan pertimbangan sifat osilasinya. Ada dua kelompok getaran yang umum, yaitu getaran bebas dan paksa. Getaran bebas terjadi bila sistem berosilasi akibat gaya yang ada dalam sistem itu sendiri dan tidak ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan mengalami getaran pada satu atau lebih frekuensi naturalnya, yang merupakan sifat sistem dinamika yang dibentuk oleh distribusi massa dan kekakuannya. Sedangkan getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar disebut getaran paksa. Jika rangsangan

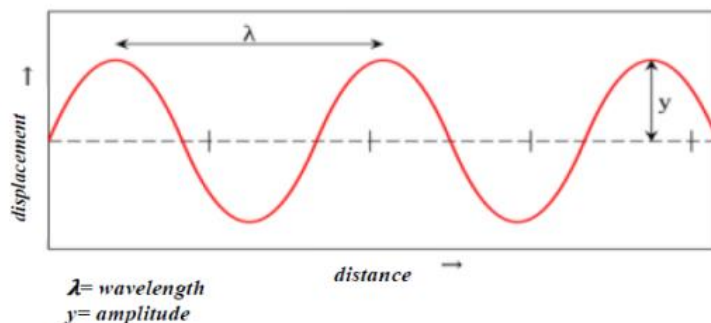
tersebut beresilasi, maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka diperoleh keadaan resonansi dan memungkinkan terjadinya osilasi besar yang berbahaya.

Peningkatan frekuensi pribadi suatu sistem menyebabkan terjadinya getaran yang sangat besar. Getaran tersebut mengakibatkan terjadinya kerusakan pada suatu bagian tertentu dari sistem tersebut. Oleh karena itu, kita berusaha untuk mengurangi efek merugikan dari getaran dengan jalan mengisolasi, mengabsorpsi, meredam dan lain sebagainya. (Mustafa, 2011).



Gambar 2. Diagram Benda Bebas Sistem Pegas
(Sumber: Mustafa 2011)

1.5.3.1 Macam-macam Besaran Getaran



Gambar 3. Panjang Gelombang dan Amplitudo
(Sumber: Afrihansyah 2020)

a. Priode Getaran (T)

Periode getaran adalah waktu yang diperlukan suatu benda untuk bergetar dalam satu kali getaran. Periode

getaran dihitung dalam satuan detik atau *second*. Periode getaran dirumuskan sebagai berikut:

$$T = \frac{t}{n} \text{ atau } T = \frac{1}{f}$$

Dengan:

T = priode getaran (s)

f = frekuensi getaran (Hz)

T = waktu yang diperlukan melakukan getaran (s)

n = jumlah getaran (n).

b. Frekuensi Getaran

Frekuensi getaran adalah banyaknya getaran dalam tiap satu detik. Frekuensi memiliki satuan Hertz (Hz).

Frekuensi dapat dihitung dengan persamaan:

$$f = \frac{n}{t} \text{ atau } f = \frac{1}{T}$$

dengan:

f = periode getaran (Hz);

t = waktu yang diperlukan melakukan getaran (s);

n = jumlah getaran (n);

c. Kecepatan Gelombang Getaran

Kecepatan gelombang getaran adalah perbandingan antara jarak tempuh gelombang dan waktu yang dibutuhkan gelombang. Kecepatan gelombang dapat di hitung dengan persamaan:

$$v = \frac{s}{t} \text{ atau } v = \frac{\lambda}{T}$$

dengan:

v = kecepatan getaran (m/s);

s = jarak yang ditempuh gelombang (m);

t = waktu yang ditempuh gelombang (s);

λ = panjang gelombang (m);

T = periode (s);

d. Percepatan Getaran

Percepatan adalah parameter yang menyatakan perubahan kecepatan mulai dari keadaan diam sampai kecepatan tertentu. Percepatan gelombang dapat di hitung dengan persamaan:

$$a = -\omega^2 A \sin(\omega t - kx)$$

e. Amplitudo (A)

Amplitude adalah besarnya simpangan maksimum/jarak terbesar benda dari titik keseimbangan. Amplitudo selalu berharga positif. Satuan SI amplitudo adalah meter (m). amplitudo gelombang dapat di hitung dengan persamaan:

$$a = -A \sin (\omega t - kx)$$

dengan

ω = kecepatan radian = $2\pi f$ atau $2\pi/T$;

T = waktu yang ditempuh gelombang (s);

A = amplitudo (m);

a = percepatan gelombang (m/s^2);

k = bilangan gelombang

x = jarak titik (m) (Afrihansyah, 2020)

1.5.3.2 Displacement

Displacement atau perpindahan adalah parameter kunci dalam mengukur getaran dalam simulasi Abaqus, karena ia menunjukkan sejauh mana suatu struktur bergerak dari posisi awalnya akibat gaya dinamis yang diterapkan. Perpindahan memberikan gambaran yang jelas tentang respons struktural selama getaran, sehingga kita bisa memahami seberapa besar dampak getaran terhadap integritas struktur tersebut. Selain itu, displacement juga berhubungan langsung dengan parameter lain seperti kecepatan dan percepatan, sehingga memudahkan analisis dinamis yang lebih mendalam. Dalam konteks aplikasi seperti kereta cepat, nilai perpindahan lantai sangat penting

karena berkaitan dengan kenyamanan penumpang; perpindahan yang terlalu besar dapat menyebabkan getaran yang tidak nyaman saat kereta melaju dengan kecepatan tinggi. Dengan memahami displacement, kita juga bisa menentukan apakah struktur masih berada dalam batas elastisitas atau sudah mendekati kondisi kegagalan, yang penting untuk memastikan keselamatan dan keandalan. Displacement seringkali lebih mudah diukur dalam eksperimen fisik, sehingga hasil simulasi bisa lebih cepat dibandingkan dengan hasil pengukuran lapangan, menjadikannya parameter yang sangat berguna dalam analisis getaran (Rahmadiano & A.P, 2020).

1.5.3.3 Velocity

Velocity atau kecepatan sangat penting dalam mengukur getaran pada simulasi Abaqus karena memberikan gambaran langsung tentang seberapa cepat suatu struktur bergerak selama getaran berlangsung. Kecepatan berkaitan dengan energi dinamis, yang berarti semakin tinggi kecepatan getaran, semakin besar energi yang ada dalam sistem. Ini penting terutama saat struktur mendekati frekuensi alami atau resonansi, di mana kecepatan bisa mencapai nilai puncak yang signifikan. Selain itu, kecepatan juga menjembatani antara displacement (perpindahan) dan acceleration (percepatan), sehingga memberikan gambaran yang seimbang dan komprehensif tentang respons dinamis dari struktur. Dalam konteks aplikasi seperti kereta cepat, kecepatan getaran berkaitan erat dengan kenyamanan penumpang. Jika kecepatan getaran terlalu tinggi, penumpang bisa merasa tidak nyaman atau bahkan terpapar risiko kerusakan pada peralatan. Oleh karena itu, velocity menjadi parameter yang sangat penting untuk memastikan kinerja struktural yang baik serta kenyamanan dalam aplikasi getaran dinamis. Selain itu, pengukuran kecepatan biasanya lebih mudah divalidasi dengan

data eksperimen, karena banyak alat sensor yang dirancang untuk mengukur kecepatan getaran secara langsung (Endriatno, 2021).

1.5.3.4 Acceleration

Acceleration atau percepatan sangat penting dalam mengukur getaran dalam simulasi Abaqus karena memberikan informasi langsung tentang gaya yang bekerja pada struktur. Percepatan menunjukkan seberapa cepat suatu titik bergetar dan sangat relevan dalam mendeteksi frekuensi alami serta mode resonansi, terutama saat frekuensi getaran meningkat. Selain itu, pengukuran percepatan dengan sensor seperti accelerometers mudah dilakukan dan dapat digunakan untuk memvalidasi hasil simulasi secara akurat. Dengan memahami percepatan, insinyur dapat mengidentifikasi potensi kerusakan dan merancang struktur yang lebih aman serta tahan terhadap dampak getaran (Kusumo et al., 2016).

