

**SKRIPSI**

**ANALISIS KEKUATAN IMPAK FENDER PADA KAPAL LAUT  
DENGAN VARIASI PENAMPANG MENGGUNAKAN METODE  
ELEMEN HINGGA BERBASIS *SOFTWARE* ABAQUS**

**Oleh:**

**ZA`IM UKHRAWI**

**D21116304**



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2021**

SKRIPSI

**ANALISIS KEKUATAN IMPAK FENDER PADA KAPAL LAUT  
DENGAN VARIASI PENAMPANG MENGGUNAKAN METODE  
ELEMEN HINGGA BERBASIS *SOFTWARE* ABAQUS**

**Oleh:**

**ZA`IM UKHRAWI**

**D21116304**

**Disusun dalam rangkai memenuhi salah satu persyaratan  
Untuk menyelesaikan program Strata-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Gowa**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2021**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS KEKUATAN IMPAK FENDER PADA KAPAL LAUT DENGAN VARIASI  
PENAMPANG MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA BERBASIS  
SOFTWARE ABAQUS**

**Disusun dan diajukan oleh**

**ZA'IM UKHRAWI**

**D21116304**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada Tanggal 23 Februari 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping



Fauzan, ST., MT., Ph.D

NIP. 19770103 200801 1 009



Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT

NIP. 195709141 98703 1 001

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, S.T., M.T.

NIP. 19720825 200003 1 001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : ZA'IM UKHRAWI

NIM : D211 16 304

Program Studi : TEKNIK MESIN

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**ANALISIS KEKUATAN IMPAK FENDER PADA KAPAL LAUT DENGAN  
VARIASI PENAMPANG MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA  
BERBASIS SOFTWARE ABAQUS**

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

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

Makassar, 23 Februari 2021



ZA'IM UKHRAWI

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kepada kehadiran Allah SWT atas anugerah, taufik, hidayah dan inayah-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga skripsi dengan judul “**Analisis Kekuatan Impak Fender Pada Kapal Laut Dengan Variasi Penampang Menggunakan Metode Elemen Hingga Berbasis *Software Abaqus***” ini dapat diselesaikan pada tepat waktunya. Shalawat serta salam atas junjungan Nabiullah Muhammad SAW, panutan yang telah membawa kita dari zaman kuda berkaki empat hingga kuda beroda empat. Skripsi ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Semoga adanya skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi khazanah pengetahuan ilmu teknik mesin untuk pengembangan keilmuan di Departemen Teknin Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak selama menyelesaikan skripsi ini, skripsi ini tidak akan mungkin dapat penulis selesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan rasa hormat dan terimakasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Sakibe Paronda, S.Pd dan Darmiyati Demma, S.S serta saudara(i), Abdullah Arhab, Amd.T, Isyraq Shalihah, Masyail Mahrusah, Uways Al-Qarni, dan Khaulah Radhwa Wajidah yang selalu mendampingi dan mendoakan.
2. Dr.Eng Jalaluddin, ST., MT., selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

3. Fauzan, ST., MT., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu, arahan, dan masukan ditengah kesibukannya untuk proses pengerjaan skripsi ini.
4. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT., selaku Dosen Pembimbing II yang juga telah memberikan waktu, arahan, dan masukan selama proses pengerjaan skripsi ini.
5. Dr.Eng Andi Amijoyo Mochtar, ST., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan ilmu-ilmu dan nasehat.
6. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Departemen Teknik Mesin atas bimbingan dan arahan, didikan, serta motivasi yang telah diberikan selama empat tahun terakhir ini.
7. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuannya selama penulis menempuh perkuliahan terutama kepada staf Departemen Teknik Mesin Kak Suri, Pak Iwan, dan Pak Mansur.
8. Teman-teman seperjuangan COMPREZZOR 2016 yang telah menjadi saudara selama di bangku perkuliahan.
9. Padamu, pemilik hati yang tak pernah kumiliki. Yang hadir sebagai bagian dari kisah hidupku.
10. Dan kepada sahabat Centro Real, BEBAS, moveonboiclub, sobat Polewali dan berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, penulis ucapkan terimakasih atas kehangatan, bantuan, dan doa yang diberikan.

