



**TUGAS AKHIR - MN 184802**

**IDENTIFIKASI KERUSAKAN BERBASIS GETARAN PLAT  
*SANDWICH* PADA KONSTRUKSI LAMBUNG KAPAL**

**Mohd. Zircham Al-Syachri**  
**NRP 0411154000092**

**Dosen Pembimbing**  
**Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**  
**2020**





**TUGAS AKHIR - MN 184802**

**IDENTIFIKASI KERUSAKAN BERBASIS GETARAN PLAT  
*SANDWICH* PADA KONSTRUKSI LAMBUNG KAPAL**

**Mohd. Zircham Al-Syachri  
NRP 0411154000092**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020**





---

**FINAL PROJECT - MN 184802**

**DAMAGE IDENTIFICATION BASED ON SANDWICH PLATE  
VIBRATION ON SHIP HULL CONSTRUCTION**

**Mohd. Zircham Al-Syachri  
NRP 0411154000092**

**Supervisor  
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2020**



## LEMBAR PENGESAHAN

# IDENTIFIKASI KERUSAKAN BERBASIS GETARAN PLAT SANDWICH PADA KONSTRUKSI LAMBUNG KAPAL

### TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**MOHD. ZIRCHAM AL-SYCAHRI**  
NRP 0411154000092

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.  
NIP 19590505 198403 1 012

Mengetahui,  
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.  
NIP 19640210 198903 1 001



SURABAYA, 7 AGUSTUS 2020





## LEMBAR REVISI

# IDENTIFIKASI KERUSAKAN BERBASIS GETARAN PLAT SANDWICH PADA KONSTRUKSI LAMBUNG KAPAL

### TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir  
Tanggal 24 Juli 2020

Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**MOHD. ZIRCHAM AL-SYACHRI**  
NRP 0411154000092

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Totok Yulianto, S.T., M.T.
2. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.
3. Mohammad Nurul Misbah, S.T., M.T.
4. Wing Hendroprasetiyo A.P., S.T., M.Eng.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D

SURABAYA, 7 AGUSTUS 2020



## **HALAMAN PERUNTUKAN**

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Subhanahu Wata'ala atas karunianya penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian penelitian ini, yaitu:

1. Kedua orang tua, Syafri Afis, S.T., M.T. dan Wan Nur Azizah yang telah memberikan dukungan materiil dan moril serta motivasi penulis;
2. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan dukungan, bimbingan, serta waktu untuk penulis dalam menyelesaikan penelitian ini;
3. Ir. Wasis Dwi A., M.Sc., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS
4. M. Nurul Misbach, M.T. selaku Kepala Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas izin penggunaan fasilitas laboratorium;
5. Kepada seluruh dosen yang telah memberikan pengajaran selama penulis menempuh pendidikan di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS;
6. Ari Syahputra Ladisura, S.E., Puri Awanda Cantikawati S.T., dan Qhayza Dara Intan.A, sebagai saudara kandung penulis yang selalu memberi dukungan dan masukan selama masa kuliah;
7. Mas Abdi Ismail, S.T., dan Mas Rizky Chandra Ariesta, S.T. selaku senior sekaligus mentor penulis dalam mengerjakan penelitian ini;
8. Salsabila Allysa P., sebagai kerabat terdekat penulis selalu memberi dukungan penulis dalam mengerjakan penelitian ini.
9. Ryan Fathurrahman, Reza Pahlawan, Ahmad Mukti, Wiryu Dharmata, dan Kevin Iusela, sebagai teman seperjuangan penulis selama di Teknik Perkapalan;
10. Ervan, Fikri, dan Fathi sebagai teman satu bimbingan dan satu perjuangan dalam mengerjakan penelitian ini;
11. Bang Jirjiz, Bang Kibe, dan Bang Reza, sebagai teman selama menggunakan Laboratorium Konstruksi Departemen Teknik Perkapalan
12. Teman-teman P55 SAMUDERA RAKSA yang senantiasa membantu penulis dalam suka maupun duka.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan dan akan diterima oleh penulis untuk menunjang penelitian-penelitian selanjutnya. Akhir kata, semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 1 Juli 2020

Mohd. Zircham Al-Syachri

# IDENTIFIKASI KERUSAKAN BERBASIS GETARAN PLAT *SANDWICH* PADA KONSTRUKSI LAMBUNG KAPAL

Nama Mahasiswa : Mohd. Zircham Al-Syachri  
NRP : 0411154000092  
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.

## ABSTRAK

Teknologi pada konstruksi bangunan kapal semakin berkembang. Salah satunya penggunaan plat *sandwich* pada bangunan kapal. Plat *sandwich* merupakan pengembangan material untuk menggantikan plat baja konvensional yang dapat digunakan untuk struktur bangunan kapal. Kelebihan dari plat *sandwich* sendiri meningkatkan kekakuan daripada plat baja konvensional, serta mengurangi berat dari struktur bangunan kapal agar dapat menambah kapasitas muatan, tahan terhadap getaran. Pada penelitian ini dilakukan kerusakan berbasis getaran di bagian lambung kapal. Identifikasi ini dilakukan dengan metode elemen hingga (MEH). Peninjauan dilakukan berfokus pada besar ukuran kerusakan, lokasi kerusakan dan kondisi batas pada *core* material yang mempengaruhi frekuensi natural pada strukturnya. Plat *sandwich* yang digunakan pada penelitian ini memiliki *face plate* baja dengan *core* material dari bahan *Polyurethane* (PU) elastomer yang telah diuji pada penelitian sebelumnya untuk memenuhi standar klasifikasi yang berlaku. Berdasarkan hasil analisis pada penelitian ini, diketahui nilai frekuensi natural menurun setiap penambahan besar volume kerusakan buatan. Pengaruh dari perbedaan lokasi kerusakan pada setiap jarak yang menjauhi tumpuan jepit (*clamped*) nilai frekuensi natural semakin menurun. Identifikasi kerusakan dapat diprediksi dengan parameter frekuensi natural dimana kita dapat mengetahui seberapa besar kerusakan dan dimana lokasi kerusakan yang terjadi pada plat *sandwich*.

