

SKRIPSI

**ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN ALUMINIUM FOAM PADA
FENDER KAPAL LAUT TERHADAP GAYA IMPAK DENGAN
MENGUNAKAN SOFTWARE ABAQUS CAE**



OLEH:

IRWAN ALAM NUR

D021 17 1017

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mengikuti ujian akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Pada tanggal 1 Maret 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

JUDUL:

**ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN ALUMINIUM FOAM PADA
FENDER KAPAL LAUT TERHADAP GAYA IMPAK DENGAN
MENGUNAKAN SOFTWARE ABAQUS CAE**

IRWAN ALAM NUR

D021 17 1017

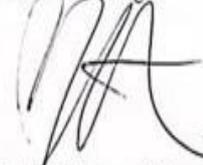
Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I



Fauzan, ST., MT., Ph.D
NIP. 19770103 200801 1 009

Dosen Pembimbing II



Ir. Mukhtar Rahman, MT.
NIP. 19571013 198703 1 001

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin




Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT.
NIP. 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Irwan Alam Nur
NIM : D021 17 1017
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN ALUMINIUM FOAM PADA FENDER KAPAL LAUT TERHADAP GAYA IMPAK DENGAN MENGUNAKAN SOFTWARE ABAQUS CAE

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

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

Gowa, 31 Mei 2022

Yang Menyatakan

A rectangular stamp with a yellow border and a red and black design. The text on the stamp includes '10000' on the left, 'REPUBLIK INDONESIA' at the bottom, and 'METERAI' in the center. A black ink signature is written over the stamp.

Irwan Alam Nur

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Irwan Alam Nur

Tempat Tanggal Lahir : Lembang Bu'ne 28 November 1998

Alamat : Jalan Poros Malino

Agama : Islam

Telepon : 082280203478

E-mail : muhammadirwan203@gmail.com

Riwayat Pendidikan : MI Yapid Lembang Bu'ne
SMP Islam Annas Mandai Maros
SMA Negeri 7 Gowa

Riwayat Organisasi : HMM FT-UH
ART SMFT-UH

Pengalaman Magang (Internship) : PT Yusamasu Tech Indonesia

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya serta Salam dan shalawat kepada Nabi Muhammad SAW sosok manusia terbaik yg membawa manusia ke zaman yang aman dan tentram saat sekarang ini, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN ALUMINIUM FOAM PADA FENDER KAPAL LAUT TERHADAP GAYA IMPAK DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ABAQUS CAE”**. Dengan pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis bisa belajar lebih banyak untuk memperdalam dan meningkatkan apa segala ilmu yang telah didapatkan penulis selama menempuh perkuliahan kampus perjuangan Fakultas Teknik Univeristas Hasanuddin jurusan S1 Teknik Mesin. Dengan Tugas Akhir ini penulis juga dapat menghasilkan suatu implementasi dari apa yang telah penulis pelajari.

Selesainya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan beberapa pihak. Sehingga pada kesempatan ini penulis mengucapkan syukur dan terima kasih kepada:

1. Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW.
2. Kedua orang tua tercinta, Hayani dan Abdul Muis atas cinta, doa, waktu, pengorbanan, tenaga, pikiran yang dilimpahkan kepada penulis tanpa ada batasan;
3. Seluruh keluarga yang selalu memberikan dukungan, motivasi, nasihat, dan do'a kepada penulis.
4. Teman hidup yang selalu menemani saya setiap saat Utari atas waktu, motivasi, pikiran, doa yang dilimpahkan kepada penulis tanpa ada batasan.
5. Kepala Departemen Teknik Mesin (Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, ST, MT) atas dukungan, kebijakan dan nasihat seta arahan yang diberikan semasa perkuliahan kepada penulis.
6. Dosen pembimbing (Bapak Fauzan, ST., MT.,Ph.D dan Bapak Ir. Mukhtar Rahman, MT) . atas bekal ilmu, waktu, motivasi, tenaga dan senantiasa membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir;

6. Dosen pembimbing (Bapak Fauzan, ST., MT.,Ph.D dan Bapak Ir. Mukhtar Rahman, MT) . atas bekal ilmu, waktu, motivasi, tenaga dan senantiasa membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir;
7. Dosen penguji (Bapak Prof. Dr. Ir. Onny Sutresman dan prof. Dr. Ir. Zulkifli Djafar, MT) yang memberi masukan dan motifasi untuk menjadi penulis sebagai sosok yang lebih baik lagi.
8. Seluruh dosen Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin atas ilmu, bimbingan dan waktu yang diberikan kepada penulis.
9. Seluruh staf administrasi dan pelayanan Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin yang senantiasa dengan kemurahannya hatinya membantu penulis dalam kelengkapan administrasi dari awal perkuliahan hingga saat ini.
10. Teman-Teman Teknik Mesin 2017 atas kebahagiaan, pengalaman, dan kebersamaan yang telah diukir selama 4 tahun 5 bulan ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan. Sehingga dengan kerendahan hati, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk perbaikan ke depannya.

Gowa, 21 Mei 2022

Penulis,



Irwan Alam Nur

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Keselamatan Pelayaran	5
2.2 Jenis-Jenis Alat Keselamatan.....	6
2.3 Fender	6
2.4 Uji Impak	6
2.5 Crashworthiness	7
2.6 Parameter Crush.....	7
2.7 Aluminium Foam	10
2.8 Metode Elemen Hingga	13
2.9 Software ABAQUS CAE.....	19
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Metode Penelitian	24
3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian	24
3.3 Alat.....	24
3.4 Bahan	25