Penulis sadar bahwa penulisan skripsi ini masih belum sempurna. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak.

Makassar, 27 November 2020

Penulis,

**ZA`IM UKHRAWI**

## ABSTRAK

**ZA`IM UKHRAWI.** *Analisis Kekuatan Impak Fender Pada Kapal Laut Dengan Variasi Penampang Menggunakan Metode Elemen Hingga Berbasis Software Abaqus* (dibimbing oleh **Fauzan, ST., MT., Ph.D**, dan **Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT**)

Tubrukan kapal memberi dampak yang cukup signifikan terhadap kekuatan struktur kapal yang erat hubungannya dengan keamanan kapal. Peraturan keselamatan pelayaran atau 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. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tegangan hasil impact, dan kemampuan menyerap energi pada fender kapal berbahan aluminium.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode simulasi komputerisasi dengan bantuan *software* Abaqus untuk mendapatkan kekuatan optimum. Simulasi komputerisasi ini dilakukan dengan pemodelan pada *software* Abaqus dengan 8 variasi model penampang. Aluminium yang digunakan ialah Aluminium 2024 dengan ketebalan 8 mm.

Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan aluminium pada fender dengan variasi penampang menghasilkan nilai tegangan yang bervariasi, namun tegangan maksimum diperoleh dari variasi penampang 02 yaitu sebesar 443.6 MPa. Penyerapan energi paling besar terdapat pada fender aluminium dengan variasi penampang 04 dengan nilai yang cukup besar yaitu 11,059.40 Joule.

Kata kunci: Fender kapal, impact, penyerapan energi, ABAQUS CAE

## **ABSTRACT**

**ZA`IM UKHRAWI.** *Analysis of Fender Impact Strength on Marine Ships with Cross Section Variations Using Finite Element Method Based on Abaqus Software (supervised by Fauzan, ST., MT., Ph.D, and Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT)*

*Ship collisions have a significant impact on the strength of the ship's structure which is closely related to ship safety. The safety of life at sea (SOLAS) regulation is a regulation that regulates maritime safety primarily with the aim of increasing the safety of life at sea which began in 1914, given that, at that time, there were many ship accidents that swallowed a lot of people. fatalities. This research aims to analyze the impact stress, and the ability to absorb energy on aluminum ship fenders.*

*The method which used in this research is using a computerized simulation method with Abaqus software to obtain optimum strength. This computerized simulation is carried out by modeling the 8 variations of the cross section on the Abaqus software. The aluminum which used is Aluminim Alloy 2024 with a 8 mm thickness.*

*The results of the analysis show that by using an aluminum on the fenders with a variation of the cross-section results in a varied stress value, but the maximum stress is obtained from the variation of section 02, which is 443.6 MPa. The greatest energy absorption is found in aluminum fenders with a variation of the cross section 04 with a fairly large value, which is 11,059.40 Joules.*

*Keywords: Ship fender, impact, energy absroption, ABAQUS CAE*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	viii
<b><i>ABSTRACT</i></b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Tujuan</b> .....	4
<b>1.4 Manfaat</b> .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Keselamatan Pelayaran</b> .....	5
<b>2.2 Fender</b> .....	6
<b>2.3 Uji Impak</b> .....	7

2.4	Parameter <i>Crush</i> .....	9
2.5	Metode Elemen Hingga .....	11
2.6	<i>Software</i> Abaqus CAE.....	16
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>		<b>21</b>
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	21
3.2	Alat dan Bahan .....	21
3.3	Metode Penelitian .....	24
3.4	Langkah Pembuatan Model .....	24
3.5	Jadwal Penelitian.....	41
3.6	Diagram Alir Penelitian .....	42
<b>BAB IV HASIL PEMBAHASAN .....</b>		<b>43</b>
4.1	Hasil Uji Tarik.....	43
4.2	Hasil Simulasi Pembebanan Aksial.....	44
4.3	Validasi Model Abaqus CAE.....	58
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>62</b>
5.1	Kesimpulan .....	62
5.2	Saran .....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>63</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi spesimen uji tarik aluminium .....	22
<b>Tabel 3.2</b> Jadwal Penelitian .....	41
<b>Tabel 4.1.</b> Tegangan maksimum Von Moises dari vairasi penampang .....	53
<b>Tabel 4.2.</b> Parameter penyerapan energi pada fender dengan variasi penampang .....	54
<b>Tabel 4.3.</b> Perbandingan antara pengujian sebelumnya dengan simulasi Abaqus.....	60