1.5.3.5 Stress

Stress adalah parameter penting dalam mengukur getaran dalam simulasi Abaqus karena menunjukkan distribusi gaya internal dalam suatu struktur yang bergetar. Dengan menganalisis stres, kita dapat menentukan apakah struktur mampu menahan beban dinamis akibat getaran dan mengidentifikasi area yang berisiko mengalami kerusakan. Selain itu, stres memberikan informasi tentang deformasi material di bawah kondisi dinamis, terutama saat mendekati titik resonansi. Stres juga dapat divalidasi dengan pengukuran eksperimental, sehingga analisis stres menjadi alat yang efektif untuk memastikan keselamatan dan keandalan struktur dalam menghadapi beban dinamis (Sutikno, 2011).

1.5.4 Material Komposit

Dalam bidang teknologi material, bahan-bahan serat alam merupakan kandidat sebagai bahan penguat untuk dapat menghasilkan bahan komposit yang ringan, kuat, ramah lingkungan serta ekonomis. Salah satunya adalah bahan- bahan serat alam. Jenis-jenis serat alam seperti misalnya; Sisal, Flex, Hemp, Jute, Rami, Kelapa, mulai digunakan sebagai bahan penguat untuk komposit polimer.

Komposit didefinisikan sebagai kombinasi antara dua material atau lebih yang berbeda bentuknya, komposisi kimianya, dan tidak saling melarutkan antara materialnya dimana material yang satu berfungsi sebagai penguat dan material yang lainnya berfungsi sebagai pengikat untuk menjaga kesatuan unsur- unsurnya. Secara umum terdapat dua kategori material penyusun komposit yaitu matrik dan reinforcement. Matriks dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu termoplastik dan termoset. Beberapa jenis matrik polimer termoset yang sering digunakan ialah polyester, epoxy, phenolics, dan polyamids, sedangkan yang termasuk jenis matrik polimer termoplast adalah polyethylene, polypropylene, nilon, polycarbonate, dan polyether-ether keton. Dalam penelitian ini matriks yang digunakan adalah resin poliester (Maryanti et al., 2011).

Komposit matrik logam (*metal matrix composite*) adalah material hasil rekayasa yang menggabungkan dua atau lebih unsur material dimana salah satu unsurnya adalah material logam. Unsur ini terdiri dari matrik dari jenis logam dan penguat (*reinforcement*). Komposit merupakan salah satu bahan alternatif yang banyak digunakan untuk menggantikan bahan konvensional dengan mempertimbangkan sifat material. Salah satu logam yang dapat dipakai sebagai matrik adalah aluminium (Al) (Aji & Supriyanto, 2021).

Beberapa definisi komposit sebagai berikut :

- Tingkat dasar: pada molekul tunggal dan kisi kristal, bila material yang disusun dari dua atom atau lebih disebut komposit (contoh senyawa, paduan, polymer dan keramik

- Mikrostruktur: pada kristal, phase dan senyawa, bila material disusun dari dua phase atau senyawa atau lebih disebut komposit (contoh paduan Fe dan C)
- Makrostruktur: material yang disusun dari campuran dua atau lebih penyusun makro yang berbeda dalam bentuk dan/atau komposisi dan tidak larut satu dengan yang lain disebut material komposit (definisi secara makro ini yang biasa dipakai)

Tujuan Pembuatan Material Komposit

Berikut ini adalah tujuan dari dibentuknya komposit, yaitu sebagai berikut:

- Memperbaiki sifat mekanik dan/atau sifat spesifik tertentu
- Mempermudah design yang sulit pada manufaktur
- Keleluasaan dalam bentuk/design yang dapat menghemat biaya
- Menjadikan bahan lebih ringan

Penyusun Komposit

Komposit pada umumnya terdiri dari 2 fasa:

1. Matriks

Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan).

Matriks mempunyai fungsi sebagai berikut:

- Mentransfer tegangan ke serat.
- Membentuk ikatan koheren, permukaan matrik/serat.
- Melindungi serat.
- Memisahkan serat
- Melepas ikatan.
- Tetap stabil setelah proses manufaktur.



Gambar 4. Ilustrasi Matriks Pada Komposit
(Sumber: Nayiroh. 2013)

2. Reinforcement atau Filler atau Fiber

Salah satu bagian utama dari komposit adalah reinforcement (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit



Gambar 5. Ilustrasi Reinforcement pada Komposit
(Sumber: Nayiroh. 2013)

1.5.5 Material Komposit Dalam Kereta Cepat

Menurut (Bayu Saputra & Rusli Ahyar, 2023) di kutip dari (Karmila, Agoes, Tavo, 2013). FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) adalah serat karbon yang didefinisikan sebagai serat yang mengandung setidaknya 90% serat karbon. Serat karbon tidak menunjukkan korosi atau pecah pada suhu kamar. Fungsi perkuatan dengan sistem FRP adalah untuk meningkatkan kekuatan atau memberikan peningkatan kapasitas lentur, geser, axial dan daktilitas. Cara pemasangan FRP adalah dengan melilitkannya mengelilingi permukaan perimeter elemen struktur yang diperkuat dengan menggunakan perekat *epoxy resin*. Sistem kerjanya sama dengan tulangan *transversal* konvensional.

a. *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP)

CFRP merupakan salah satu jenis dari FRP. CFRP digunakan untuk perbaikan dan memperkuat elemen struktur pada konstruksi. Teknik perkuatan menggunakan CFRP dapat dibuat efisien, tidak

menyebabkan karat seperti plat baja. Fungsi perkuatan dengan sistem komposit CFRP adalah untuk meningkatkan kekuatan atau memberikan peningkatan kapasitas geser, aksial dan daktilitas, atau berbagai kombinasi lainnya. Daya tahan CFRP yang tinggi lebih ekonomis digunakan pada lingkungan korosif (baja akan mudah berkarat). Penggunaan CFRP akan lebih populer dibandingkan dengan jenis FRP lainnya seperti *glass* dan *aramid* (Bayu Saputra & Rusli Ahyar, 2023).

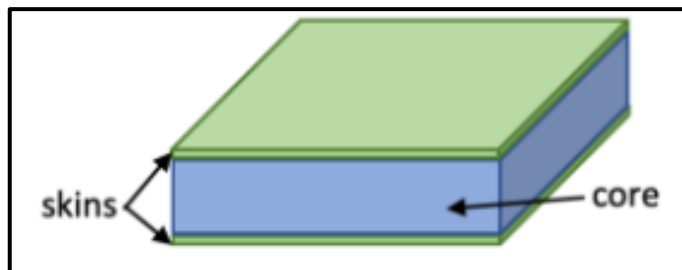
b. *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*

GFRP adalah serat polimer yang terbuat dari matriks plastik diperkuat oleh serat halus dari kaca (S. Nurlina, H. Suseno, M. T. Hidayat, 2016). GFRP merupakan jenis FRP yang relatif lebih murah dibanding jenis FRP lainnya (Sundar, 2019). Selain itu, GFRP memiliki karakteristik bahan yang lebih elastis dan memiliki elongation yang lebih besar sehingga memiliki daktilitas yang lebih besar dari CFRP (I. Putu, P. Rusmana, G. Nyoman, P. Wijaya, 2018).

1.5.6 Aluminium Sandwich Foam

Penggunaan komposit material di berbagai sektor industri, seperti dirgantara (pesawat komersial dan militer), otomotif, dan infrastruktur telah meningkat secara pesat selama beberapa tahun terakhir.

Struktur komposit *sandwich* merujuk pada gabungan antara lapisan luar (*skin*) yang terbuat dari bahan komposit dengan *modulus* elastisitas tinggi dan inti (*core*) komposit yang memiliki kepadatan rendah. Kombinasi ini menghasilkan material yang memiliki kekakuan, kekuatan, dan ringan secara bersamaan. Komposit dengan struktur *sandwich*, yang juga dikenal sebagai komposit *sandwich*, memperoleh sifat-sifat material tersebut (Ratuningtyas 2023).



**Gambar 6. Struktur komposit Sandwich
(Sumber Ratuningtyas 2023)**

Terdapat beberapa faktor dari material penguat yang memengaruhi karakteristik mekanik komposit, seperti tipe *core*, dimensi *core*, bentuk *core*, ukuran serat, bentuk serat, arah serat, konsentrasi serat, dan distribusi serat. (Delavari & Dabiryan, 2021; Prayoga et al., 2018).