**Kata kunci:** Plat *Sandwich*, Identifikasi Kerusakan, Metode Elemen Hingga (MEH), Frekuensi Natural





# **DAMAGE IDENTIFICATION BASED ON SANDWICH PLATE VIBRATION ON SHIP HULL CONSTRUCTION**

Author : Mohd. Zircham Al-Syachri  
Student Number : 0411154000092  
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology  
Supervisor : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.

## **ABSTRACT**

Technology in shipbuilding construction is increasingly developing. One of them is the use of sandwich plates in shipbuilding. Sandwich plate is a development material to replace conventional steel plates that can be used for shipbuilding structures. The strength of the sandwich plate itself increases the stiffness of conventional steel plates, as well as reducing the weight of the shipbuilding structure to increase the load capacity, resistance to vibration. In this final project, vibration-based damage is done to the ship's hull. This identification is carried out by the finite element method (FEM). The review focuses on the size of the damage, the location of the damage, and the boundary conditions on the core material that affect the natural frequency of the structure. The sandwich plate used in this study has a steel faceplate with core material from elastomeric Polyurethane (PU) material that has been tested in previous studies to meet applicable classification standards. Based on the results of the analysis in this study, it is known that the natural frequency value decreases with each increase in the volume of artificial damage. The effect of the difference in the location of damage at each distance away from the clamped natural frequency decreases. Damage identification can be predicted with natural frequency parameters where we can find out how much damage and where the location of damage occurred on the sandwich plate.

**Keywords:** Sandwich Plate, Damage Identification, Finite Element Method, Natural Frequencies.



# DAFTAR ISI

LEMBAR REVISI.....	vii
HALAMAN PERUNTUKAN.....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
ABSTRAK .....	xiii
ABSTRACT .....	xv
DAFTAR ISI .....	xvii
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
DAFTAR SIMBOL .....	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	2
1.5. Manfaat .....	3
1.6. Hipotesis.....	3
BAB 2 STUDI LITERATUR.....	5
2.1. Material <i>Sandwich Panel System</i> (SPS).....	5
2.2. Ekstensi Material <i>Sandwich</i> .....	7
2.3. Material <i>Sandwich Panel System</i> pada Kapal .....	8
2.4. Standarisasi Material <i>Sandwich</i> .....	8
2.4.1. Tegangan dan Regangan.....	9
2.4.2. Elastisitas Linier, Hukum <i>Hooke</i> dan <i>Poisson Ratio</i> .....	10
2.5. Metode Elemen Hingga .....	11
2.5.1. Langkah Umum Metode Elemen Hingga.....	12
2.6. Kondisi Batas .....	13
2.7. Getaran.....	14
2.8. Identifikasi Kerusakan .....	17
BAB 3 METODOLOGI.....	19
3.1. Bagan Alir .....	19
3.2. Tahap Pengerjaan.....	20
3.2.1. Studi Literatur .....	20
3.2.2. Pengumpulan Data .....	20
3.2.3. Input Data Material .....	22
3.2.4. Permodelan plat <i>Sandwich</i> .....	22
3.2.5. Dimensi ukuran plat <i>sandwich</i> .....	25
3.2.6. Simulasi Numerik.....	25
3.2.7. Validasi Model.....	26
3.2.8. Analisa Frekuensi Natural .....	26
3.2.9. Penyusunan Laporan .....	27
BAB 4 PERMODELAN .....	29
4.1. Permodelan pada <i>software Abaqus 6.14</i> .....	29
4.1.1. Permodelan pada kondisi plat <i>sandwich</i> utuh.....	29