3.5 Diagram Alir Penelitian	37
BAB IV HASIL PEMBAHASAN	38
4.1 Hasil Simulasi Pembeban Transvesal Menggunakan metode Quasstatik	38
4.2 Hasil simulasi pembebanan Transversal menggunakan metode Dynamic eksplisit	47
4.3 Validasi Model ABAQUS CAE	56
BAB V PENUTUP	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Struktur fender sebagai komponen keselamatan pada kapal laut	1
Gambar 2.1 Foam rongga tertutup dan Foam rongga terbuka.....	11
Gambar 2.2 Tahapan menjalankan program ABAQUS CAE	21
Gambar 2.3 Komponen pada windows utama program ABAQUS CAE.....	22
Gambar 3.1 ABAQUS CAE.....	24
Gambar 3.2 model variasi penampang	26
Gambar 3.3 Aluminium Foam.....	26
Gambar 3.4 Tampilan pembuatan (a) fender mild steel dan (b) aluminium foam	27
Gambar 3.5 Fender	28
Gambar 3.6 Spesifikasi Lower plate (a), dan Top plat (b)	28
Gambar 3.7 impactor (a) rigid base (b)	29
Gambar 3.8 penentuan material mild steel (kiri) aluminium (kanan)	29
Gambar 3.9 Hasil assembly pada modul assembly	30
Gambar 3.10 Tampilan tipe mesh yang digunakan pada simulasi pada modul mesh	30
Gambar 3.11 Tampilan mesh control pada ABAQUS CAE Kemudian kembali pada module: mesh dan mesh komponen.....	31
Gambar 3.12 fender yang sudah di meshing.	31
Gambar 3.13 Tampilan panel pada ABAQUS CAE interaction	32
Gambar 3.14 Tampilan panel Create interaction pada ABAQUS CAE.....	32
Gambar 3.15 Tampilan panel Edit interaction pada ABAQUS CAE.....	33
Gambar 3.16 Tampilan panel Contact property pada ABAQUS CAE	33
Gambar 3.17 Tampilan panel predefined fields pada ABAQUS CAE	34
Gambar 3.18 Tampilan panel field output request stresse (kiri), Tampilan panel history output reqest energy (kanan).....	35
Gambar 3.19 Tampilan panel step pada ABAQUS CAE.....	35
Gambar 3.20 Tampilan panel job ABAQUS CEA.....	36
Gambar 3.21 Diagram alir penelitian	37
Gambar 4.1 Skematik pembebanan aksial.....	38

Gambar 4.2 hasil simulasi variasi penampang	40
Gambar 4.3 Grafik displacement-waktu.....	41
Gambar 4.4 Grafik nilai total energy serap yang didapatkan pada variasi fender.	42
Gambar 4.5 Beban puncak pada fender.....	43
Gambar 4.6 Grafik nilai gaya rata-rata yang didapatkan pada variasi bentuk penampang	44
Gambar 4.7 Grafik nilai energy serap spesifik yang didapatkan pada variasi fender.....	45
Gambar 4.8 Persentase Serapan Energi Spesifik.....	47
Gambar 4.9 Skematik pembebanan aksial.....	48
Gambar 4.10 hasil simulasi variasi Fender.....	50
Gambar 4.11 Grafik displacement-waktu.....	51
Gambar 4.12 Grafik nilai total energy serap yang didapatkan pada variasi fender.	52
Gambar 4.13 Beban puncak pada fender.....	53
Gambar 4.14 Grafik nilai gaya rata-rata yang didapatkan pada variasi bentuk penampangBerat Fender.....	54
Gambar 4.15 Grafik nilai energy serap spesifik yang didapatkan pada variasi fender.....	55
Gambar 4.16 Persentase Serapan Energi Spesifik.....	56
Gambar 4.17 Hasil simulasi dengan menggunakan ABAQUS (kiri), hasil Eskperimen (kanan). (zulfis 2022).....	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Aluminium Foam	10
Tabel 3.1 karakteristik mild steel	25
Tabel 3.2 karakteristik aluminium foam	26
Tabel 4.1 Massa setiap variasi Fender.....	44
Tabel 4.2 Parameter untuk masing-masing variasi Fender	46
Tabel 4.3 Massa setiap variasi Fender.....	54
Tabel 4.4 parameter untuk masing-masing variasi Fender.....	55
Tabel 4.5 karakteristik aluminium 6061(zulfis 2022).....	57
Tabel 4.6 Perbandingan antara pengujian sebelumnya dengan simulasi ABAQUS CAE	58

ABSTRAK

Irwan Alam Nur (D021171017), Dibimbing oleh bapak Fauzan, ST.,MT.,Ph.D dan bapak Ir.Mukhtar Rahman, MT, dengan judul tugas akhir Analisa Pengaruh Penambahan Aluminium Foam Pada Fender Kapal Laut Terhadap Gaya Impak Dengan Menggunakan Software ABAQUS Cae.

Dalam perkapalan, fender adalah bumper yang digunakan untuk meredam benturan yang terjadi pada saat kapal akan merapat ke dermaga atau pada saat kapal yang sedang ditambatkan tergoyang oleh gelombang atau arus yang terjadi di pelabuhan. Untuk mampu melakukan peredaman, fender biasanya memiliki daya serap energi yang tinggi dan gaya reaksi yang rendah. Fender umumnya terbuat dari karet, busa elastomer, atau plastik. Jenis fender yang digunakan tergantung pada banyak variabel, antara lain ukuran dan berat kapal, stand-off maksimum yang diizinkan, struktur kapal, variasi pasang-surut, dan kondisi tempat tertentu lainnya. Adapun tujuan dari penelitian ini (1) untuk mengetahui kemampuan menyerap energi pada fender terisi foam secara simulasi dibawah pembebanan transversal dengan menggunakan metode quas static dengan variasi bentuk fender (2) untuk mengetahui kemampuan menyerap energi pada fender terisi foam secara simulasi dibawah pembebanan transversal dengan menggunakan metode dynamic eksplisit dengan variasi bentuk fender. (3) untuk mengetahui hasil simulasi dengan membandingkan hasil simulasi ABAQUS CAE dengan hasil eksperimen. Penelitian ini mengkaji 4 variasi penampang fender yaitu FK, FF,,FD,FDF. Pengujian ini dilakukan dengan menguji crashworthiness dan impact dari masing-masing model fender dengan menggunakan software ABAQUS CAE. Adapun hasil simulasi, aluminium foam berperan dalam mengurangi tekanan yang ditimbulkan oleh beban. Kesimpulan dari pengujian ini fender berisi aluminium foam menunjukkan tegangan konstan yang dapat menyerap tingkat energy lebih tinggi daripada fender kosong (FK).

Kata kunci : Aluminium Foam, Software ABAQUS CAE, Fender, Kapal Laut

ABSTRACT

Irwan Alam Nur (D021171017), Supervised by Mr. Fauzan, ST.,MT.,Ph.D and Mr. Ir.Mukhtar Rahman, MT, with the final project title Analysis of the Effect of Adding Aluminum Foam to Marine Fenders on the Impact Force Using ABAQUS CAE Software. In shipping, fenders are bumpers that are used to dampen collisions that occur when the ship is about to dock at the dock or when the ship being moored is shaken by waves or currents in the port. To be able to perform damping, fenders usually have high energy absorption and low reaction forces. Fenders are generally made of rubber, elastomeric foam, or plastic. The type of fender used depends on many variables, including the size and weight of the ship, the maximum allowable stand-off, the structure of the ship, variations in tides, and other site-specific conditions. The purpose of this research (1) is to determine the ability to absorb energy in a fender filled with foam in a simulation under transverse loading using the quas static method with variations in the shape of the fender (2) to determine the ability to absorb energy in a fender filled with foam in a simulation under transverse loading using Explicit dynamic method with variations in the shape of the fender. (3) to find out the simulation results by comparing the ABAQUS CAE simulation results with the experimental results. This research examines 4 variations of the fender cross-section, namely FK, FF,, FD, FDF. This test is done by testing the crashworthiness and impact of each fender model using ABAQUS CAE software. As for the simulation results, aluminum foam plays a role in reducing the pressure caused by the load. The conclusion from this test is that fenders filled with aluminum foam show a constant stress that can absorb higher energy levels than fenders filled with empty (FK) fenders.