Konstruksi *sandwich* yang secara konsisten digunakan melibatkan penggunaan material *core* yang dikelilingi oleh lapisan kulit pada kedua sisinya. Pendekatan konstruksi ini diharapkan dapat memberikan kekakuan yang memadai dengan bobot yang relatif ringan. Struktur komposit *sandwich* terdiri dari elemen berikut:

1. Skin, yang berperan dalam menahan tegangan tarik dan tekan. Untuk bagian ini, material konvensional seperti aluminium, baja, dan *stainless steel* dapat digunakan. Selain itu, material berbentuk plastik yang diperkuat dengan serat gelas atau serat lainnya juga merupakan pilihan yang baik, karena material-material ini memiliki keuntungan seperti kemudahan dalam penggabungan, kemampuan desain yang disesuaikan dengan kebutuhan, dan permukaan yang memiliki kualitas yang baik. Sebagian besar struktur *composite sandwich* yang digunakan dalam konstruksi pesawat memiliki *skin* aluminium, *fiberglass*, *Kevlar*, atau *Carbon Fiber*. Bahan inti (*core*) yang paling umum digunakan untuk struktur sarang lebah pesawat adalah kertas *aramid*.
2. Inti (*core*) merupakan komponen krusial dalam struktur komposit *sandwich*, yang perlu memiliki kekakuan yang memadai untuk menjaga jarak antara permukaannya. Fungsi utama *core* adalah mencegah

geseran atau pergeseran antara permukaan. Oleh karena itu, *core* harus memiliki kekakuan yang cukup untuk menahan geseran dan menjaga stabilitas *sandwich*. Penggunaan bahan dengan kekakuan rendah tidak diinginkan untuk *core* karena hal tersebut dapat mengurangi atau menghilangkan kekakuan keseluruhan *sandwich*. Selain memiliki kekuatan dan densitas rendah, *core* biasanya harus memenuhi persyaratan lain, seperti tingkat kelembaban, resistensi *buckling*, masa pakai yang panjang, dan faktor-faktor lainnya. komposit sebagai bahan material yang terdiri dari matriks dan penguat, di mana matriks adalah material yang membungkus dan mengikat penguat, sedangkan penguat adalah material yang memberikan kekuatan tambahan pada komposit, di mana setiap material tersebut memiliki sifat-sifat yang berbeda, namun digabungkan secara bersama-sama untuk menciptakan sifat-sifat yang lebih baik tanpa mengubah sifat dari masing-masing material tersebut

Aluminium *foam* adalah suatu bahan logam yang sangat berpori yang mempunyai struktur selular dengan volume pori mencapai 70%-95% dari total volume. Material ini dapat diaplikasikan dalam dunia otomotif, pesawat terbang, kapal, konstruksi dan bangunan, alat rumah tangga dan furniture dan alat-alat teknik. Aluminium banyak dipakai karena sifatnya yang ringan, kuat, dan tahan terhadap korosi menjadi sebab banyaknya penggunaan material aluminium.

Cara pembuatan aluminium *foam* dapat dibuat dengan dua cara yaitu *melt route process* dan *solid route process* dan *powder metallurgy*. Pembuatan aluminium *foam* dengan *solid route process* lebih rumit karena mencampurkan serbuk aluminium dengan bahan kimia berupa serbuk yang berfungsi sebagai penghasil gelembung gas atau dikenal sebagai *foaming agent* atau *blowing agent* kemudian campuran dipadatkan atau dikompaksi dan kemudian dilakukan proses sintering hingga titik lebur aluminium dan di atas suhu dekomposisi *foaming agent*. Sedangkan pembuatan aluminium *foam* dengan cara *melt route process* lebih sederhana dengan mencairkan logam aluminium ditambahkan *foaming agent* dan dilakukan pengadukan

agar *foaming agent* dapat tercampur secara merata sehingga terbentuk pori-pori yang merata pula.

Dalam pembuatan aluminium *foam* ada beberapa bahan kimia yang bisa digunakan sebagai *foaming agent* seperti titanium hidrida (TiH_2), zirkonium hidrida (ZrH_2), dan magnesium hidrida (MgH_2) (Banhart, 2000). Selain bahan tersebut, kalsium karbonat (CaCO_3) dan NaCl juga biasa digunakan sebagai *foaming agent* oleh para peneliti (Curran, 2003) menggunakan CaCO_3 sebagai *blowing agent* sebagai pengganti TiH_2 menggunakan metode *melt route*. Fida (2008) juga memanfaatkan CaCO_3 sebagai *blowing agent* untuk pembuatan aluminium *foam* yang memvariasikan temperatur (Nugroho, and Rahman 2012).

Metal foam dapat diproduksi dalam berbagai bentuk mulai dari produk datar sederhana hingga komponen yang bentuknya hampir berubah-ubah. Tergantung pada proses pembuatan yang digunakan, komponen berbusa memperlihatkan kulit luar yang tertutup ketika diperluas di dalam cetakan atau jika busa harus dipotong sesuai ukuran memperlihatkan pori-pori yang terbuka sebagian. Busa pembatas kulit alami komponen meningkatkan kekuatan kompresi secara signifikan, namun mungkin terlalu tipis untuk menyegel busa secara efektif atau memberikan stabilitas mekanis yang cukup. Desain *sandwich* yang tepat berdasarkan lembaran muka yang padat dapat mengoptimalkan sifat kompresi, tegangan, torsi, atau lentur dengan lebih efisien (Banhart & Seeliger, 2008).

Dalam praktiknya, pemilihan material tidak semata-mata berpedoman pada argumen kekakuan. Aspek lain yang juga penting seperti, kemampuan menghasilkan bentuk 3D, biaya, batas elastis, modulus kegagalan, toleransi kerusakan, teknologi penyambungan yang tersedia, perilaku redaman, dan sifat lainnya. Mempertimbangkan semua aspek ini, kita telah menemukan penerapan nyata untuk AFS (*Aluminium Sandwich Foam*). Industri otomotif pertama kali mengambil teknologi ini ketika pembuat mobil Jerman Karmann memperkenalkan mobil konsep berbasis AFS pada tahun 1996 (Banhart & Seeliger, 2008).

mobil konsep berbasis AFS pada tahun 1996 (Banhart & Seeliger, 2008).

1.5.7 Metode Elemen Hingga

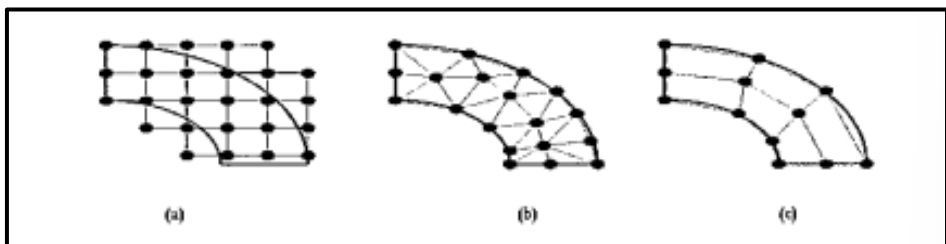
Perkembangan dunia komputer telah begitu cepatnya mempengaruhi bidang-bidang penelitian dan industri, sehingga impian para ahli dalam mengembangkan ilmu pengetahuan dan industri telah menjadi kenyataan. Pada trend sekarang ini, metoda dan analisa desain telah banyak menggunakan perhitungan matematis yang rumit dalam penggunaan sehari-hari (Mulyadi, 2011).

Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk mengatasi masalah nilai batas yang dikarakteristikan dengan persamaan diferensial parsial dan kondisi batas. Domain geometrik dari masalah nilai batas didiskritisasi menggunakan elemen subdomain, yang disebut sebagai elemen hingga, dan persamaan diferensial tersebut diterapkan terhadap elemen tunggal setelah diubah ke dalam bentuk integral-diferensial. Satu set bentuk fungsi digunakan untuk mewakili variabel utama yang tidak diketahui dalam domain elemen. Satu set persamaan linier diperoleh untuk setiap elemen dalam domain diskrit. Sebuah sistem matriks global dibentuk setelah menyusun seluruh elemen. Ada beberapa permasalahan yang dapat diselesaikan oleh metode elemen hingga diantaranya adalah permasalahan phisis. Berikut merupakan tipe permasalahan phisis yang dapat dipecahkan oleh metode elemen hingga diantaranya pemecahan masalah tegangan (*stress*), *buckling* (tekukan) dan analisis getaran.