4.1.2. Definisi Material .....	30
4.1.3. <i>Assembly</i> .....	31
4.1.4. Menentukan <i>Step</i> untuk menentukan analisis yang digunakan .....	32
4.1.5. Penentuan kondisi batas .....	32
4.1.6. <i>Meshing</i> .....	33
4.1.7. Hasil visualisasi <i>running</i> .....	33
4.2. Permodelan pada kondisi plat <i>sandwich</i> yang mengalami kerusakan .....	34
4.2.1. Permodelan Besar Kerusakan .....	34
4.2.2. <i>Assembly</i> kerusakan pada plat <i>sandwich</i> .....	34
4.2.3. <i>Spring Element</i> pada kondisi <i>core</i> material yang mengalami kerusakan .....	36
4.3. Permodelan plat <i>sandwich</i> pada variasi lokasi kerusakan .....	36
4.3.1. Letak Lokasi kerusakan .....	37
4.3.2. Kondisi batas pada lokasi kerusakan .....	37
<b>BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>39</b>
5.1. Data Variasi .....	39
5.2. Konvergensi .....	39
5.3. Hasil Nilai Frekuensi Natural dengan Variasi Besar Kerusakan .....	42
5.4. Persentase Penurunan Nilai Frekuensi Natural akibat Kerusakan .....	48
5.5. Parameter Frekuensi Besar Kerusakan .....	48
5.6. Hasil Nilai Frekuensi Natural akibat Perubahan Lokasi Kerusakan .....	50
5.7. Parameter Frekuensi Lokasi Kerusakan .....	51
<b>BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>53</b>
6.1. Kesimpulan .....	53
6.2. Saran .....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>55</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIODATA PENULIS</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komposisi Material <i>Sandwich</i> Panel .....	5
Gambar 2. 2 Komposisi Material <i>Sandwich</i> .....	7
Gambar 2. 3 Plat <i>Sandwich</i> pada Konstruksi Kapal .....	7
Gambar 2. 4 Grafik Tegangan dan Regangan .....	10
Gambar 2. 5 Elemen Pegas.....	12
Gambar 2. 6 Tumpuan Jepit .....	13
Gambar 2. 7 Tumpuan Roda ( <i>roll</i> ) .....	13
Gambar 2. 8 Tumpuan Engsel .....	14
Gambar 2. 9 Sistem Pegas – massa dan diagram benda bebas.....	15
Gambar 2. 10 Getaran paksa dengan peredam .....	15
Gambar 2. 11 Grafik Sinusoidal pada Getaran.....	16
Gambar 3.1. Bagan Alir Pengerjaan Penelitian .....	19
Gambar 3. 2 Rancangan Umum Kapal <i>tanker</i> .....	21
Gambar 3. 3 <i>Midship Section</i> .....	21
Gambar 3. 4 Dimensi Model pada <i>software</i> .....	25
Gambar 3. 5 Contoh Grafik terhadap ukuran <i>mesh</i> .....	26
Gambar 4. 1 <i>Toolbar Create Part</i> .....	29
Gambar 4. 2 Hasil <i>Part</i> pada <i>core</i> material.....	30
Gambar 4. 3 Hasil Material <i>Core</i> yang sudah diberi <i>Assign Section</i> .....	31
Gambar 4. 4 Hasil Plat <i>Sandwich</i> telah dilakukan <i>Assembly</i> .....	31
Gambar 4. 5 <i>Toolbar Create Step</i> untuk Analisa Frekuensi Natural.....	32
Gambar 4. 6 Kondisi Batas Tumpuan Jepit ( <i>clamped</i> ) .....	32
Gambar 4. 7 Hasil <i>mesh</i> pada Permodelan.....	33
Gambar 4. 8 Hasil Visualisasi <i>running</i> pada mode 2 plat <i>Sandwich</i> utuh .....	33
Gambar 4. 9 <i>Part</i> pada kondisi 20% kerusakan .....	34
Gambar 4. 10 <i>Toolbar Merge/Cut Intances</i> .....	35
Gambar 4. 11 Permodelan pada 20% Kerusakan .....	35
Gambar 4. 12 Hasil <i>Spring Element</i> pada Model .....	36
Gambar 4. 13 Permodelan Lokasi Kerusakan pada Jarak 0,25 L.....	37
Gambar 4. 14 Kondisi Batas <i>Clamped</i> pada satu sisi .....	37
Gambar 5. 1 Variasi Permodelan.....	39
Gambar 5. 2 Perbedaan ukuran <i>mesh</i> (a) Ukuran <i>mesh</i> 10 mm, (b) Ukuran <i>mesh</i> 4,5 mm.....	40
Gambar 5. 3 Grafik Konvergensi pada Mode 1 .....	41
Gambar 5. 4 Grafik Hasil Frekuensi Natural pada Variasi Besar Kerusakan .....	42
Gambar 5. 5 Hasil Visualisasi Besar Kerusakan 5% .....	44
Gambar 5. 6 Hasil Visualisasi Besar Kerusakan 10% .....	45
Gambar 5. 7 Hasil Visualisasi Kerusakan 15% .....	46
Gambar 5. 8 Visualisasi Kerusakan 20% .....	47
Gambar 5. 9 Grafik Parameter Frekuensi Besar Kerusakan .....	49
Gambar 5. 10 Diagram Nilai Frekuensi Natural dengan Variasi Lokasi Kerusakan.....	50
Gambar 5. 11 Diagram Parameter Frekuensi Lokasi Kerusakan .....	51



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standar Uji Tarik .....	9
Tabel 3. 1. Ukuran Utama Kapal <i>tanker 17500 Double Hull LTDW</i> .....	20
Tabel 3. 2 Nilai Input Data Material .....	22
Tabel 3. 3 Variasi Model.....	23
Tabel 3. 4 Variasi Besar Kerusakan.....	24
Tabel 3. 5 Variasi Lokasi Kerusakan .....	24
Tabel 5. 1 Ukuran plat sandwich .....	39
Tabel 5. 2 Hasil Nilai Frekuensi Natural pada Mode 1 .....	41
Tabel 5. 3 Hasil Nilai Frekuensi Natural akibat Besar Kerusakan (Hz) .....	43
Tabel 5. 4 Penurunan Nilai Frekuensi Natural Akibat Besar Kerusakan (%).....	48
Tabel 5. 5 Parameter Besar Kerusakan .....	49
Tabel 5. 6 Hasil Nilai Frekuensi Natural dengan Variasi Lokasi Kerusakan.....	50
Tabel 5. 7 Nilai Parameter Frekuensi Natural akibat Perbedaan Lokasi Kerusakan .....	51