Keywords: *Aluminum Foam, ABAQUS CAE Software, Fender, Marine*

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keselamatan pelayaran didefinisikan sebagai suatu keadaan terpenuhinya persyaratan keselamatan dan keamanan yang menyangkut angkutan di perairan dan kepelabuhanan. Terdapat banyak penyebab kecelakaan kapal laut, karena tidak diindahkannya keharusan tiap kendaraan yang berada di atas kapal untuk diikat (lashing), hingga pada persoalan penempatan barang yang tidak memperhitungkan titik berat kapal dan gaya lengan stabil. Dengan demikian penyebab kecelakaan sebuah kapal tidak dapat disebutkan secara pasti, melainkan perlu dilakukan pengkajian, (Zaim, 2020)

Dalam perkapalan, fender adalah bumper yang digunakan untuk meredam benturan yang terjadi pada saat kapal akan merapat ke dermaga atau pada saat kapal yang sedang ditambatkan tergoyang oleh gelombang atau arus yang terjadi di pelabuhan. Untuk mampu melakukan peredaman, fender biasanya memiliki daya serap energi yang tinggi dan gaya reaksi yang rendah. Fender umumnya terbuat dari karet, busa elastomer, atau plastik. Jenis fender yang digunakan tergantung pada banyak variabel, antara lain ukuran dan berat kapal, stand-off maksimum yang diizinkan, struktur kapal, variasi pasang-surut, dan kondisi tempat tertentu lainnya. Ukuran fender didasarkan pada energi kapal saat berlabuh yang berhubungan dengan ketepatan kecepatan berlabuh.



Gambar 0.1 Struktur fender sebagai komponen keselamatan pada kapal laut (Zhiyu Jiang, 2009).

Tubrukan kapal memberi dampak yang cukup signifikan terhadap kekuatan struktur kapal yang erat hubungannya dengan keamanan lalang kapal serta terbatasnya area jalur perlintasan perairan pelabuhan sangat berpotensi terjadinya insiden kecelakaan kapal terutama tubrukan kapal. Tubrukan kapal ini menyebabkan terjadinya deformasi hingga robeknya lambung kapal serta terjadinya tumpahan minyak akibat dari kecelakaan kapal yang terus meningkat baik jumlah maupun frekuensinya. Tumpahan berupa minyak bahan bakar, minyak pelumas. Kecelakaan ini mengakibatkan kerugian materi hingga timbulnya korban jiwa serta berdampak pada kerusakan ekologis bagi wilayah pesisir dan laut, Selain merugikan lingkungan tumpahan minyak juga merugikan bagi pemilik kapal karena dibutuhkan biaya yang besar untuk membersihkannya (Rika Aqustian dkk, 2016).

Untuk mengetahui ketahanan struktur fender terhadap impak perlu adanya pengujian serta mempertimbangkan faktor-faktor dinamis yang dapat mempengaruhi fender antara lain kecepatan impaktor, bentuk penampang, tebal plat, dan lain-lain. Ketangguhan (impak) merupakan ketahanan bahan terhadap beban kejut. Inilah yang membedakan pengujian impak dengan pengujian tarik dan kekerasan dimana dilakukan secara perlahan-lahan. Pengujian impak merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering di temui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba.

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya terkait pengujian kekuatan struktur fender kapal laut bahan material *mild steel* dengan menghasilkan tegangan maksimum sebesar 3,10 kN yang ditulis oleh zhiyu jiang,dkk (2010). Namun bagaimana jika penambahan *aluminium foam* pada fender kapal laut dengan variasi bentuk penampang apakah memberikan tegangan maksimum lebih besar. Maka pada penelitian ini penulis akan melakukan pengujian Perancangan fender kapal laut dengan penambahan aluminium foam dan variasi penampang agar mengurangi dampak yang ditimbulkan akibat tumbukan tersebut dengan menggunakan metode simulasi software ABAQUS CAE.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana menganalisis kemampuan penyerapan energy pada fender kapal laut bahan *mild steel* dengan penambahan aluminium foam menggunakan metode *Quas Statik*?
2. Bagaimana menganalisa kemampuan penyerapan energi pada feder kapal laut bahan mild steel dengan penambahan aluminum foam menggunakan metode Dynamik Eksplisit?
3. Memvalidasi hasil simulasi ABAQUS CAE dengan hasil eskperimen.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin di capai pada penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui kemampuan menyerap energi pada fender terisi foam secara simulasi dibawah pembebanan transversal dengan menggunakan metode quas static dengan variasi bentuk Fender.
2. Untuk mengetahui kemampuan menyerap energi pada fender terisi foam secara simulasi dibawah pembebanan transversal dengan menggunakan metode Dynamic explisit dengan variasi bentuk Fender.
3. Untuk mengetahui hasil perbandingan simulasi ABAQUS CAE dengan hasil eksperimen.

1.4 Batasan Penelitian

Pada penelitian ini penulis membatasi hal-hal berikut :

1. Jenis material yang di gunakan pada dinding fender ialah mild steel SS400.
2. Jenis alminium foam yang di gunakan adalah close sell foam.
3. Perhitungan penyerapan energy masing masing model fender dengan penambahan aluminium foam dengan software ABAQUS CAE.
4. Pengujian menggunakan metode Quas Statik dengan kecepatan 1 m/s.
5. Pengujian dengan menggunakn Dyanimik Eksplisit dengan kecepatan 10 m/s.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini, diharapkan dapat memberikan informasi mengenai perbandingan penyerapan energi pada fender kapal berbahan mild steel dengan penambahan aluminium foam terhadap keselamatan pelayaran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Keselamatan Pelayaran

Keselamatan pelayaran Peraturan Safety Of Life At Sea (SOLAS) adalah peraturan yang mengatur keselamatan maritim paling utama dengan tujuan untuk meningkatkan jaminan keselamatan hidup di laut yang dimulai sejak 1914, mengingat, saat itu, di mana-mana banyak terjadi kecelakaan kapal yang menelan banyak korban jiwa. Pada tahap permulaan, dimulai dengan fokus pada peraturan kelengkapan navigasi, kekedapan dinding penyekat kapal serta peralatan berkomunikasi, kemudian berkembang pada konstruksi dan peralatan lainnya (Mudiyanto,2018).