Metode elemen hingga (*finite element method*) banyak memberikan andil dalam melahirkan penemuan-penemuan bidang riset dan industri, Hal ini dikarenakan dapat berperan sebagai research tool pada eksperimen numerik. Aplikasi banyak dilakukan pada *problem* kompleks diselesaikan dengan metode elemen hingga seperti rekayasa struktur, *steady state* dan *time dependent heat transfer, fluid flow, dan electrical potential problem*, aplikasi bidang medikal.

Prinsip MEH adalah membagi domain permasalahan, baik itu domain ruang (*spatial domain*) atau domain waktu (*time domain*), menjadi sub domain atau elemen yang lebih kecil. Dengan menghitung solusi pada elemen-elemen dan selanjutnya menggabungkan keseluruhan solusi elemental, solusi total dari permasalahan diperoleh. Dalam menghitung solusi per

elemen tentunya solusi elemen harus memenuhi beberapa ketentuan, seperti kontinuitas pada titik-titik nodal dan antarmuka (*interface*) elemen. Disamping Metode Elemen Hingga, metode numerik lain yang umum digunakan adalah Metode Perbedaan Hingga (MPH). Perbedaan utama dari kedua metode ini terletak pada solusi yang diperoleh dan juga bentuk (geometri) dari domain. MPH menghasilkan solusi aproksimasi pada titik-titik nodal (*pointwise solution*). Guna memperoleh solusi yang lebih akurat, jumlah titik nodal diperbanyak. MPH sulit digunakan pada domain dengan bentuk geometri yang kompleks. Hal ini dapat dipahami dari Gambar 10 yang berupa sebuah seperempat profil annulus. Mesh MPH digambarkan pada Gambar 10 a dan mesh MEH pada Gambar 10 b dan 10 c jelas terlihat bahwa dengan menggunakan MPH, titik-titik mesh (*nodes*) tidak dengan tepat berada pada batas annulus. Hal ini akan mengurangi akurasi hasil dari MPH. Secara logika MPH dapat digunakan pada problem dengan domain yang kompleks asalkan kita gunakan ukuran mesh yang kecil sehingga *boundary* domain dapat diikuti titik-titik mesh secara lebih akurat. Hal ini tidak menjadi masalah jika MEH digunakan karena titik-titik mesh MEH dapat diletakkan pada batas domain (Gambar 10 b dan 10 c). Gambar 10 menggambarkan dua jenis elemen MEH, yaitu elemen segitiga (*triangular element*) dan segiempat (*quadrilateral element*).



Gambar 7. (a) Mesh Metode perbedaan hingga, (b) elemen segitiga (c) elemen segiempat titik adalah titik mesh (nodes)

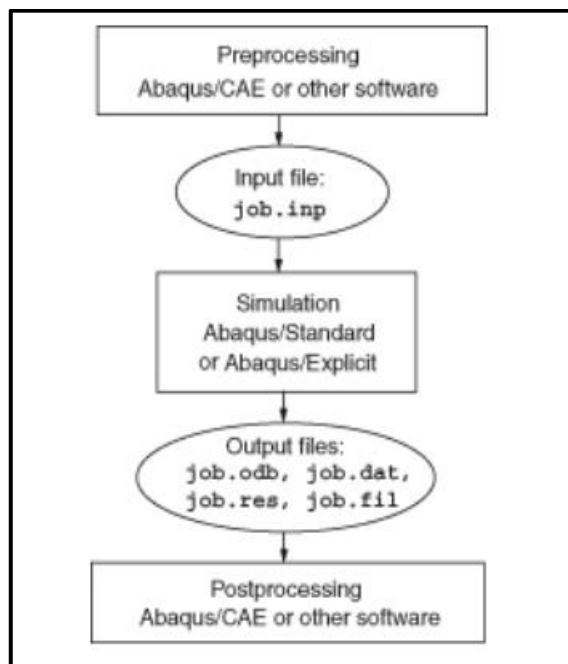
(Sumber: Mulyadi 2011)

Dengan MEH, solusi yang diperoleh adalah fungsi interpolasi setiap elemen. Setelah fungsi interpolasi elemen dihitung, solusi keseluruhan dapat diperoleh. Fungsi-fungsi interpolasi setiap elemen ditentukan oleh nilai pada titik mesh (Mulyadi, 2011).

1.5.8 Perangkat Lunak *Abaqus*

Abaqus 16.3-1 adalah paket program simulasi rekayasa berdasarkan metode elemen hingga yang dapat memecahkan masalah mulai dari analisis linear yang relatif sederhana sampai pada simulasi nonlinier yang rumit. Abaqus menawarkan berbagai kemampuan untuk simulasi aplikasi linear dan nonlinier. Masalah pada sistem dengan beberapa komponen dimodelkan dengan menghubungkan geometri dan mendefinisikan setiap komponen dengan model bahan yang tepat kemudian menentukan interaksi komponen. Untuk analisis nonlinier Abaqus memilih kenaikan beban dan nilai toleransi konvergensi yang sesuai secara otomatis serta kontinyu dan melakukan penyesuaian selama analisis untuk memastikan solusi yang akurat dan efisien.

Analisa lengkap dengan Abaqus biasanya terdiri dari tiga tahap yang berbeda: Soft file seperti yang ditunjukkan di bawah ini :



Gambar 8. Tahapan Proses Analisa Numerik Program Abaqus
(Sumber: Leonardo Johannis 2019)

Preproccesing (Abaqus/CAE); pada tahap ini dilakukan pemodelan masalah secara grafis menggunakan Abaqus/CAE atau dengan program

CAD lain yang mendukung, pada dasarnya untuk pemodelan permasalahan yang sederhana pada Abaqus dapat dilakukan dengan *text* editor yang tersedia. Simulation (Abaqus/*Standard* or Abaqus/*Explicit*); Tahap simulasi dimana Abaqus memroses komputasi numerik dibelakang layar untuk pemecahan permasalahan yang sudah didefinisikan sebelumnya.

Hasil komputasi yang termasuk nilai *stress* dan defleksi tersimpan dalam bentuk file biner yang siap ditampilkan pada tahap *postprocessing*. Lama waktu yang dibutuhkan untuk tahapan ini sangat tergantung pada kompleksitas masalah yang dianalisis serta kemampuan hardware komputer yang digunakan. Postprocessing (Abaqus/CAE); setelah proses komputasi pada tahap simulation telah selesai hasilnya dapat ditampilkan dan dievaluasi. Evaluasi umumnya dilakukan secara interaktif menggunakan modul Visualisasi Abaqus/CAE atau *postprocessor* lain. Modul Visualisasi yang membaca database hasil komputasi numerik memiliki banyak vareasi pilihan untuk menampilkan hasil analisis, termasuk plot kontur warna, animasi, plot deformasi bentuk dan plot pada bidang X-Y (Leonardo Johanis, 2019).

Adapun beberapa fitur dan kemampuan utama dari software ini antara lain:

1. Analisis Elemen Hingga: Abaqus menggunakan metode elemen hingga untuk membagi objek menjadi elemen-elemen kecil yang lebih mudah dihitung. Ini memungkinkan simulasi mekanika yang kompleks dan akurat.
2. Material Nonlinear: Abaqus mendukung perilaku material yang nonlinear, termasuk hiperelastisitas, plastisitas, dan krioplasitas. Ini memungkinkan simulasi dalam kondisi beban yang ekstrim dan material yang kompleks.
3. Analisis Struktur: Abaqus dapat melakukan analisis tegangan dan deformasi pada struktur, baik dalam kondisi statis maupun dinamis. Hal ini bermanfaat untuk memahami bagaimana struktur akan berperilaku di bawah berbagai beban.

4. Analisis Termal: Perangkat lunak ini dapat melakukan analisis perpindahan panas dan perubahan suhu pada objek.
 5. Analisis Dinamika: Abaqus dapat memodelkan dan menganalisis respons dinamis sistem terhadap beban getaran, kejutan, atau perubahan gaya dalam waktu tertentu.
 6. Analisis Komposit: Abaqus memiliki kemampuan untuk menganalisis material komposit.
 6. Simulasi Proses Manufaktur: Selain analisis struktur, Abaqus juga dapat digunakan untuk menganalisis proses manufaktur seperti pemadatan logam, pengecoran, dan berbagai proses pembentukan lainnya.
 7. Interaksi Kontak: Perangkat lunak ini memungkinkan pemodelan interaksi kontak antara komponen yang berbeda, seperti komponen mekanis yang saling bersentuhan (Lintang 2023).
1. Rumus Frekuensi Eigen: Untuk sistem getaran struktur linier, Frekuensi Eigen (atau frekuensi natural) f_n dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

dimana:

k = kekakuan struktur (dalam N/m atau N/mm),

m = massa struktur (kg).