## DAFTAR SIMBOL

$\sigma$	=	Tegangan normal (MPa)
P	=	Gaya normal (N)
A	=	Luas Penampang (m <sup>2</sup> )
$\varepsilon$	=	Regangan normal
E	=	Modulus Elastisitas
$\delta$	=	Perubahan bentuk total (m)
L	=	Panjang ukuran awal (m)
$\nu$	=	Rasio regangan
$\varepsilon'$	=	Rasio regangan Lateral
$\varepsilon$	=	Rasio regangan aksial
m	=	Massa Benda (kg)
f	=	Gaya lokal
k	=	Konstanta pegas
d	=	Koordinat lokal elemen
A	=	Amplitudo (m)
f	=	Frekuensi ( <i>cycle</i> /detik)
$\omega_n$	=	Frekuensi Natural (Hz)
$\zeta$	=	<i>Damping ratio</i>
C	=	<i>Actual Damping</i>
Cc	=	<i>Damping</i> kritis
$\Delta$	=	<i>Displacement</i> (ton)
$\Delta_\omega$	=	Penurunan Nilai Frekuensi Natural (%)
$\omega_D$	=	Nilai frekuensi natural plat <i>sandwich</i> yang mengalami kerusakan (Hz)
$\omega_I$	=	Nilai frekuensi natural plat <i>sandwich</i> utuh (Hz)
K	=	Parameter Frekuensi Natural
$f_D$	=	Nilai Frekuensi Natural yang mengalami kerusakan (Hz)
$f_I$	=	Nilai Frekuensi Natural pada plat <i>sandwich</i> utuh (Hz)



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi yang sangat pesat menuntut desainer dan *engineer* untuk terus berinovasi dalam menghasilkan sesuatu yang baru dan mempunyai nilai tambah bagi kehidupan manusia. Tidak terkecuali sistem konstruksi pada kapal. Sekarang, banyak sekali terobosan-terobosan baru dalam teknologi material.

Tentu saja tujuan utama adalah material yang lebih ringan, kuat, dan tahan lama. Material pada kapal, pada umumnya adalah baja. Tetapi baja dirasa masih kurang efektif dalam segi berat dalam proses desain kapal. Penelitian terkini banyak yang mengarah kepada pengembangan material baru dalam aplikasi pada kapal, salah satunya adalah *Sandwich panel*. *Sandwich panel* adalah material yang bentuknya berlapis, dengan material inti pada umumnya terbuat dari material ringan dan material faceplate berasal dari material yang kaku.

Telah banyak penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, mengenai pengaruh *Sandwich panel* pada kontribusi LWT kapal. Diantaranya dilakukan oleh (Momcilovic, et al., 2009) dan (Brooking, et al., 2004). Rata-rata pada kedua penelitian itu reduksi berat pada *Sandwich panel* dapat mencapai 10% dari berat kapal itu sendiri.

Saat material *sandwich panel* terpasang pada kapal, material tidak akan lepas dari gaya eksternal. Gaya inilah yang akan memicu timbulnya cacat. Cacat akan menjalar dan dapat mengakibatkan kegagalan dalam sistem konstruksi. Pada penelitian lain, (Jweeg, et al., 2012) meneliti tentang perubahan natural frekuensi yang terjadi pada suatu material jika pada material tersebut terdapat kerusakan. Hanya pada penelitian tersebut, material yang digunakan menggunakan komposit fiber, dan variabel retak yang diteliti berdasarkan sudut kemuculan dari retak tersebut. Pada penelitian ini hasil yang didapatkan adalah terjadi tren kenaikan frekuensi natural seiring bertambahnya sudut dari *crack* tersebut.

Oleh karena itu, akan dilakukan sebuah penelitian untuk mengidentifikasi suatu material *Sandwich panel* sebagai salah satu jenis material baru dalam dunia perkapalan yang akan membahas tentang pengaruh variasi cacat buatan pada material tersebut. Perlu analisis kerusakan untuk memastikan kekuatan daripada struktur plat *sandwich* tersebut. Pada penelitian ini akan membahas

identifikasi kerusakan plat *sandwich* menggunakan metode elemen hingga dengan variasi ukuran besar kerusakan dan lokasi kerusakan pada frekuensi natural di mode 1 hingga mode 10 disertai kondisi *spring element* pada tiap kerusakan.

### 1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mencari nilai besar kerusakan dan lokasi kerusakan pada material plat *sandwich* secara numerik dengan analisa frekuensi natural?
2. Bagaimana pengaruh penurunan nilai frekuensi natural terhadap plat *sandwich* yang mengalami kerusakan buatan?
3. Bagaimana mengidentifikasi kerusakan dengan menggunakan parameter frekuensi natural?

### 1.3. Tujuan

Bedasarkan rumusan masalah diatas, tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui nilai frekuensi natural akibat besar rusak buatan dan perbedaan lokasi kerusakan terhadap plat *sandwich*.
2. Mengetahui pengaruh penurunan nilai frekuensi natural plat *sandwich* yang mengalami kerusakan buatan.
3. Mengetahui identifikasi kerusakan plat *sandwich* dengan perbandingan parameter frekuensi natural.