Modernisasi peraturan SOLAS sejak 1960, adalah menggantikan Konvensi 1918 dengan SOLAS 1960. Sejak saat itu, peraturan mengenai desain untuk meningkatkan faktor keselamatan kapal mulai dimasukkan seperti: Desain konstruksi kapal, Permesinan dan instalasi listrik, Pencegah kebakaran, Alat-alat keselamatan, Alat komunikasi dan keselamatan navigasi (Mudiyanto,2018).

Adapun, usaha penyempurnaan peraturan tersebut dengan cara mengeluarkan peraturan tambahan (amandement) hasil konvensi IMO, yang dilakukan secara berturut-turut pada 1966, 1967, 1971 dan 1973. Namun, usaha untuk memberlakukan peraturan- peraturan tersebut secara internasional kurang berjalan sesuai dengan yang diharapkan, terutama karena hambatan prosedural, yaitu: diperlukannya persetujuan 2/3 dari jumlah negara anggota untuk meratifikasi peraturan dimaksud, ternyata sulit dicapai pada waktu yang diharapkan. Selanjutnya, pada rentang 1974, dibuat konvensi baru SOLAS 1974, yakni pada setiap amandemen diberlakukan sesuai target waktu yang sudah ditentukan, kecuali ada penolakan dari 1/3 jumlah negara anggota atau 50 % dari pemilik tonnage yang ada di dunia. (Suryani, Pratiwi, Sunarji, & Hendrawan, 2018).

Dalam pengoperasian kapal ditemukan banyak sekali pekerjaan-pekerjaan baik yang ringan maupun berat yang memiliki tingkat resiko kecelakaan kerja yang

cukup tinggi. Dalam penelitian ini penulis mengamati sering terjadinya kecelakaan kerja awak kapal, Dengan mengungkapkan faktor-faktor yang menjadi penyebab terjadinya kecelakaan pada awak kapal sewaktu bekerja, dan akibat yang timbul karena kecelakaan tersebut, serta upaya yang harus dilakukan untuk mengurangi resiko kecelakaan kerja bagi awak kapal. (Tjahjanto & Aziz, 2016)

2.2 Jenis-Jenis Alat Keselamatan

Perangkat keselamatan pada kapal terbagi menjadi dua yaitu active safety, dan passive safety. Perkembangan seperti kebijakan keselamatan pelayaran sangat penting saat ini. Kebanyakan perkembangan tersebut mengacu kepada passive safety, yaitu, perangkat yang dapat meminimalisir kerusakan yang terjadi pada kapal saat terjadi kecelakaan, sebagai kebalikan dari active safety, yang merupakan, perangkat pendukung yang dapat membuat kapal terhindar dari kecelakaan. (Harilaos, 2002)

2.3 Fender

Dalam perkapalan, Fender adalah bumper yang digunakan untuk meredam benturan yang terjadi pada saat kapal akan merapat ke dermaga atau pada saat kapal yang sedang ditambatkan tergoyang oleh gelombang atau arus yang terjadi di pelabuhan (Abidin Masagus Zainal dkk, 2018)

Untuk mampu melakukan peredaman, fender biasanya memiliki daya serap energi yang tinggi dan gaya reaksi yang rendah. Fender umumnya terbuat dari karet, foamelastomer, atau plastik. Jenis fender yang digunakan tergantung pada banyak variabel, antara lain ukuran dan berat kapal, *stand-off* maksimum yang diizinkan, struktur kapal, variasi pasang-surut, dan kondisi tempat tertentu lainnya. Ukuran fender didasarkan pada energi kapal saat berlabuh yang berhubungan dengan ketepatan kecepatan berlabuh (www.sispro.co.id, 2017).

2.4 Uji Impak

Uji impak adalah digunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Perbedaan dari pembebanan jenis ini dapat dilihat pada strain ratenya. Pada

pembebanan cepat atau disebut dengan beban impact, terjadi proses penyerapan energi yang besar dari energi kinetik suatu beban yang menumbuk ke benda uji.

Menurut Dieter, George E (1988) Dalam (Fajar Ismail) uji impact digunakan dalam menentukan kecenderungan material untuk rapuh atau ulet berdasarkan sifat ketangguhannya. Uji ini akan mendeteksi perbedaan yang tidak diperoleh dari pengujian tegangan regangan. Hasil uji impact juga tidak dapat membaca secara langsung kondisi perpatahan batang uji, sebab tidak dapat mengukur komponen gaya-gaya tegangan tiga dimensi yang terjadi pada batang uji. Hasil yang diperoleh dari pengujian impact ini, juga tidak ada persetujuan secara umum mengenai interpretasi atau pemanfaatannya.

Kepekaan terhadap patah getas adalah masalah besar pada konstruksi baja. Bila patah getas ini terjadi pada baja dengan daya tahan rendah, patahan tersebut dapat merambat dengan kecepatan sampai 2000 mm/detik, yang dapat menyebabkan kerusakan dalam waktu yang sangat singkat. Untuk menilai ketahanan material terhadap patah getas perlu adanya pengujian yang juga mempertimbangkan faktor-faktor dinamis yang dapat mempengaruhi patah getas antara lain kecepatan regang, takik, tebal pelat, tegangan sisa dan lain-lain. Ketangguhan (impact) merupakan ketahanan bahan terhadap beban kejut. Inilah yang membedakan pengujian impact dengan pengujian tarik dan kekerasan dimana pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan. (Jumadi dkk, 2017)

2.5 Crashworthiness

Crashworthiness adalah bagian penting dalam mendesain kendaraan. Pada saat terjadi kecelakaan, sebuah kendaraan dirancang untuk menyerap energi dari dampak tabrakan. Ini bertindak sebagai perlindungan terhadap Penumpang di dalam kendaraan dari selama kecelakaan (Tan Sze pei dkk 2017)

2.6 Parameter Crush

Menurut (Tan Sze Pei dkk 2017) Beberapa indikator kinerja telah dikembangkan untuk mengevaluasi efektivitas suatu diberikan komponen perangkat penyerap energi untuk aplikasi crashworthiness. Energi yang ideal

penyerap akan mampu mencapai beban maksimum dengan segera dan mempertahankannya untuk seluruh panjang komponen. Tujuan untuk merancang perangkat penyerap energi yang efisien adalah untuk: maksimum stroke, memiliki beban rata-rata setara dengan beban puncak, dan memiliki tinggi kemampuan penyerapan energi tertentu. Parameter ini didefinisikan sebagai berikut:

2.6.1 Beban Puncak atau Maksimum (F_{maks})

Beban maksimum diperlukan untuk mengetahui penyebab deformasi permanen yang signifikan dan distorsi pada suatu komponen. Hal ini penting dalam parameter crashworthiness karena dua alasan. Pertama, selama tumbukan berkecepatan rendah dan energi rendah, diharapkan tidak ada yang permanen deformasi terjadi, karena ini akan dianggap kerusakan pada struktur. Kedua, beban puncak sering kali merupakan beban maksimum yang diamati pada langkah yang berguna dari perangkat penyerap energi karena itu memiliki pengaruh langsung pada pemuatan penumpang di dalam kendaraan (Tan Sze pei dkk 2017).