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Proses Penelitian dimulai sejak bulan Maret 2024 hingga Agustus 2024 di laboratorium *Vibration and Accoustics*, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin



Gambar 9. Tempat Penelitian

2.2 Alat dan Bahan

Alat

1. Komputer

Komputer digunakan sebagai alat untuk menjalankan software *3D design Autodesk Fusion 360*, dan untuk melakukan komputasi elemen hingga berupa simulasi pada software simulia *Abaqus Simulink*.



Gambar 10. Komputer

2. Mouse

Mouse berfungsi sebagai alat untuk menggerakkan kursor pada komputer



Gambar 11. Mouse

Bahan

1. *Software Autodesk Fusion 360*

Autodesk Fusion 360 adalah perangkat lunak CAD (*Computer-Aided Design*), CAM (*Computer-Aided Manufacturing*), dan CAE (*Computer-Aided Engineering*) berbasis cloud yang digunakan untuk *design* produk rekayasa, dan manufaktur. Selain itu, Autodesk Fusion 360 juga dapat digunakan dalam mensimulasikan design PCB (*printed Circuit Board*), *design* animasi, dan *CNC machining*.



Gambar 12. *Software Autodesk Fusion 360*

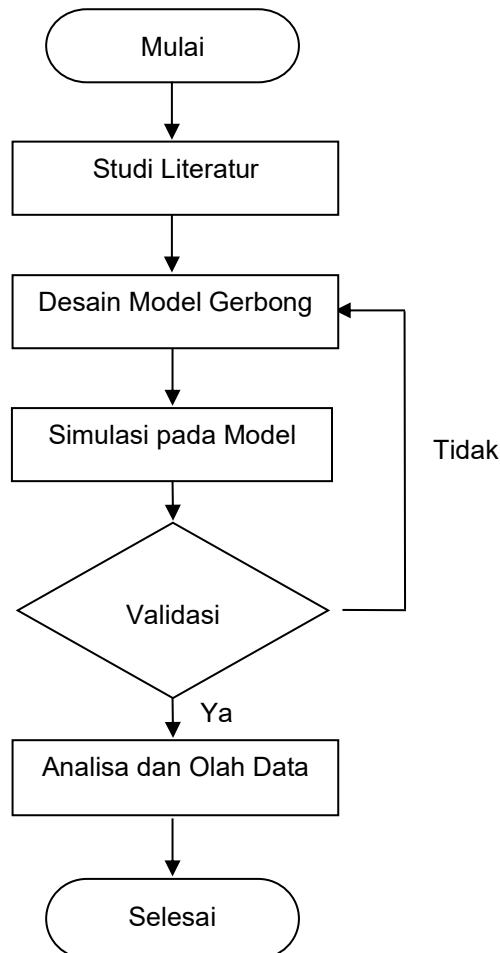
2. *Software Abaqus CAE*

Abaqus adalah perangkat lunak simulasi berbasis *Finite Element Analysis* (FEA) yang digunakan untuk menganalisis struktur, mekanika, termal, dan fluida.



Gambar 13. *Software Abaqus CAE*

2.3 Flowchart Penelitian



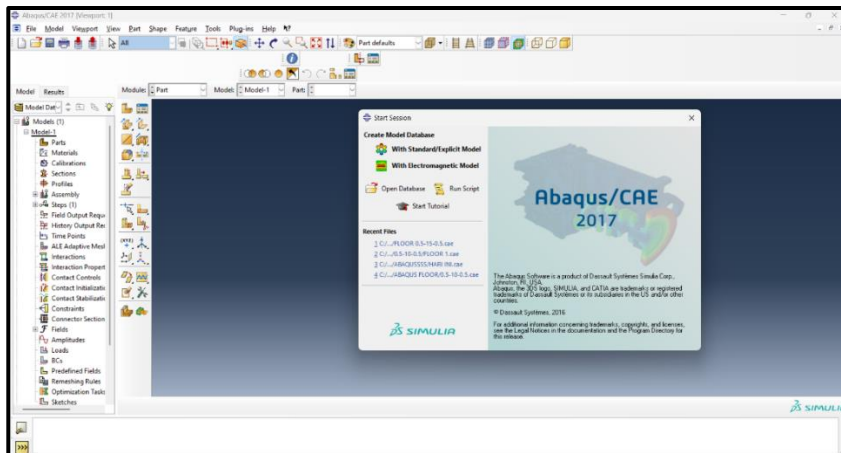
Gambar 14. Alur Proses Penelitian

2.4 Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini, pendekatan yang digunakan melibatkan simulasi komputasional dengan menggunakan perangkat lunak *Abaqus* untuk menganalisis *acoustics* pada *floor* kereta cepat yang terbuat dari bahan komposit. Langkah pertama melibatkan pemodelan geometri *floor* dan pemilihan material komposit yang sesuai. Setelah itu, sifat material dan interaksi antar komponen didefinisikan dalam perangkat lunak. Proses berikutnya mencakup simulasi *acoustics* dengan menerapkan beban akustik pada model dan menginterpretasikan hasil untuk mengidentifikasi kemungkinan sumber kebisingan serta memberikan rekomendasi untuk mengurangi kebisingan. Metode elemen hingga dalam *Abaqus* dipilih untuk mendapatkan analisis yang

rinci dan akurat tentang distribusi *acoustics* di dalam struktur *floor* kereta cepat berbahan komposit.

2.5 Simulator



Gambar 15. Tampilan utama software *Abaqus*

Penelitian ini menggunakan simulator berbasis aplikasi *Abaqus*, sebuah perangkat lunak canggih yang mendukung Analisis Metode Elemen Hingga (*Finite Element Analysis*, FEA). *Abaqus* didesain untuk mendukung simulasi mulai dari analisis linear sederhana hingga analisis non-linear yang kompleks, termasuk kondisi kontak yang rumit. Hal ini memungkinkan peneliti untuk dengan akurat menetapkan kondisi material dan indenter, memastikan bahwa hasil simulasi sesuai dengan harapan awal. Keunggulan utama *Abaqus* adalah kemampuannya dalam melakukan analisis elastis dan plastis, yang memungkinkan pemodelan perubahan bentuk material baik dalam keadaan kembali ke bentuk semula setelah beban dihilangkan maupun mengalami deformasi permanen. Dengan menggunakan perangkat lunak ini, peneliti dapat mengatur semua kondisi material dan indenter sehingga reaksi dari pemodelan sesuai dengan kondisi awalnya secara akurat, memberikan dasar kuat untuk studi perilaku material di bawah beban tertentu.

2.6 Karakteristik Material

1. Aluminium 6061 T6

Tabel 1. Mekanika Properti Aluminium 6061 T6

<i>Properties</i>	
<i>Density</i>	2,7 g/cm ³
<i>Ultimate tensile strength</i>	310 MPa
<i>Modulus of Elasticity</i>	68,9 GPa
<i>Poisson's Ratio</i>	0,33
<i>Shear Modulus</i>	26 GPa
<i>Shear Strength</i>	207 MPa

(Sumber: Ardiansyah, 2019).

2. Aluminium Foam

Tabel 2. Mekanika Properti Aluminium Foam

<i>Properties</i>		
Kekuatan Kompresi	367 psi	2.53 MPa
Kekuatan tarik	180 psi	2.53 MPa
Kekuatan geser	190 psi	1.24 MPa
Modulus Elastis (Tekanan)	15 x 103 psi	1.31 MPa
Modulus Elastis (Tegangan)	14.6 x 103 psi	103.08 MPa
Modulus Geser	2.9 x 104 psi	101.84 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 x 10-6 in/in- °f	23.58 x 10-6 m/m – C
Resistivitas Massal	2.84 x 10-5ohm - in	7.2 x 10-5 ohm-cm
Titik Lebur	1220°F	660°C

(Sumber: Firstiawaty, 2022).

2.7 Spesifikasi Floor

Penelitian ini menggunakan model komputasional untuk menganalisis *floor* (lantai) kereta cepat dengan dimensi panjang 2991 mm dan lebar 1915 mm. *Floor* tersebut didesain sebagai material komposit *sandwich*, yang terdiri dari lapisan luar (*skin*) dari aluminium 6061-T6 dan inti (*core*) berupa aluminium foam.