### 1.4. Batasan Masalah

Dalam pengerjaan analisa permasalahan dibatasi pada :

1. Ukuran model *Sandwich plate* yang digunakan yaitu 750 mm X 750 mm x 28 mm dengan menggunakan Metode Elemen Hingga (MEH).
2. Tebal *faceplate* adalah 4 mm dan *core* material 20 mm
3. Material yang digunakan untuk lapisan muka (*faceplate*) adalah material baja A36, sedangkan material yang digunakan untuk lapisan inti (*core*) adalah *polyurethane*.
4. Identifikasi kerusakan menggunakan 5 varuasi besar kerusakan yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Dan 3 variasi lokasi kerusakan yaitu pada 0,25 L, 0.375L, 0.5L, 0.625L, dan 0.75L dari lebar pelat *Sandwich*.

5. Permodelan elemen hingga menggunakan perangkat lunak elemen hingga.

### **1.5. Manfaat**

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Sebagai informasi serta referensi untuk pengaruh frekuensi natural terhadap plat *sandwich* yang mengalami kerusakan dengan perbedaan besar dan lokasi kerusakan.
2. Sebagai metode identifikasi kerusakan pada plat kapal yang berbahan plat *sandwich*.
3. Sebagai bahan pertimbangan penggunaan plat *sandwich* pada konstruksi bangunan kapal.

### **1.6. Hipotesis**

Pada penelitian ini ditarik suatu hipotesa, dimana pengujian getaran pada plat *sandwich* yang rusak akan memberikan perubahan frekuensi natural dengan beberapa variasi kerusakan sesuai dengan mode getaran dan dimensi rusak yang terjadi pada plat *sandwich* yang mengalami rusak buatan. Identifikasi kerusakan dapat diestimasi dengan menggunakan parameter frekuensi natural.

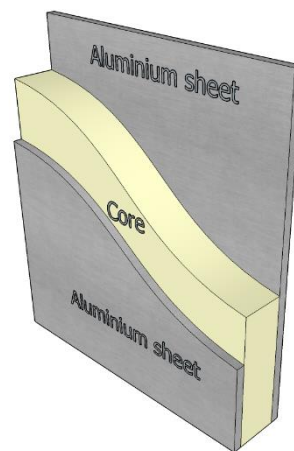
Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB 2 STUDI LITERATUR

### 2.1. Material *Sandwich Panel System* (SPS)

*Sandwich Plate System* (SPS) merupakan material ringan yang merupakan struktur dua pelat logam yang dipisahkan oleh material inti elastomer. Plat, biasanya terbuat dari baja, digabungkan sebagai batas luar dari material di kedua sisi dan kemudian disatukan oleh material inti yaitu *polyurethane*. (Momcilovic, et al., 2009)

Penggunaan SPS ini berkembang baik selama 10 tahun ini, awal mula material ini dikembangkan bertujuan untuk memberikan tambahan ketahanan benturan (*impact*) pada pelat untuk struktur bangunan *offshore* di daerah es *Beaufort Canada*. *Intelligent Engineering, Ltd (IE)* yang memiliki hakpaten pada material SPS ini bersama mitra industri *Elastogran GmbH*, anggota dari *BASF Group*.



Gambar 2. 1 Komposisi Material *Sandwich Panel*  
(sumber : [https://en.wikipedia.org/wiki/Sandwich\\_panel](https://en.wikipedia.org/wiki/Sandwich_panel))

Gambar 2.1 menunjukkan contoh daripada material *Sandwich Panel*, dimana material yang digunakan pada pengujian ini yaitu 2 plat baja yang diisi dengan material *core* berbahan *Polyurethane*. Dari hubungan antara tegangan dan regangan material *Polyurethane elastomer* dari berbagai kondisi suhu, berdasarkan hasil yang dilakukan *Brooking & Kennedy* didapatkan karakteristik mekanikal *properties* yaitu:

1. ketahanan *fatigue* (*S-N curves*) pada ikatan antar 2 pelat dan sambungan las saat penggabungan panel SPS.

2. ketahanan pada air laut serta ketahanan kimia plat elastomer harus dapat bertahan selama proses pengoperasian material.
3. ketahanan terhadap getaran serta peredaman terhadap kebisingan. SPS memberikan ketahanan yang jauh lebih baik daripada baja.
4. ketahanan terhadap balistik yang diuji pada dimensi peluru 7,62 mm, hasil dari pengujian yang dilakukan bahwa kurva balistik untuk SPS berada dibawah dari baja, yang menandakan bahwa SPS lebih tahan terhadap ketahanan balistik dibanding dengan material baja.

Selain itu, apabila dibandingkan dengan plat baja berpenegar, penerapan material plat *sandwich* mampu mengurangi volume las hingga 60% (SANDCORE, 2013). Material *sandwich* dapat dibedakan berdasarkan komposisi material penyusunnya. Konfigurasi tersebut antara lain :

- Struktur *Sandwich* Logam

Struktur ini merupakan struktu pada bagian kulit (*faching sheet*) dan inti (core) nya secara keseluruhan terbuat dari logam. Pada umumnya logam yang digunakan adalah baja dan aluminium. Selain dari bahan penyusunnya, struktur *sandwich* logam juga dapat diklasifikasikan menurut bentuk geometri intinya. Contoh bentuk *core* struktur *sandwich* logan adalah I, Z, V, O, *honeycomb* dan *corrugated*. Sedangkan penggabungan *facingsheet* dan *core*-nya dilakukan teknik pengelasan atau dengan pengelasan laser atau pengelasan busur.