2.6.2 Penyerapan Energy Absorption (SEA)

SEA atau penyerapan energi spesifik menunjukkan energi total yang diserap dalam tumbukan (Total Energy Absorption, TEA), dalam menghancurkan struktur sama dengan area di bawah kurva perpindahan beban. Dimana, (Tarlochan, 2007) dalam (Pei, Tan Sze, dkk 2017).

$$TEA = \int_0^{\delta} F d\delta$$

Oleh karena itu, penyerapan energi spesifik didefinisikan sebagai energi yang diserap persatuan massa material seperti yang diberikan dalam persamaan 2.

$$SEA = \frac{TEA}{m}$$

Keterangan :

TEA : Total energy serap (Joule)
F : Energi serap (N)
 δ : Jarak tempuh tekan (mm)
SEA : Energi serap spesifik (kJ/kg)
 m : massa tertekan (kg)

2.6.3 Average Crush Load

Average crush load juga dikenal sebagai beban rata-rata. Mean crush load (F_{mean}) didefinisikan sebagai energi yang diserap dibagi dengan jarak tempuh (ΔL). (Johnson, 1977) dalam (Pei, Tan Sze,dkk 2017).

$$F_{\text{mean}} = \frac{\text{TEA}}{\Delta L}$$

Ini adalah rasio energi yang diserap pada jarak tekan pada tabung yang diuji secara ditekan.

Keterangan:

F_{mean} : Gaya rata-rata (kN)
TEA : Total energy serap (Joule)
 ΔL : Jarak tempuh tekan (mm)

2.6.4 Crush Force Efficiency (CFE)

Rata-rata dan beban puncak adalah parameter penting yang harus ditentukan karena berkaitan langsung dengan perlambatan yang akan dialami oleh penghuni dalam kendaraan. Cara terbaik untuk mengukur ini adalah dengan menentukan rasio antara beban rata-rata dengan beban puncak. Dan rasio ini

adalah efisiensi gaya tekan. Dalam penyerapan energi yang ideal ialah yang memiliki nilai crush force efficiency (CFE) sama atau hampir sama dengan 100% (Vinayagar & Senthil Kumar, 2017) dalam (Musyafriadi,2021).

$$CFE = \frac{F_{\text{mean}}}{F_{\text{peak}}} \times 100\%$$

Keterangan:

CFE : Gaya tekan efisiensi (%)

F_{mean} : Gaya rata-rata (kN)

F_{maks} : Gaya maksimum (kN)

2.7 Aluminium Foam

Pembuatan aluminium *foam* pertama kali dilakukan oleh benjamin sosnick pada tahun 1943. Hasil penelitian berupa mendispersikan gas kedalam aluminium padat dengan bantuan unsur merkuri (Hg) menggunakan bejana bertekanan tinggi. Dengan bantuan tekanan tinggi. Penguapan Hg terjadi bersamaan saat temperatur leleh aluminium sehingga menyebabkan pembentukan *foam* . (Shaik, 2010) dalam (Musyafriadi,2021). Aluminium *foam* Material ini memiliki daya serap energi yang tinggi dengan berat jenis rendah dan sangat baik sehingga material ini telah diterapkan dalam industri otomotif (akustik dan peredam getaran), industri kedirgantaraan sebagai komponen struktural di turbin, dalam industri angkatan laut sebagai peredam getaran frekuensi rendah, dan di industri konstruksi sebagai hambatan suara dalam terowongan dan sebagai bahan pelidung kebakaran dan sistem perlindungan struktur terhadap ledakan.

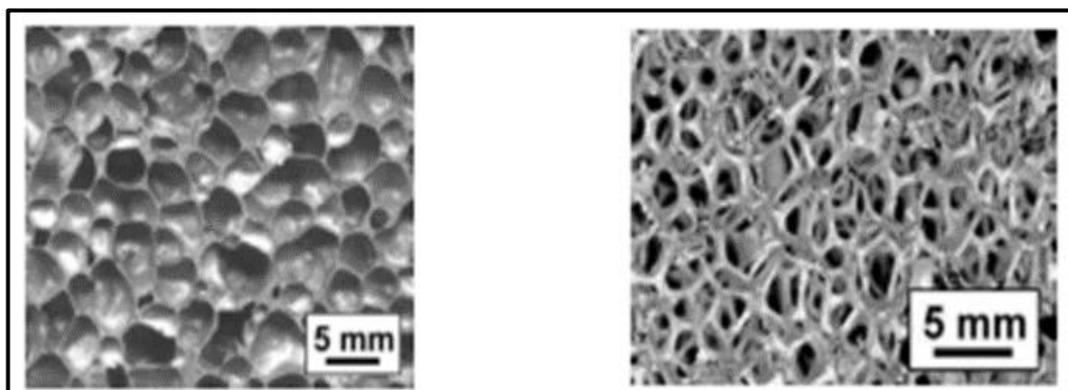
Tabel 1.1 Karakteristik Aluminium Foam
(Degischer, 2002)

Tensile Strength	1,24 MPa
Shear Strength	1,31 MPa
Density	0.45 gram/cm ³
Modulus Of Elasticity	625 Mpa
Shear Modulus	199,95 MPa

Vickers Pyramid Number	35 HV
Specific Heat	0,895 J/g-c
Bulk Thermal Conductivity	5,8 W/m-c
Coefficient of Thermal Expansion	$23,58 \times 10^{-6}$ m/m-c
Bulk Resistivity	$7,2 \times 10^{-5}$ ohm - cm
Melting Point	660° c

Porositas didefinisikan sebagai persentase ruang kosong dalam padatan (Ashby et al., 2000) dalam (Musyafriadi,2021). Bahan berpori juga sering disebut sebagai padatan seluler (cellular solid), yang berarti gabungan sel/kompartemen/rongga dengan tepi padat atau sisi permukaan tertutup atau terbuka. Bahan-bahan ini sangat umum di alam, contoh : kayu, gabus, spons dan karang. Aluminium *foam* dengan struktur seluler terkenal kombinasi yang menarik yang sifat fisik dan mekanik, seperti konduktivitas panas yang tinggi, berat jenis yang rendah dan permeabilitas tinggi. Berdasarkan bentuk rongganya, *metallic foam* dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu:

1. *Foam* rongga tertutup (*closed cell*), yaitu rongga-rongga yang terbentuk terisolasi dan antar rongga tidak saling berhubungan.
2. *Foam* rongga terbuka (*open cell*), yaitu rongga-rongga yang terbentuk saling berhubungan dan kontinu.