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Kapal kecil dengan fender baja yang utuh .....	2
<b>Gambar 1.2</b> Fender baja kapal yang rusak.....	2
<b>Gambar 2.1</b> Tahapan menjalankan program Abaqus .....	18
<b>Gambar 2.2</b> Komponen pada windows utama program ABAQUS (Sumber : ABAQUS handout).....	19
<b>Gambar 3.1</b> Alat Uji Tarik .....	21
<b>Gambar 3.2</b> Spesimen Uji Tarik.....	22
<b>Gambar 3.3</b> standar ASTM E8M .....	22
<b>Gambar 3.4</b> Abaqus CAE.....	23
<b>Gambar 3.5</b> Model variasi penampang.....	24
<b>Gambar 3.6</b> Tampilan part pada Abaqus CAE .....	25
<b>Gambar 3.7</b> Spesifikasi part Lower plate (kiri), dan Top plate (kanan).....	26
<b>Gambar 3.8</b> Dimensi lengkap Top plate.....	26
<b>Gambar 3.9</b> Dimensi lengkap Fender aluminium .....	27
<b>Gambar 3.10</b> Dimensi lengkap Lower plate.....	28
<b>Gambar 3.11</b> Part-part yang sudah digabungkan.....	29
<b>Gambar 3.12</b> Tampilan global seeds pada Abaqus CAE Kemudian klik apply dan selanjutnya konfigurasi sesuai Gambar 3.13 .....	30
<b>Gambar 3.13</b> Tampilan mesh control pada Abaqus CAE Kemudian kembali pada module: mesh dan mesh part .....	30

<b>Gambar 3.14</b>	<i>Tampilan panel interaction pada Abaqus CAE .....</i>	<b>31</b>
<b>Gambar 3.15</b>	<i>Tampilan panel Create interaction pada Abaqus CAE .....</i>	<b>31</b>
<b>Gambar 3.16</b>	<i>Tampilan panel Edit interaction pada Abaqus CAE .....</i>	<b>32</b>
<b>Gambar 3.17</b>	<i>Tampilan panel Contact property pada Abaqus CAE .....</i>	<b>32</b>
<b>Gambar 3.18</b>	<i>Tampilan panel boundary condition-1 pada Abaqus CAE .....</i>	<b>33</b>
<b>Gambar 3.19</b>	<i>Tampilan panel boundary condition-2 pada Abaqus CAE .....</i>	<b>34</b>
<b>Gambar 3.20</b>	<i>Tampilan panel predefined fields pada Abaqus CAE .....</i>	<b>35</b>
<b>Gambar 3.21</b>	<i>Tampilan panel field output request (stresses) pada Abaqus CAE .....</i>	<b>36</b>
<b>Gambar 3.22</b>	<i>Tampilan panel field output request (strain) pada Abaqus CAE .....</i>	<b>36</b>
<b>Gambar 3.23</b>	<i>Tampilan panel field output request (diplacement) pada Abaqus CAE .....</i>	<b>37</b>
<b>Gambar 3.24</b>	<i>Tampilan panel field output request (forces) pada Abaqus CAE .....</i>	<b>37</b>
<b>Gambar 3.25</b>	<i>Tampilan panel field output request (contact) pada Abaqus CAE .....</i>	<b>38</b>
<b>Gambar 3.26</b>	<i>Tampilan panel field output request (volume) pada Abaqus CAE .....</i>	<b>38</b>
<b>Gambar 3.27</b>	<i>Tampilan panel history output request (energy) pada Abaqus CAE .....</i>	<b>39</b>
<b>Gambar 3.28</b>	<i>Tampilan panel step pada Abaqus CAE .....</i>	<b>39</b>
<b>Gambar 3.29</b>	<i>Tampilan panel job pada Abaqus CAE .....</i>	<b>40</b>
<b>Gambar 3.30</b>	<i>Tampilan panel job manager pada Abaqus CAE .....</i>	<b>40</b>
<b>Gambar 3.31</b>	<i>Diagram alir penelitian .....</i>	<b>42</b>
<b>Gambar 4.1</b>	<i>Kurva hasil uji tarik .....</i>	<b>43</b>
<b>Gambar 4.2</b>	<i>Skematik pembebanan aksial .....</i>	<b>44</b>
<b>Gambar 4.3</b>	<i>Hasil simulasi pembebanan aksial .....</i>	<b>46</b>