- Struktur *Hybrid Metal Sandwich*

*Hybrid Metal Sandwich* ini terdiri dari material logam dan non-logam. Contoh yaitu pada struktur baja dengan inti berbentuk I. Untuk meningkatkan kekuatan lokal atau ketahanan terhadap api, inti material tersebut dapat diisi material seperti polimer, kayu balsa, *rockwool* dan busa. Contoh lain yaitu gabungan antara pelat terdiri dari baja atau aluminium dengan inti diisi material elastomer *polyurethane*.

- Struktur *Sandwich* dengan material komposit

Struktur ini merupakan struktur *sandwich* yang dikombinasi dengan dua atau lebih material intinya melalui pencampuran yang tidak homogen dengan sifat masing-masing mamterial pembentuknya berbeda. Contoh daripada material komposit dari bahan organik yaitu kayu, tulang, dan gigi. Material komposit buatan adalah kertas, *concrete*, dan *fiberglass*. Pada umumnya komposit buatan yang sering digunakan yaiut *fiberglass reinforced polymer (FRP)*.



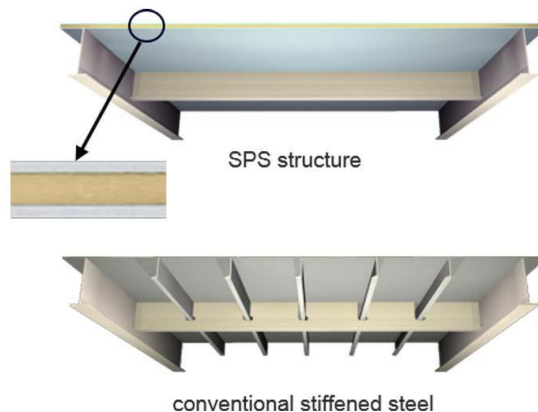
## 2.2. Ekstensi Material *Sandwich*

Pada umumnya material *sandwich* digunakan pada konstruksi bangunan seperti dinding gedung, jembatan, dan konstruksi kapal. Klasifikasi yang memiliki peraturan penggunaan plat *sandwich* pada konstruksi kapal yaitu Lloyd's Register (LR) dan DNV-GL agar memenuhi standard. Pengaplikasian material *sandwich* dapat mengurangi konfigurasi penegar pada struktur kapal (Sujayanti, et al., 2018). Penerapan material *sandwich* mampu mengurangi penegar dan tegangan pada struktur masih memenuhi standard yang diijinkan telah diteliti oleh (Mula, 2017). Susunan material plat *sandwich* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Komposisi Material *Sandwich*  
(sumber: <https://ascelibrary.org/>)

Pengurangan penegar pada material *sandwich* dapat meningkatkan berat muatan dari kompensasi pengurangan berat (Brooking, et al., 2004). Penerapan pelat *sandwich* dapat mengurangi berat yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Plat *Sandwich* pada Konstruksi Kapal  
(sumber : [https://www.researchgate.net/figure/Conventional-vs-SPS-structure-1\\_fig1\\_228778465](https://www.researchgate.net/figure/Conventional-vs-SPS-structure-1_fig1_228778465))

Pengurangan berat *sandwich* pada konstruksi diatas mencapai 6% pada variasi pergantian penegar dengan panel *sandwich* berbahan *V-core*. Penerapan material *sandwich polyurethane* elastomer tipe *room temperature cured* yang digunakan pada material *sandwich* tidak mudah untuk didapatkan dan memiliki harga yang relatif mahal (Sujayanti, et al., 2018).Material yang murah dan mudah didapat akan menjadi pertimbangan dalam pemilihan material *sandwich* (Zubaydi, et al., 2017). Ekstensi material *sandwich* cocok digunakan pada industri perkapalan di negara berkembang seperti Indonesia. Maka dari itu perlu dilakukan analisis material dengan berbagai variasi untuk memenuhi kriteria seperti harga yang murah, bahan material yang mudah didapatkan didalam negeri atau tidak perlu impor dan memenuhi standarisasi dari klasifikasi yang berlaku di Indonesia agar dapat diaplikasikan pada skala industri.

### **2.3. Material Sandwich Panel System pada Kapal**

Penggunaan SPS di kapal telah banyak diterapkan. Berbagai macam riset juga telah dilakukan, seperti yang dilakukan oleh Brooking & Kennedy tentang pengaruh SPS terhadap reduksi berat kapal, potensi penggunaan SPS pada kapal tidak lepas dari beberapa karakteristik dari SPS terhadap Shipbuilding, diantaranya:

- Struktur yang sederhana dan mudah untuk dibangun
- Perawatan yang dibutuhkan minimal
- Menambah ketahanan korosi
- Ketahanan terhadap retak dan masalah struktural lainnya

Selain itu, penggunaan SPS juga telah menjadi pilihan utama beberapa perusahaan operator kapal internasional karena kelebihan-kelebihan diatas. (Ramakrishnan, et al., 2016)

Pada penelitian terhadap aplikasi SPS pada bangunan kapal yang dilakukan oleh *Brooking & Kennedy* (2004), melakukan desain studi penerapan SPS pada kapal *tanker*, dengan LOA = 144,0 m ; B = 21,50 m dengan DWT = 14.000 ton dengan menertapkan metode *Finite Element*, analisa yang dilakukan menunjukkan pada konstruksi yang menggunakan SPS menunjukkan kriteria tegangan bernilai kecil dari tegangan yang diizinkan.