Gambar 1.1 Foam rongga tertutup dan Foam rongga terbuka
(Degischer, 2002)

Aluminium Foam sering digunakan sebagai bahan pengisi dalam struktur ringan yang mengalami benturan dan dampak kecepatan tinggi atau sebagai alat isolasi termal atau akustik. Foam rongga tertutup, khususnya foam Al-alloy, menunjukkan tegangan konstan dimana dapat menyerap tingkat energi yang lebih tinggi daripada Aluminium padat. foam ini menunjukkan tekanan respon elastis selama pemberian dampak. Sebagian besar energi yang diserap tidak dapat diubah menjadi energi deformasi plastik, sehingga menjadi keuntungan lain dari aluminium foam (Degischer, 2002) dalam (Musyafriadi,2021).

Perilaku crashworthiness yang dimiliki oleh aluminium foam memiliki kepentingan mendasar dalam desain keselamatan kendaraan karena keruntuhan plastik mereka adalah mekanisme yang digunakan untuk menghilangkan energi kinetik kendaraan dengan cara yang dapat dikendalikan. Mekanisme keruntuhan plastik harus dapat diandalkan dan evolusinya selama arah yang menyebabkan penyerap energi berubah bentuk sebagai kombinasi dari kedua modulus keruntuhan lentur aksial dan global. Mode ini umumnya tidak stabil dengan pengurangan terkait kapasitas penyerapan energi dari struktur tubular. Kehadiran bahan foam dalam struktur ini tampaknya meningkatkan stabilitas dari dampak tabrakan (Li, 2012) dalam (Musyafriadi, 2021).

Dengan menggunakan metal foam sebagai material pengisi diharapkan keuletan dari bagian dinding tipis dapat dioptimalkan tanpa harus meningkatkan berat perangkat secara signifikan. Ketika sebuah struktur dengan dinding tipis yang kemudian diisi penuh dengan metal foam sebagai inti, maka sebuah interaksi antara material pengisi dan struktur dengan dinding tipis struktur diharapkan akan menghasilkan beberapa karakteristik yang bermanfaat untuk permasalahan pada tabrakan dan sifat pada penyerapan energi, karena secara harfiah penekanan dan lipatan pada material pada kondisi ini selama tabrakan gaya aksial menjadi terbatas. Dalam beberapa dekade terakhir, metal foam seperti aluminium foam telah banyak dikembangkan sebagai rekayasa material yang sangat ringan. Material ini memiliki sifat mekanikal yang unik, dimana dapat menahan tegangan deformasi yang besar sementara material ini hanya memiliki tegangan konstan yang kecil. Salah satu

aplikasi dari material ini adalah sebagai suatu struktur yang menyerap energi. Pengisian struktur dengan metal foam berbahan aluminium dapat meningkatkan sifat penyerapan energi dan menstabilkan proses lekukan pada struktur. Sebuah efisiensi yang begitu besar pada berat telah diperoleh dari pengkombinasian antara struktur dengan dinding yang tipis dan diisi dengan metal foam sebagai inti, seperti yang dipelajari secara perhitungan oleh Santosa dkk (2000) dalam ((Musyafriadi,2021).

Pada penelitian yang lain, diungkapkan mengenai analisa tentang struktur yang telah diisi dengan metal foam dan diberikan interaksi gaya dorongan aksial. Rata-rata kemampuan menahan gaya tabrakan yang dihasilkan dari struktur yang telah diisi metal foam lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata kemampuan menahan gaya tabrakan yang dihasilkan dari masing-masing yang hanya metal foam ataupun struktur berdinding tipis saja, yang mana dikondirmasi oleh Kavi dkk (2006.) dalam ((Musyafriadi,2021).

Sebuah investigasi pada percobaan dengan pembebanan quasi-static mengenai struktur dengan dinding ganda yang terisi dengan metal foam dengan material, dimensi dan bentuk struktur yang berbeda-beda, pernah diteliti oleh Seitzberger dkk (2000) dalam ((Musyafriadi,2021). Hasil dari percobaan tersebut menampilkan bahwa struktur dengan dinding ganda yang terisi dengan metal foam adalah sebuah perangkat yang efisien dalam menyerap energy.

2.8 Metode Elemen Hingga

Susatio (2004) dalam ((Musyafriadi,2021). menyatakan bahwa metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis. Tipe masalah teknis dan matematika yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga terbagi dalam dua kelompok, yaitu kelompok analisis struktur dan kelompok masalah non-struktur. Masalah analisis struktur, meliputi analisis tegangan, buckling, dan analisis getaran. Sedangkan masalah non-struktur antara lain adalah perpindahan panas dan massa, mekanika fluida, serta distribusi dari potensial listrik. Menurut Purba dan Tarigan

(2012), dalam ((Musyafriadi,2021). persoalan yang menyangkut geometri yang rumit terhadap struktur yang kompleks, pada umumnya sulit dipecahkan melalui matematika analisis.

Formulasi dari metode elemen hingga dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini. Akibat adanya beban pada balok, akan mengakibatkan lendutan. Permasalahan ini dapat ditinjau dan diselesaikan dengan menghitungnya secara elemen hingga. Konsep yang mendasari metode elemen hingga menurut Bargess dkk (2009) dalam Widyawaty (2016) adalah prinsip discretization.

Dikritisasi (discretization) merupakan proses pemodelan dari suatu objek dengan membagi kedalam elemen-elemen kecil (finite elemen) yang dihubungkan oleh titik-titik (nodes) yang digunakan oleh elemen-elemen tersebut dan juga sebagai batasan dari objek tersebut. Didalam metode elemen hingga persamaan yang diperoleh dari seluruh sistem kemudian dibentuk dari penggabungan persamaan elemen-elemennya. Misalnya, untuk masalah struktur penyelesaian yang diperoleh digunakan untuk mencari besarnya deformasi (displacement) pada tiap titik (nodes) pada suatu objek, kemudian digunakan untuk memperoleh nilai besar tegangan (stress) dan regangan (strain). Untuk masalah bukan struktur. (etsworlds.id, 2018) dalam (zulfhis, 2021).

Analisis elemen hingga dan desain optimasi yang dilakukan untuk menganalisa respon kuasi statis. Dalam investigasi kemampuan crashworthiness, beberapa aspek dipertimbangkan untuk variasi parameter geometri tabung dan kondisi pembebanan untuk menyelidiki kemampuan crashworthiness. (Fauzan, 2016) dalam (zulfis, 2021)

Pengembangan pengujian simulasi numerik ini menggunakan Impact Transferability yang berfungsi untuk meneruskan gaya aksial dinamik yang terjadi saat tabrakan dimana mengoptimalkan hasil crashworthiness dengan pengujian eksperimental. Impact Transferability ini juga dapat dimodelkan sebagai ruang penumpang yang mempunyai kekakuan yang cukup tinggi dan dapat melindungi

penumpang saat tabrakan. Dionisius, F. Istiyanto, J., Suliono., & Rohmat, Y.N. (2016).