Penelitian ini mengevaluasi beberapa variasi ketebalan pada *skin* dan *core* untuk memahami pengaruhnya terhadap performa struktur lantai.

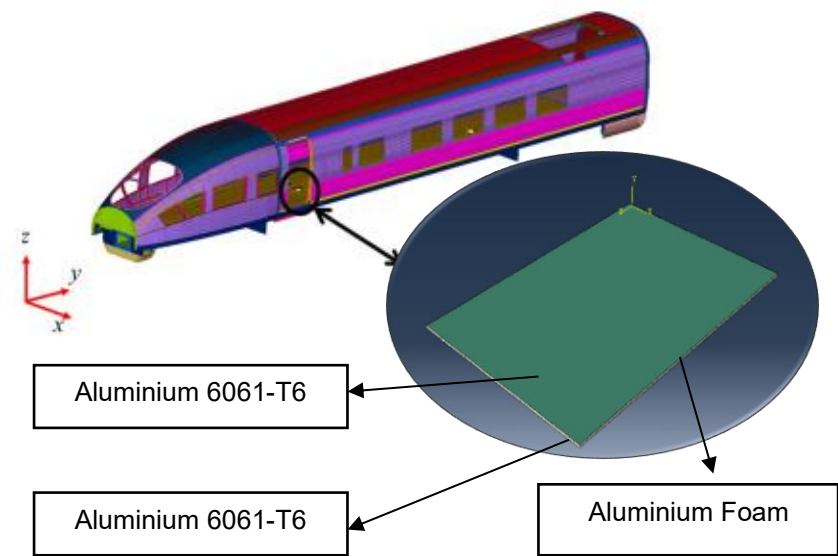
Variasi pertama menggunakan *skin* dengan ketebalan 0,5 mm dan *core* setebal 10 mm. Pada variasi kedua, ketebalan *skin* ditingkatkan menjadi 1 mm, sementara ketebalan *core* tetap 10 mm. Variasi ketiga menggunakan *skin* dengan ketebalan 0,5 mm dan *core* 15 mm, dan variasi keempat menggunakan *skin* dengan ketebalan 0,5 mm dengan *core* yang lebih tebal, yaitu 19 mm.

Variasi-variasi ini dirancang untuk menganalisis respons akustik dari struktur lantai, dengan tujuan menemukan konfigurasi material yang paling efektif dalam meredam suara dan getaran. Hal ini penting untuk meningkatkan kenyamanan dan keamanan penumpang saat diterapkan pada kereta cepat, khususnya dalam hal mengurangi kebisingan dan getaran yang ditransmisikan melalui lantai kereta.

Tabel 3. Spesifikasi *Floor* Kereta Cepat

No	Kereta Cepat Tipe CR400AF	Dimensi
1	Panjang	1915 mm
2	Lebar	2991 mm

(Sumber: You et al., 2022)



Gambar 16. Ilustrasi Lantai kereta cepat
(Sumber: You et al., 2022)

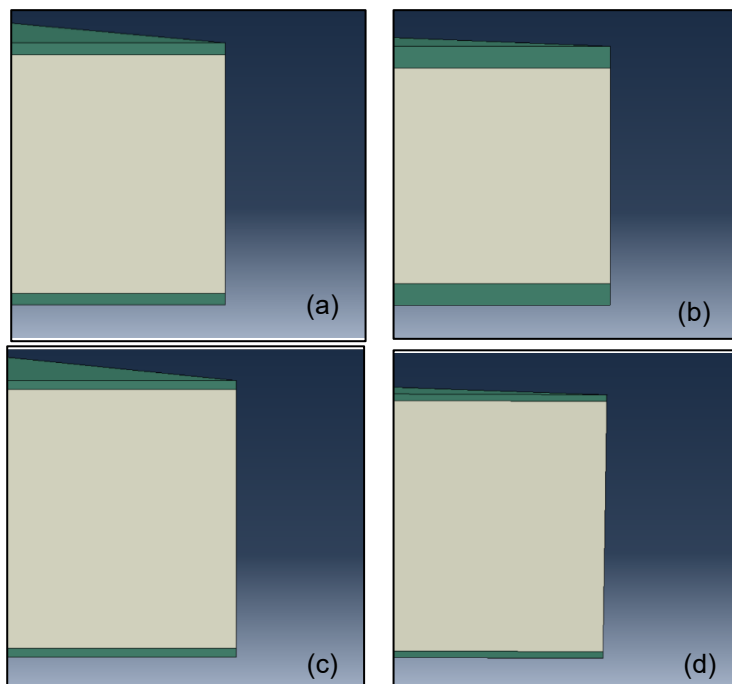
2.8 Konfigurasi Floor

Konfigurasi dilakukan sebagai bahan perbandingan antara penggunaan aluminium 6061-T6 dan *sandwich aluminium foam* terhadap penyerapan energi saat proses landing berlangsung.

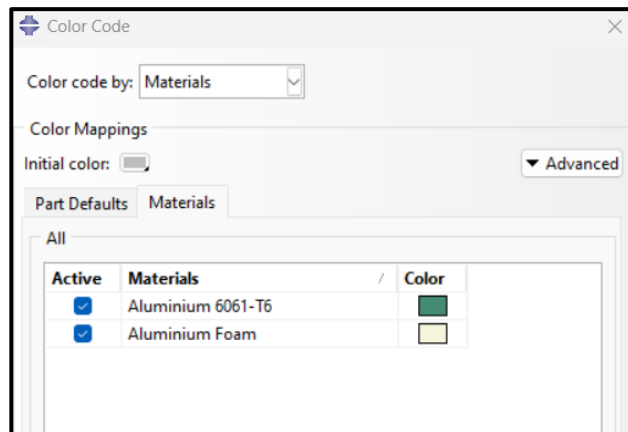
Perbandingan antara material aluminium 6061-T6 dan *sandwich aluminium foam* dibuat dengan selisih ketebalan yang menyerupai satu antar yang lain, agar dapat dibuat kesimpulan berdasarkan data tegangan yang didapatkan dari hasil pengujian simulasi pada software Abaqus CAE.

Tabel 4. Konfigurasi desain *Floor*

Konfigurasi	Material	Ketebalan Al (mm)	Ketebalan Foam (mm)
1	<i>Aluminium 6061 T6</i>	0.5	10
2		1	10
3	<i>Sandwich Alumnium Foam</i>	0.5	15
4		0.5	19



Gambar 17. Desain *Floor* (a) Konfigurasi 1 (b) konfigurasi 2 (c) konfigurasi 3 (d) konfigurasi 4



Gambar 18. *Color Code*

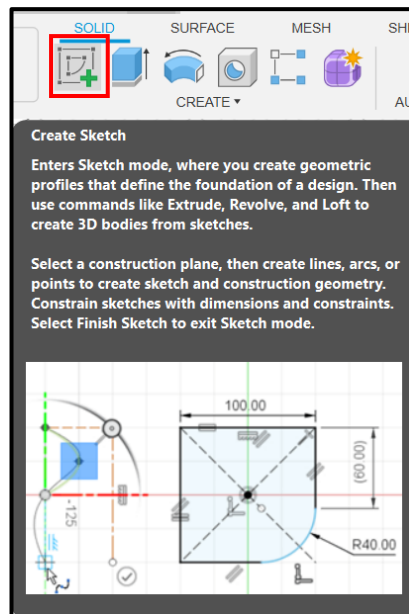
2.9 Prosedur Pembuatan Model

Model simulasi berdasarkan desain Kereta Cepat Tipe CR400AF dibuat melalui beberapa serangkaian tahapan menggunakan perangkat lunak Autodesk Fusion 360 untuk pembuatan model, serta *Abaqus* CAE sebagai alat simulasi. Tahap-tahapnya meliputi proses perancangan model dan pengujian simulasi untuk memastikan kinerja dan keandalan Kereta Cepat.