### **2.4. Standarisasi Material Sandwich**

Standarisasi material *sandwich* harus dievaluasi untuk mengetahui sifat mekanik dengan mengacu pada LR (Register, 2015) bahwa material *sandwich* tersebut memenuhi kriteria. Pengujian

dilakukan untuk mengetahui densitas *core* dari material sandwich, kemudian dilakukan pengujian kekerasan dan pengujian Tarik. Standard ambang batas nilai dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Standar Uji Tarik

<b>Pengujian</b>	<b>Standar Uji</b>	<b>Kriteria</b>
<i>Density</i>	ISO 845	$\geq 1000 \text{ kg/m}^3$ at RT
<i>Hardness</i>	DIN 53505	Shore D $\geq 65$ at RT
<i>Tensile Stress</i>	ISO 527 or ASTM D412	$\geq 20 \text{ MPa}$ at RT $\geq 5 \text{ MPa}$ at $+80^\circ\text{C}$
<i>Elongation</i>	ISO 527 or ASTM D412	Min. 10% at $-20^\circ\text{C}$ Min. 20% at RT
RT = <i>Room temperature in °C</i>		

#### 2.4.1. Tegangan dan Regangan

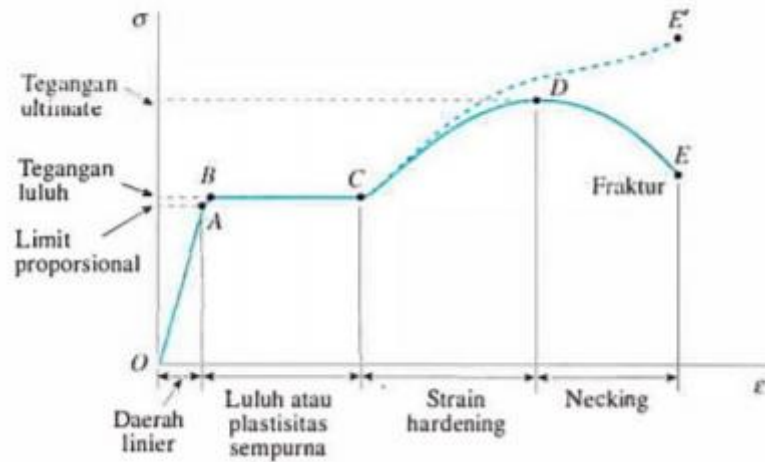
Konsep paling dasar mekanika bahan adalah tegangan normal dan regangan normal. Dengan mengasumsikan bahwa tegangan terbagi rata diseluruh potongan melintang, dapat dilihat bahwa resultan sama dengan intensitas tegangan  $\sigma$  dikalikan dengan luas penampang  $A$  dari batang tersebut.

$$\sigma = \frac{P}{A} \tag{2.1}$$

Sedangkan regangan adalah perubahan panjang suatu batang jika mengalami beban tarik aksial atau tekan aksial. Persamaan regangan pada rumus (2.2) seperti berikut:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{E} \tag{2.2}$$

Hubungan tegangan dan regangan dapat dilihat pada Gambar :



Gambar 2. 4 Grafik Tegangan dan Regangan  
(sumber : Metode Elemen Hingga Lanjut, Rizky Chandra Ariesta)

#### 2.4.2. Elastisitas Linier, Hukum Hooke dan Poisson Ratio

Elastisitas bahan dapat dilihat langsung pada material-material yang kita temui dalam kehidupan sehari-hari, seperti kayu, plastik dan lain-lain. Elastisitas pada material mengakibatkan pertambahan panjang apabila diberi beban. Secara umum kita mengenal hukum Hooke, hubungan antara tegangan dan regangan yaitu

$$\sigma = E \epsilon \quad (2.3)$$

Dimana :

E adalah modulus elastisitas atau *modulus young*. Baja mempunyai modulus elastisitas sekitar 210 GPa. Rasio regangan lateral  $\epsilon'$  terhadap regangan aksial  $\epsilon$  dikenal dengan rasio poisson dan diberi notasi huruf  $\nu$ , dengan rumus :

$$\nu = \frac{\text{lateral strain}}{\text{axial strain}} = \frac{\epsilon'}{\epsilon} \quad (2.4)$$

## 2.5. Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga adalah salah satu metode pendekatan numeric dimana persamaan diferensial parsial ini bisa diselesaikan dengan cara pendekatan terhadap kondisi sebenarnya. Dari sudut pandang teknik (*engineering*), FEM adalah metode agar dapat memecahkan masalah untuk menganalisa tegangan, perpindahan panas, aliran fluida, regangan dan lainnya termasuk frekuensi natural dengan menggunakan simulasi komputer.

Untuk permasalahan yang lebih kompleks seperti pembebanan, geometri dan sifat dari material, umumnya cukup sulit untuk menyelesaikan secara persamaan matematis. Penyelesaian matematis yaitu menggunakan persamaan matematika yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dari nilai yang tidak diketahui pada setiap lokasi dibagian atau objek tertentu secara local maupun global dari model elemen hingga yang digunakan. Masalah struktur yang dapat misal memperoleh nilai besar tegangan (*stress*), regangan (*strain*), *buckling*, dan analisa getaran. Untuk masalah yang non-struktural seperti *heat transfer* untuk mencari perpindahan panas mencari nilai temperature oleh *flux* temperature dan *Fluid flow* yang digunakan untuk mencari nilai tekanan oleh *flux* fluida.