<b>Gambar 4.4</b> Grafik displacement-waktu dengan pembebanan aksial dengan variasi penampang .....	47
<b>Gambar 4.5</b> Grafik displacement-waktu dengan pembebanan aksial dengan variasi 01	48
<b>Gambar 4.6</b> Grafik displacement-waktu dengan pembebanan aksial dengan variasi 02	48
<b>Gambar 4.7</b> Grafik displacement-waktu dengan pembebanan aksial dengan variasi 03	49
<b>Gambar 4.8</b> Grafik displacement-waktu dengan pembebanan aksial dengan variasi 04	49
<b>Gambar 4.9</b> Grafik displacement-waktu dengan pembebanan aksial dengan variasi 05	50
<b>Gambar 4.10</b> Grafik displacement-waktu dengan pembebanan aksial dengan variasi 06 .....	50
<b>Gambar 4.11</b> Grafik displacement-waktu dengan pembebanan aksial dengan variasi 07 .....	51
<b>Gambar 4.12</b> Grafik displacement-waktu dengan pembebanan aksial dengan variasi 08 .....	51
<b>Gambar 4.14</b> Tegangan maksimum von mises pada fender .....	53
<b>Gambar 4.15</b> Grafik nilai total energi serap yang didapatkan pada fender dengan variasi bentuk penampang bagian dalam dengan beban aksial .....	55
<b>Gambar 4.16</b> Grafik nilai gaya rata-rata yang didapatkan pada fender dengan variasi bentuk tabung bagian dalam dengan beban aksial .....	56
<b>Gambar 4.17</b> Grafik nilai energi serap spesifik yang didapatkan pada fender dengan variasi bentuk penampang bagian dalam dengan beban aksial .....	57
<b>Gambar 4.18</b> Diagram persentase nilai total energi serap spesifik yang didapatkan pada fender dengan variasi bentuk penampang bagian dalam dengan beban aksial .....	58

<b>Gambar 4.19</b> <i>Sifat material Mild Steel</i> .....	59
<b>Gambar 4.20</b> <i>Crushing force history of one sample during crashworthiness analysis</i> ....	59
<b>Gambar 4.21</b> <i>Hasil simulasi dengan menggunakan abaqus (kiri), hasil penelitian sebelumnya (kanan).</i> .....	59

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> <i>Tabel hasil uji tarik</i> .....	66
<b>Lampiran 2.</b> <i>Tabel waktu-displacement untuk semua variasi penampang</i> .....	70

# **BAB I**

## **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.

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 1.1** Kapal kecil dengan fender baja yang utuh



**Gambar 1.2** Fender baja kapal yang rusak

Tubrukan kapal memberi dampak yang cukup signifikan terhadap kekuatan struktur kapal yang erat hubungannya dengan keamanan kapal. Sesuai data statistik

yang ada pada Lloyd Register (1995), hampir setengah data tenggelamnya kapal diakibatkan tubrukan dan kandasnya kapal. Tingginya tingkat aktivitas lalu lalang kapal serta terbatasnya area jalur perlintasan perairan pelabuhan sangat berpotensi terjadinya insiden kecelakaan kapal terutama tubrukan kapal. Kecelakaan ini mengakibatkan kerugian materi hingga timbulnya korban jiwa serta berdampak pada kerusakan ekologis bagi wilayah pesisir dan laut.