Cara kerja Impact Transferability adalah meneruskan gaya yang diberikan impaktor dimana mengakibatkan terjadinya deformasi pada specimen. Dari penjelasan sebelumnya dimana Impact Transferability mempunyai 2 bagian, maka permodelan elemen hingga hanya menyangkut impaktor, aktuator dan spesimen yang diberikan fix support. Untuk masalah struktur penyelesaian yang didapat adalah deformasi (displacement) pada setiap nodes yang selanjutnya dapat digunakan untuk mendapatkan besaran teganga (strain) dan regangan (stress).

Menurut Zulfis, 2021 Notasi matriks gaya dinyatakan dalam $\{F\} = \underline{F}$ dan matriks displacement dalam $\{d\} = \underline{d}$

$$\{F\} = \begin{Bmatrix} F_{1x} \\ F_{1y} \\ F_{1z} \\ F_{2x} \\ F_{2y} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{nx} \\ F_{ny} \\ F_{nz} \end{Bmatrix}; \quad \{d\} = \begin{Bmatrix} d_{1x} \\ d_{1y} \\ d_{1z} \\ d_{2x} \\ d_{2y} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ d_{nx} \\ d_{ny} \\ d_{nz} \end{Bmatrix}$$

Matriks kekakuan dinyatakan dalam $[k]$ dan matriks kekakuan global sistem struktur dinyatakan dalam $[K]$

$$[k] = \underline{k} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix}; \quad [K] = \underline{K} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{nn} \end{bmatrix}$$

Sehingga, persamaan dalam sistem struktur dinyatakan dalam;

$$\underline{F} = \underline{K} \underline{d}$$

2.5.1 Istilah dalam Metode Elemen Hingga

Beberapa istilah-istilah yang digunakan dalam analisis struktur yang digunakan dalam metode elemen hingga yang dijelaskan oleh Katili (2008) dalam ((Musyafriadi,2021). adalah sebagai berikut.

1. Beban

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

2. Gaya Nodal Struktur

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

3. Gaya Nodal Elemen

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

4. Peralihan Nodal

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

5. Nodal Struktur

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

6. Nodal Elemen

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

7. Elemen Struktur

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

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

1. Pembagian kontinum menjadi sejumlah elemen (sub-region) yang berhingga dengan geometri yang sederhana (segitiga, segiempat, dan lain sebagainya).
2. Pada titik-titik elemen yang diperlakukan sebagai titik nodal, dimana syarat keseimbangan dan kompatibilitas dipenuhi.
3. Asumsi fungsi peralihan pada setiap elemen dibuat sedemikian rupa sehingga peralihan pada setiap titik sembarang dipengaruhi oleh nilai- nilai titik nodalnya.
4. Pada setiap elemen khusus yang dipilih terkait harus memenuhi syarat hubungan regangan peralihannya dan hubungan tegangan-regangannya.
5. Penentuan kekakuan dan beban titik nodal ekuivalen untuk setiap elemen dengan menggunakan prinsip usaha atau energi.
6. Turunan persamaan keseimbangan untuk mencari peralihan titik nodal.

7. Persamaan keseimbangan untuk mencari peralihan titik nodal.
8. Hitungan tegangan von mises pada titik tertentu pada elemen terkait.
9. Penentuan reaksi letak pada titik nodal yang tertahan bila diperlukan.

Beberapa kelebihan dalam penggunaan metode elemen hingga menurut Susatio (2004) dalam ((Musyafriadi,2021). antara lain adalah:

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

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

2.9 Software ABAQUS CAE

Software ABAQUS CAE adalah paket program simulasi rekayasa yang kuat, didasarkan pada metode elemen hingga, yang dapat memecahkan masalah mulai dari analisis linier relative sederhana sampai simulasi nonlinier yang paling menantang. Program ABAQUS CAE berisi perpustakaan yang luas dari unsur-unsur yang dapat memodelkan hampir semua geometri apapun. Program ini memiliki daftar yang sangat luas dari model material yang dapat mensimulasikan perilaku sebagian besar bahan rekayasa, termasuk logam, karet, polimer, komposit, beton bertulang, busa yang lentur dan kuat, dan bahan geoteknik seperti tanah dan batuan.

ABAQUS CAE menawarkan berbagai kemampuan untuk simulasi aplikasi linier dan nonlinier. Permasalahan dengan beberapa komponen dimodelkan dengan mengaitkan geometri masing-masing komponen dengan model bahan yang sesuai dan menentukan interaksi komponen. Dalam analisis nonlinier, ABAQUS CAE otomatis memilih penambahan beban yang tepat dan toleransi konvergensi dan terus menyesuaikan mereka selama analisis untuk memastikan bahwa solusi yang akurat dan efisiensi diperoleh. (Simulia Corp, 2011)

Ada beberapa perangkat lunak umum di pasaran saat ini digunakan untuk simulasi dinamis kendaraan. ABAQUS CAE adalah salah satu dari beberapa perangkat lunak besar kode FE di pasaran saat ini untuk memecahkan masalah dalam multiphysics, yang termasuk cairan, termal, mekanik, kopling listrik dan sebagainya.

2.9.1 Tahapan Menjalankan Program ABAQUS CAE

Dalam ABAQUS CAE “Getting Strateed with ABAQUS CAE, Interactive Edition”, dijelaskan bahwa untuk menganalisis sampai selesai dengan program ABAQUS biasanya melalui tiga tahap yang berbeda yaitu proses awal, simulasi dan proses akhir.

1. Proses Awal (Preprocessing)

Pada bagian ini kita mulai menentukan model awal yang akan dilakukan analisis. Pemodelan part dilakukan dalam software ABAQUS CAE dengan memasukkan geometri yang telah kita ketahui sebelumnya. Dalam menggambarkan model, kita bisa menentukan koordinat sistem yang akan dibuat. Sebelum dilakukan simulasi kita harus memeriksa semua keyword dan parameter yang digunakan sehingga tidak terjadi kesalahan. Selain itu urutan dalam memasukkan data harus kita perhatikan dengan benar.