Pemodelan Lantai Kereta Cepat menggunakan Fusion 360

a. *Sketch*

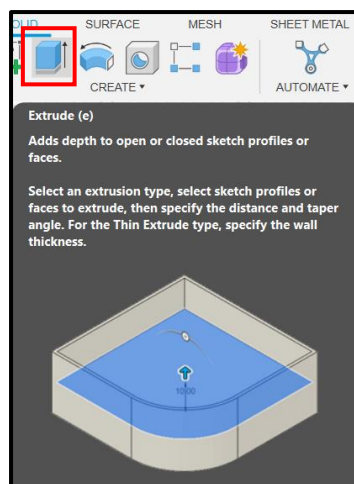
Membuat sketsa, mode ini merupakan tempat untuk membuat profil geometris yang menentukan fondasi desain. Kemudian dengan menggunakan perintah seperti *extrude* dan *fillet* untuk membuat model 3d dari sketsa



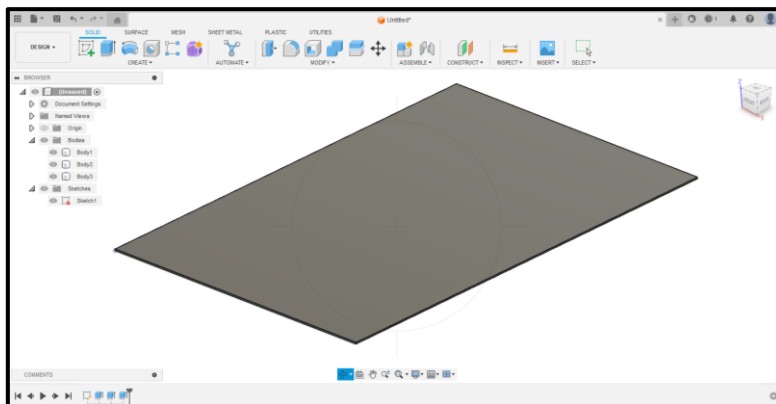
Gambar 19. Mode Sketch

b. *Extrude*

Extrude adalah sebuah fungsi dasar untuk mengubah bentuk dua dimensi (2D) menjadi objek tiga dimensi (3D) dengan menarik bentuk tersebut sepanjang sumbu tertentu, sehingga menambah volume dan menciptakan bentuk 3D.



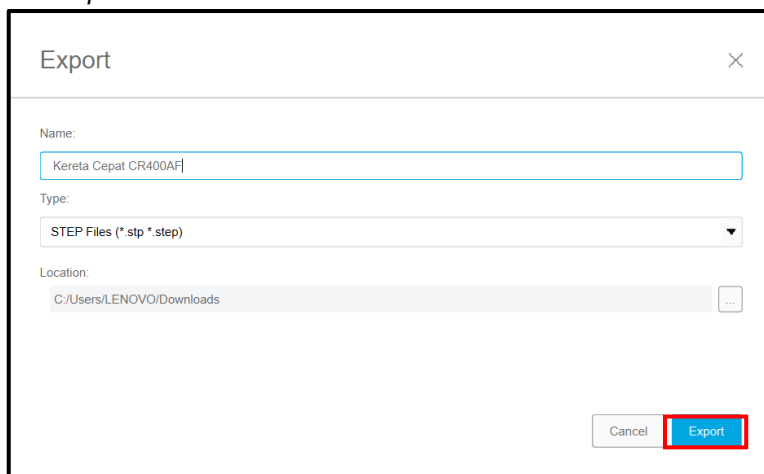
Gambar 20. Fitur Extrude



Gambar 21. Desain *Floor* Kereta Cepat

c. *Export*

Menu ini membolehkan user untuk melakukan *export file* dengan ekstensi yang diinginkan agar desain tetap dapat diakses atau dimodifikasi melalui aplikasi *Abaqus*



Gambar 22. Menu *Export*

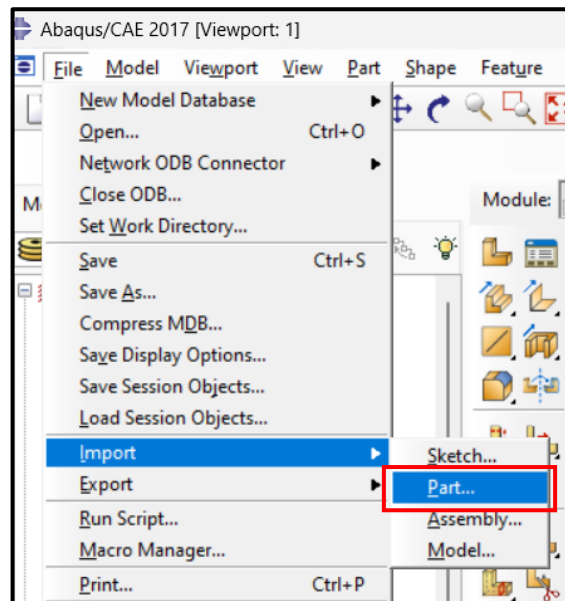
2.10 Simulasi Gerbong Menggunakan Software Abaqus

Dengan menggunakan aplikasi simulasi *Abaqus* CAE, terdapat beberapa *adjustment* dalam proses pengambilan data yaitu:

a. *Import*

Mengimpor model yang telah didesain sebelumnya di fusion

360



Gambar 23. Menu *Import*

b. Penentuan material

Pada percobaan ini menggunakan material aluminium. Material yang ditentukan pada simulasi metode elemen hingga ini kemudian dikonfigurasi pada part yang telah dibuat sebelumnya sesuai dengan spesifikasi.

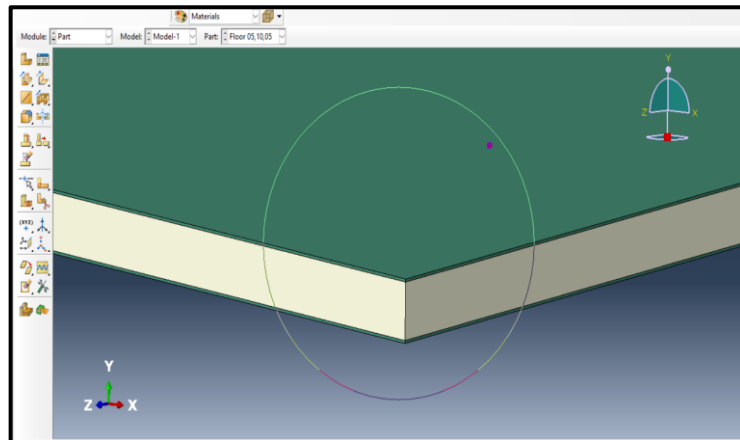
Adapun tahapan pada *Abaqus* CAE yaitu:

1. *General* → *density* → *mass density*, massa jenis disesuaikan dengan karakteristik model
2. *Mechanical* → *elasticity* → *elastic* → dikonfigurasi dari karakteristik model
3. *Mechanical* → *plasticity* → *plastic* → dikonfigurasi dari karakteristik model

c. Assembly

Tahapan pada *Abaqus* CAE untuk *proses assembly* ini dilakukan sebagai berikut:

Module: assembly → klik dua kali pada *opsi Instances* → pilih semua *part-part* yang telah disatukan kemudian diberikan ketentuan *surfaces & nodes* serta engineering features (momen inersia).



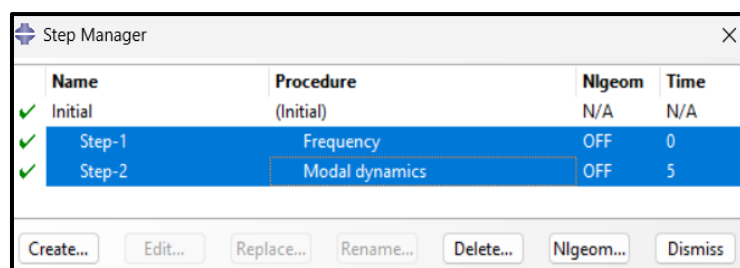
Gambar 24. *Part-part* yang sudah di gabungkan

d. Step

Tahapan selanjutnya pada menu *step* dilakukan dua *step* sebagai berikut :

Step Manager: Create → *Frequency* → Masukkan *number of eigenvalues* sesuai mode yang diinginkan