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.

Maka pada penelitian ini penulis akan melakukan pengujian Perancangan fender yang efisien dengan 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 penelitan ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menganalisis tegangan pada fender kapal berbahan aluminium dengan variasi penampang?

2. Bagaimana menganalisis kemampuan menyerap energi pada fender kapal berbahan aluminium dengan variasi penampang?
3. Bagaimana memvalidasikan nilai simulasi *software* ABAQUS dengan *software* penelitian lain yang sama untuk fender kapal?

### **1.3 Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis tegangan hasil impact pada fender kapal berbahan aluminium dengan variasi penampang.
2. Menganalisis kemampuan menyerap energi pada fender kapal berbahan aluminium dengan variasi penampang.
3. Memvalidasikan nilai simulasi *software* ABAQUS dengan *software* penelitian lain yang sama untuk fender kapal.

### **1.4 Manfaat**

Manfaat dari penelitian ini, diharapkan dapat memberikan informasi mengenai aplikasi penggunaan aluminium pada fender kapal terhadap keselamatan pelayaran terhadap penyerapan energi kinetik ketika benturan atau terjadi kecelakaan. Khususnya pada penggunaan fender berbahan aluminium pada kapal.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Keselamatan Pelayaran**

Peraturan keselamatan pelayaran atau *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. 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. 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)

#### 2.1.1 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)

## 2.2 Fender

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. (Derry, 2016)

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. (www.sispro.co.id, 2017)

### **2.3 Uji Impak**

Uji impak adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (rapid loading). Pada uji impak terjadi proses penyerapan energi yang besar ketika beban menumbuk spesimen. Energi yang diserap material ini dapat dihitung dengan menggunakan prinsip perbedaan energi potensial. Prinsip pengujian impak ini adalah menghitung energi diserap oleh spesimen. Pada saat beban dinaikkan pada ketinggian tertentu, beban memiliki energi potensial maksimum, kemudian saat akan menumbuk spesimen, energi kinetik mencapai maksimum. Energi kinetik maksimum tersebut akan diserap sebagian oleh spesimen hingga spesimen tersebut patah. (Yunus M. dkk, 2016)

Menurut Dieter (1988) uji impak 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 impak 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

impak 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 (impak) merupakan ketahanan bahan terhadap beban kejut. Inilah yang membedakan pengujian dampak dengan pengujian tarik dan kekerasan dimana pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan. (Jumadi dkk, 2017)

### 2.3.1 *Crashworthiness*

Crashworthiness adalah kemampuan kendaraan untuk menyerap energi benturan dan melindungi penumpang kendaraan pada saat terjadi kecelakaan. Dirancang dengan beberapa sistem pelindung yang bertujuan untuk meningkatkan kelayakan kendaraan. (Xiong dkk, 2015).

Crashworthiness merupakan kemampuan struktur pada kendaraan yang digunakan untuk mengurangi cedera pada penumpang saat terjadi kecelakaan. Crashworthiness mempunyai kriteria antara lain gaya tumbukan puncak ( $F_{max}$ ), penyerapan energi spesifik (SEA), dan efisiensi gaya tumbukan (CFE). (Dionisius dkk, 2018)

## 2.4 Parameter *Crush*

Beberapa indikator kinerja telah dikembangkan untuk mengevaluasi efektivitas komponen perangkat penyerap energi yang diberikan untuk aplikasi *crush*. Penyerap energi yang ideal akan mampu mencapai beban maksimum dengan segera dan mempertahankannya untuk seluruh panjang komponen. Tujuan untuk merancang perangkat penyerap energi yang efisien adalah untuk memaksimalkan langkahnya, untuk memiliki beban rata-rata yang setara dengan beban puncak, dan untuk memiliki kemampuan penyerapan energi spesifik yang tinggi. Berdasarkan (Pei, Nadiah, Aishah, & Nadiah, 2017), parameter-parameter ini didefinisikan sebagai berikut:

### 2.4.1 Beban Maksimum ( $F_{maks}$ )

Beban maksimum adalah beban tertinggi yang diperlukan untuk menyebabkan deformasi dan distorsi permanen yang signifikan pada suatu komponen. Penting untuk parameter *crashworthiness* karena dua alasan. Pertama, selama dampak kecepatan rendah dan energi rendah, diinginkan bahwa tidak ada deformasi permanen terjadi, karena ini akan dianggap kerusakan pada struktur. Kedua, beban puncak seringkali merupakan beban maksimum yang diamati pada langkah berguna perangkat penyerap energi karena memiliki pengaruh langsung pada struktur fender kapal.