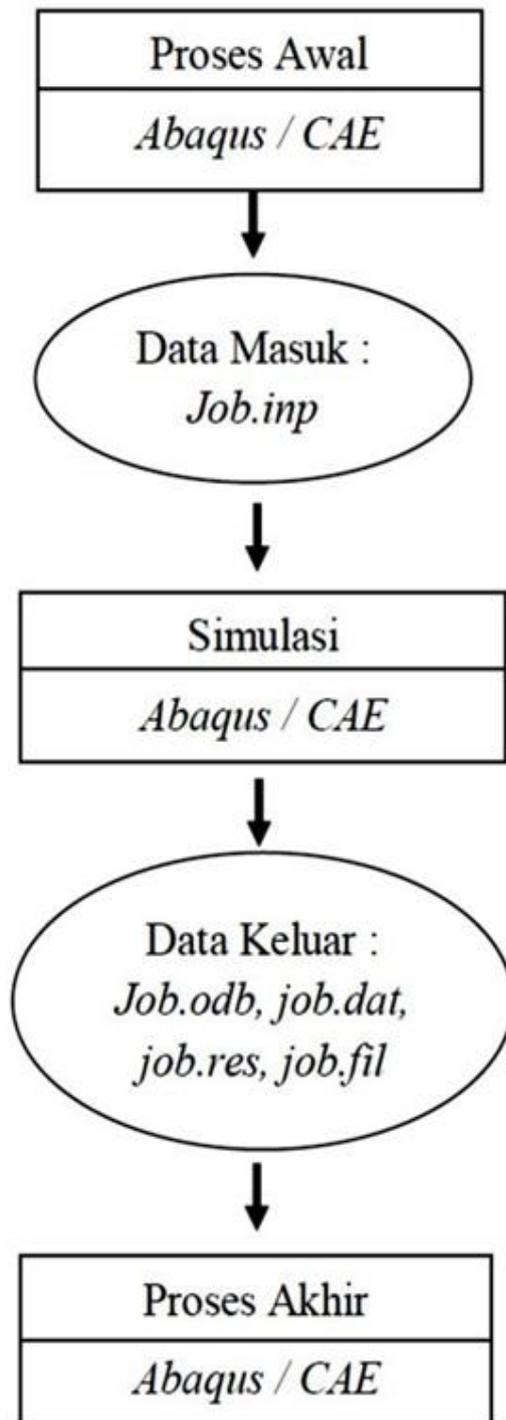
2. Simulasi (Simulation)

Simulasi yang biasanya dijalankan sebagai pengantar proses adalah tahap dimana program ABAQUS CAE memulai proses untuk melakukan pemecahan masalah numerik yang diidentifikasi dalam model. Sebagai contoh, keluaran dari stress analisis termasuk perpindahan dan tekanan yang disimpan dalam berkas biner untuk proses akhir.

3. Proses Akhir (*Post Processing*)

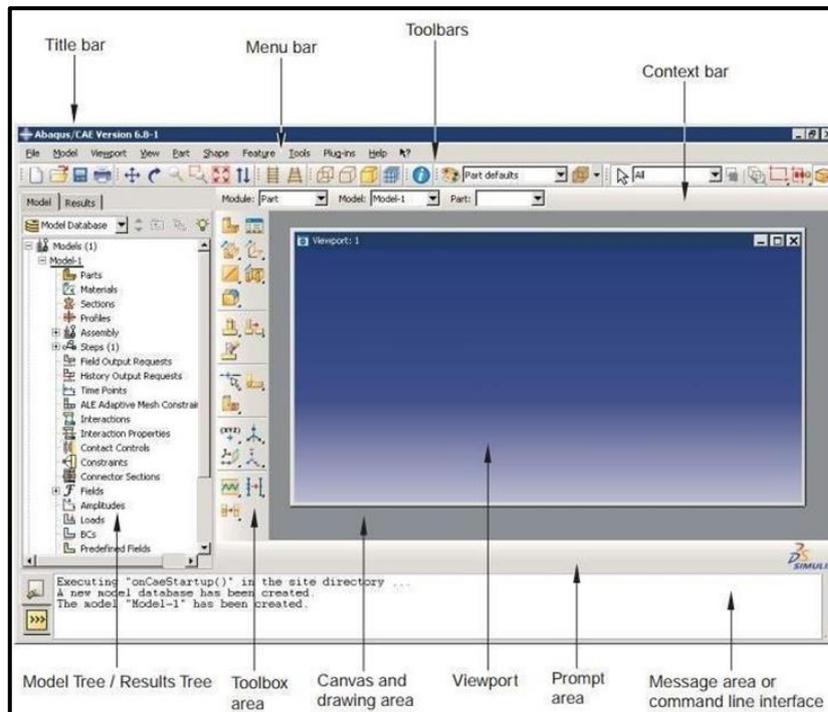
Pada proses akhir kita dapat mengambil kesimpulan dari hasil simulasi yang sudah selesai pada perpindahan, gaya atau variable lainnya yang sudah di dilakukan perhitungan. Hasil akhir biasanya dibuat dalam suatu laporan atau sebuah catatan.

Kemudian dari ketiga tahap tersebut dihubungkan sehingga menjadi seperti Gambar 2.2.



Gambar 1.2 Tahapan menjalankan program ABAQUS CAE

2.9.2 Komponen Pada Windows Utama ABAQUS CAE



Gambar 1.3 Komponen pada windows utama program ABAQUS CAE
(Sumber :ABAQUS CAE handout)

Keterangan komponen pada *software* ABAQUS CAE :

1. Title Bar

Title bar menunjukkan versi dalam *ABAQUS CAE* kita melakukan sedang kita gunakan dan juga menunjukkan judul dari file yang kita buat atau kita gunakan

2. Menu Bar

Menu bar berisi semua menu yang tersedia, menu ini memberikan akses ke semua fungsi dalam produk.

3. Toolbars Tools

Toolbars Tools ini memberikan akses cepat yang tersedia pada menu Context Bar Dalam konteks bar memungkinkan kita untuk berpindah antar modul serta mengambil bagian yang sudah ada ketika membuat geometri model.

4. *Model Tree / Result Tree Model Tree*

menyediakan grafik sebagai *review* dari model objek dari masing-masing bagian, material, langkah, pembebanan. *Results Tree* memberikan grafik dari output data base dan Spesifik data hasil plot x-y.

5. *Toolbox Area*

Toolbox area ini Memungkin akses cepat ke banyak fungsi modul yang tersedia. g. *Canvas and Drawing Area* *Canvas and drawing area* adalah tempat atau lokasi untuk area gambar.

6. *Viewport*

Viewport adalah jendela di area gambar di mana ABAQUS CAE menampilkan model yang telah dibuat.

7. *Prompt Area*

Prompt area berfungsi untuk menampilkan petunjuk atau panduan yang telah kita lakukan pada *software* ABAQUS CAE.

8. *Message Area or Command Line Interface*

Pada bagian ini ABAQUS CAE akan memunculkan informasi dan peringatan yang terjadi jika ada informasi atau kesalahan.