Step Manager: Create → *Step-2* → *Modal dynamic*

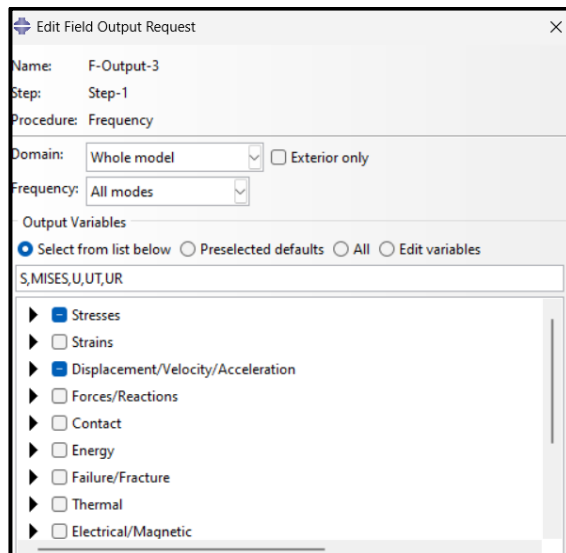


Gambar 25. *Part-part* yang sudah di gabungkan

e. *Field Output Manager*

Selanjutnya pilih menu *Field Output Requests* untuk memberikan data keluaran yang diinginkan dilakukan sebagai berikut :

Create → Lalu pilih data keluaran yang diinginkan → *Ok*

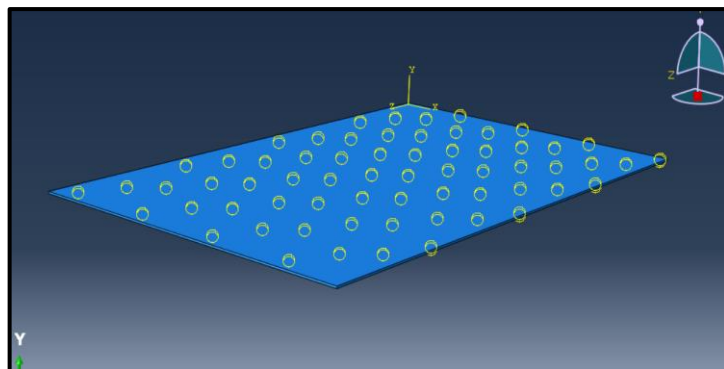


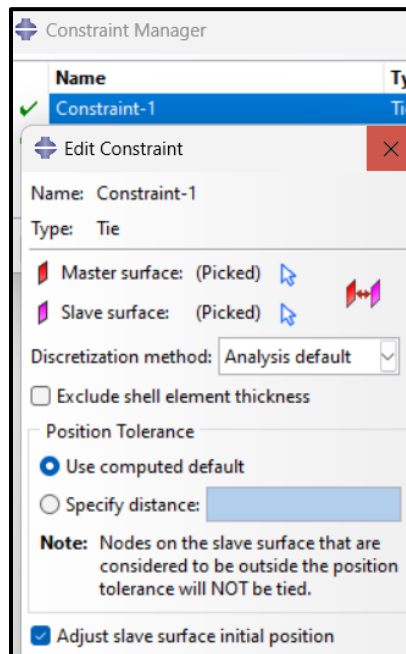
Gambar 26. *Part-part* yang sudah di gabungkan

f. *Interaction*

Interaction Merupakan ikon pada *abaqus* yang digunakan untuk menghubungkan antara *skin* dan *inti* pada material dilakukan sebagai berikut :

Constraint Manager → *Create* → *Tie* → *Surface*





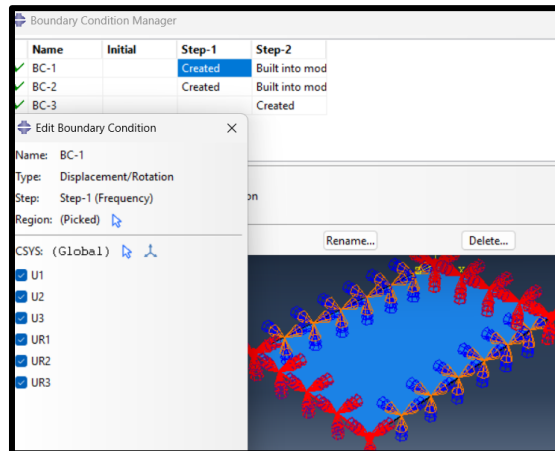
Gambar 27. *Part-part* yang sudah di gabungkan

g. *Load*

Pada menu *Load* pilih ikon *Boundary Condition*, *Boundary Condition* digunakan untuk mendefenisikan batasan atau kondisi batas pada model simulasi. *Boundary Condition* menentukan bagaimana model bisa bergerak atau bereaksi yang tahapannya dilakukan sebagai berikut :

Boundary Condition → *Create* → *Displacement/Rotation* → *Continue* → Lalu pilih bagian yang ingin diberikan batas.

Create → *Displacement Base Motion* → masukkan data yang diperlukan.



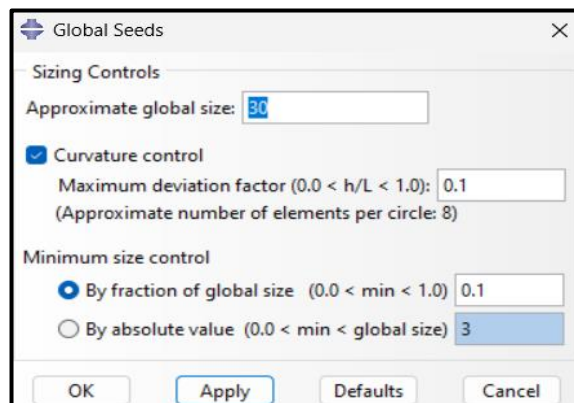
Gambar 28. Part-part yang sudah di gabungan

h. Meshing

Tahapan selanjutnya yang perlu dilakukan yaitu membuat *mesh* atau biasa juga dikenal dengan istilah meshing pada semua part dalam simulasi.

Adapun pada *Abaqus CAE* dibuat dengan tahapan:

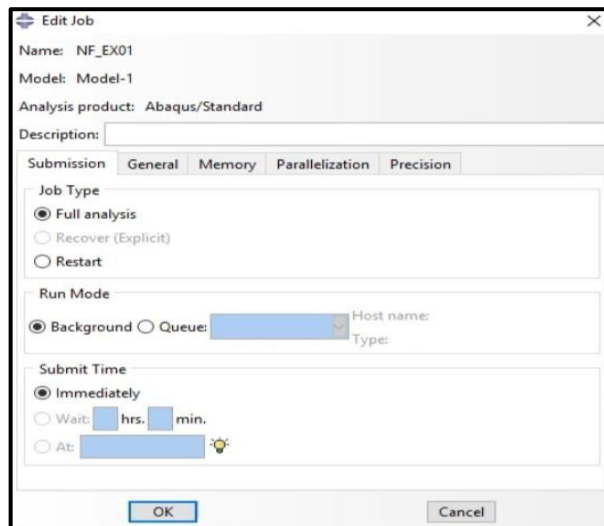
Module: mesh → pilih part yang akan dilakukan perlakuan → *seed part* → konfigurasi sesuai dengan Gambar 16, berikut.



Gambar 29. Tampilan *global seeds* pada *Abaqus CAE* Kemudian klik *apply*

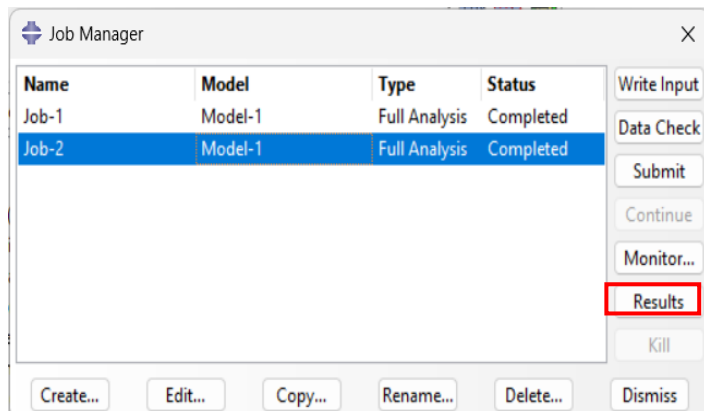
i. *Job*

Module: *Job* → *Create job* → konfigurasi sesuai dengan Gambar 23. *Tampilan panel job pada Abaqus CAE*



Gambar 30. Tampilan *panel job* Abaqus CEA

Klik submit pada Gambar 23, untuk mengupload simulasi, dan kemudian tunggu beberapa saat hingga selesai.



Gambar 31. Tampilan *panel job manager* pada Abaqus CAE

Setelah *Job* berhasil dibuat, klik *result* pada Gambar 24, untuk melihat hasil simulasi.