### 2.4.2 *Specific 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)

$$TEA = \int_0^{\delta} F \cdot \delta \quad (1)$$

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

$$SEA = \frac{TEA}{m} \quad (2)$$

Keterangan:

TEA : Total energy serap (Joule)

F : Energi serap (N)

$\delta$  : Jarak tempuh tekan (mm)

SEA : Energi serap spesifik (kJ/kg)

m : Berat tabung (kg)

#### 2.4.3 *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 ( $\Delta L$ ). (Johnson, 1977)

$$F_{mean} = \frac{TEA}{\Delta L} \quad (3)$$

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)

$\Delta L$  : Jarak tempuh tekan (mm)

#### 2.4.4 *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).

$$CFE = \frac{F_{mean}}{F_{peak}} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

CFE : Gaya tekan efisiensi (%)

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

$F_{maks}$  : Gaya maksimum (kN)

## 2.5 Metode Elemen Hingga

Susatio (2004) menyatakan bahwa metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis. Tipe masalah teknis dan matematika yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga terbagi dalam dua kelompok, yaitu kelompok analisis struktur dan kelompok masalah non-struktur. Masalah analisis struktur, meliputi analisis tegangan, buckling, dan analisis getaran. Sedangkan masalah non-struktur

antara lain adalah perpindahan panas dan massa, mekanika fluida, serta distribusi dari potensial listrik. Menurut Purba dan Tarigan (2012), persoalan yang menyangkut geometri yang rumit terhadap struktur yang kompleks, pada umumnya sulit dipecahkan melalui matematika analisis. Formulasi dari metode elemen hingga dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini. Akibat adanya beban pada balok, akan mengakibatkan lendutan. Permasalahan ini dapat ditinjau dan diselesaikan dengan menghitungnya secara elemen hingga. Konsep yang mendasari metode elemen hingga menurut Bargess dkk (2009) adalah prinsip discretization. Discretization atau diskritisasi adalah membagi sesuatu menjadi bentuk yang lebih kecil dan penyatuan secara keseluruhan yang dapat menstimulir keadaan tersebut secara menyeluruh.

Katili (2008) menyebutkan bahwa struktur diskrit terbentuk dari gabungan elemen yang perilakunya diharapkan mewakili perilaku struktur kontinu. Perilaku tiap elemen digambarkan dengan fungsi pendekatan yang mewakili peralihan dan tegangan yang akhirnya dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan matrik.

### 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) 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), 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.

## **2.6 Software Abaqus CAE**

*Software* ABAQUS 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 kompleks. Program ABAQUS 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 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 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 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. Dassault menjelaskan, terdapat tiga rangkaian produk inti dari ABAQUS yaitu:

1. ABAQUS / Standard adalah pemecah tujuan umum yang menggunakan skema integrasi implisit tradisional untuk menyelesaikan analisis elemen terbatas.
2. ABAQUS / Eksplisit menggunakan skema integrasi eksplisit untuk menyelesaikan analisis dinamis transien nonlinier yang sangat tinggi.
3. ABAQUS / CAE menyediakan lingkungan pemodelan terpadu (preprocessing) dan visualisasi (pasca-pemrosesan) untuk produk analisis.

#### 2.6.1 Tahapan Menjalankan Program ABAQUS

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

##### a. Proses Awal (*Preprocessing*)

Pada bagian ini kita mulai menentukan model awal yang akan dilakukan analisis. Pemodelan part dilakukan dalam *software* ABAQUS dengan memasukkan geometri yang telah kita ketahui sebelumnya. Dalam menggambarkan model, kita bisa menentukan koordinat sistem yang akan dibuat. Sebelum dilakauan 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.

b. Simulasi (*Simulation*)

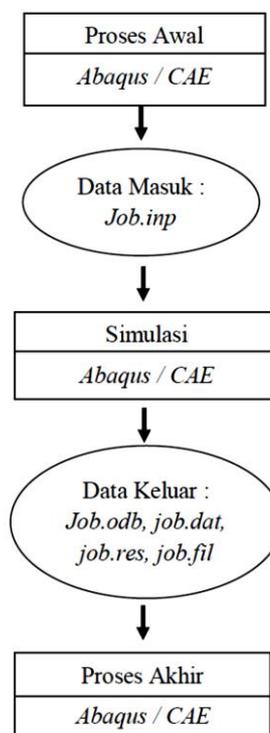
Simulasi yang biasanya dijalankan sebagai pengantar proses adalah tahap dimana program ABAQUS memulai proses untuk melakukan pemecahan masalah numerik yang diidentifikasi dalam model. Sebagai contoh, keluaran dari stress analisis termasuk perpindahan dan tekanan yang disimpan dalam berkas biner untuk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

c. 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.

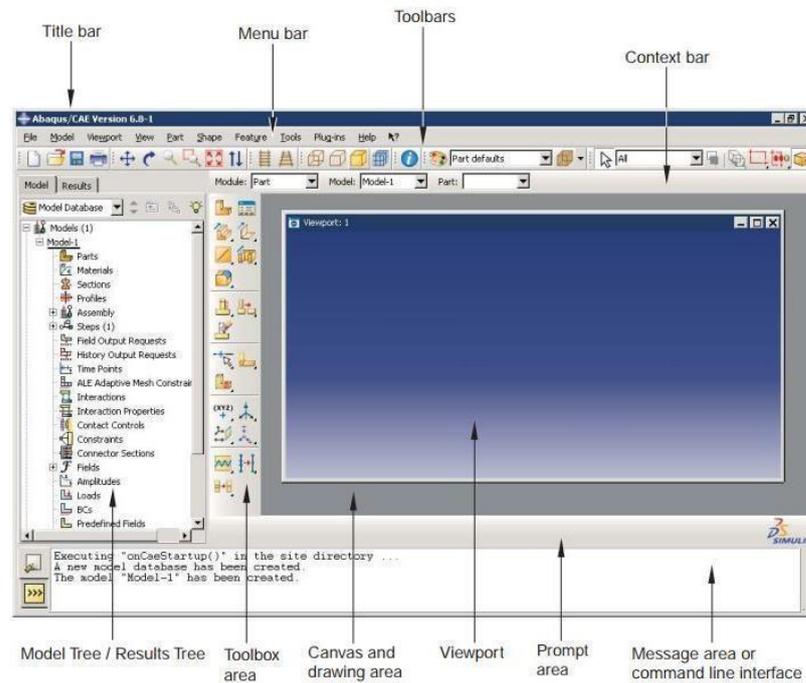
Kemudian dari ketiga tahap tersebut dihubungkan sehingga menjadi seperti

Gambar 2.1



**Gambar 2.1** Tahapan menjalankan program Abaqus

## 2.6.2 Komponen Pada Windows Utama ABAQUS



**Gambar 2.2** Komponen pada windows utama program ABAQUS (Sumber : ABAQUS handout)

### a. Title Bar

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

### b. Menu Bar

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

### c. Toolbars Tools

Toolbars Tools ini memberikan akses cepat yang tersedia pada menu.

### d. Context Bar

Dalam konteks bar memungkinkan kita untuk berpindah antar modul serta mengambil bagian yang sudah ada ketika membuat geometri model.

e. 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.

f. Toolbox Area

Toolbox area ini Memungkinkan akses cepat ke banyak fungsi modul yang tersedia.

g. Canvas and Drawing Area

Canvas and drawing area adalah tempat atau lokasi untuk area gambar.

h. Viewport

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

i. Prompt Area

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

j. Message Area or Command Line Interface

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