Kelebihan dari penggunaan Metode Elemen Hingga yaitu :

1. Bentuk irregular yang dapat dimodelkan.
2. Kondisi bean secara umum dapat ditangani dengan mudah
3. Model dapat disusun dengan material yang beragam, karena persamaan elemen dievaluasi secara individu
4. Kondisi dan jumlah batasan yang dapat disesuaikan dengan berbagai macam kondisi.
5. Variasi ukuran elemen dapat dianalisa hingga elemen terkecil dari model elemen hingga.
6. Perubahan bentuk model dapat dilakukan dengan mudah dan murah
7. Efek dinamika.
8. Dapat dengan mudah menganalisa pada deformasi yang besar dan non-linier material.

Terdapat dua metode pendekatan umum dalam elemen hingga yang diaplikasikan terhadap masalah struktur, yaitu :

1. Metode fleksibilitas, gaya internal sebagai variable yang harus dicari (*unknown*). Menggunakan persamaan keseimbangan untuk mendapatkan persamaan pengatur (*governing equation*). Kemudian, persamaan lainnya didapat dengan memberikan syarat kompatibilitas (*compability equations*).

2. Metode Kekakuan/Perpindahan (*Displacement Stiffness Method*). Pada metode ini perpindahan titik simpul atau *nodes* digunakan sebagai variabel yang harus dicari (*unknown*). Syarat kompatibilitas mengharuskan elemen yang berhubungan (*connected*) akan tetap berhubungan setelah mengalami deformasi.

Untuk kebutuhan komputasi, metode kekakuan (*Displacement Stiffness Method*) lebih sederhana untuk masalah struktur daripada metode fleksibilitas.

### 2.5.1. Langkah Umum Metode Elemen Hingga

Ada beberapa langkah dalam menggunakan metode hingga, secara umum dapat dilakukan langkah, yaitu :

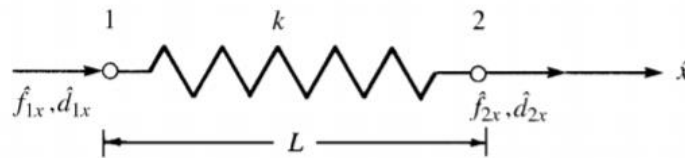
1. Menentukan pembagian dan pemilihan jenis elemen yang digunakan dalam permodelan elemen hingga. Ada beberapa jenis elemen yang dapat digunakan, yaitu :
  - Elemen Pegas (*Spring Element*)

Matrik kekakuan dalam elemen pegas adalah  $k$  yang memenuhi persamaan

$$f = k \cdot d \tag{2.5}$$

dimana  $k$  = menghubungkan perpindahan titik simpul,  $d$  = dalam koordinat lokal elemen ( $x, y, z$ ) dengan gaya lokal  $f$  pada satuan elemen. Sehingga, persamaan satu elemen menjadi:

$$\begin{Bmatrix} f_{1x} \\ f_{2x} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{12} & k_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_{1x} \\ d_{2x} \end{Bmatrix} \tag{2.6}$$



Gambar 2. 5 Elemen Pegas

- Elemen Batang (*bar/truss element*)
- Elemen Balok (*beam element*)
- Elemen Segitiga (*tringular element*)
- Elemen Segi Empat (*queadrilateral*)

2. Pemilihan fungsi perpindahan

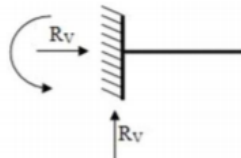
3. Menentukan hubungan *strain/displacement* dan *stress/displacement*.
4. Penurunan matrik dan persamaan kekakuan elemen
5. Penggabungan persamaan elemen untuk mendapatkan persamaan global/total dan penetapan syarat batas.
6. Penyelesaian persamaan Global
7. Penyelesaian regangan dan tegangan elemen
8. Interpretasi Hasil

## 2.6. Kondisi Batas

Penentuan kondisi batas dapat dipilih dengan gaya yang timbul pada suatu benda bergantung pada bagaimana benda tersebut ditumpu dan bagaimana benda tersebut disambungkan terhadap benda lain. Ada beberapa kondisi tumpuan pada sebuah struktur. Pada umumnya tumpuan yang sering dijumpai adalah tumpuan jepit (*fix*), roda (*roll*) dan tumpuan sendi/engsel (*hinge*). Kondisi batas yang sering digunakan pada kekuatan adalah pin yaitu pemberian kondisi dimana translasi dinetralkan sedangkan ada lagi dimana kondisi translasi dan rotasi pada respon struktur dinetralkan.

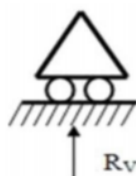
Berikut jenis tumpuan yang dapat digunakan, yaitu :

1. Tumpuan Jepit (*fix*) untuk menahan gaya dari segala arah dan dapat menahan momen. Tumpuan jepit sendiri memiliki 3 gaya reaksi. Simbol tumpuan jepit pada Gambar 2.6.



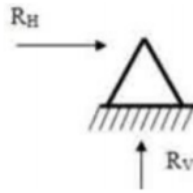
Gambar 2. 6 Tumpuan Jepit

2. Tumpuan roda (*roll*) hanya menerima gaya pada arah tegak lurus roll dan tidak dapat menahan momen. Tumpuan roll hanya memiliki satu gaya reaksi yang tegak lurus dengan *roll*. Dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Tumpuan Roda (*roll*)

3. Tumpuan engsel dapat menerima gaya dari berbagai arah tetapi tidak dapat menahan momen. Maka dari itu tumpuan sendi mempunyai dua gaya reaksi. Contoh dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Tumpuan Engsel

## 2.7. Getaran

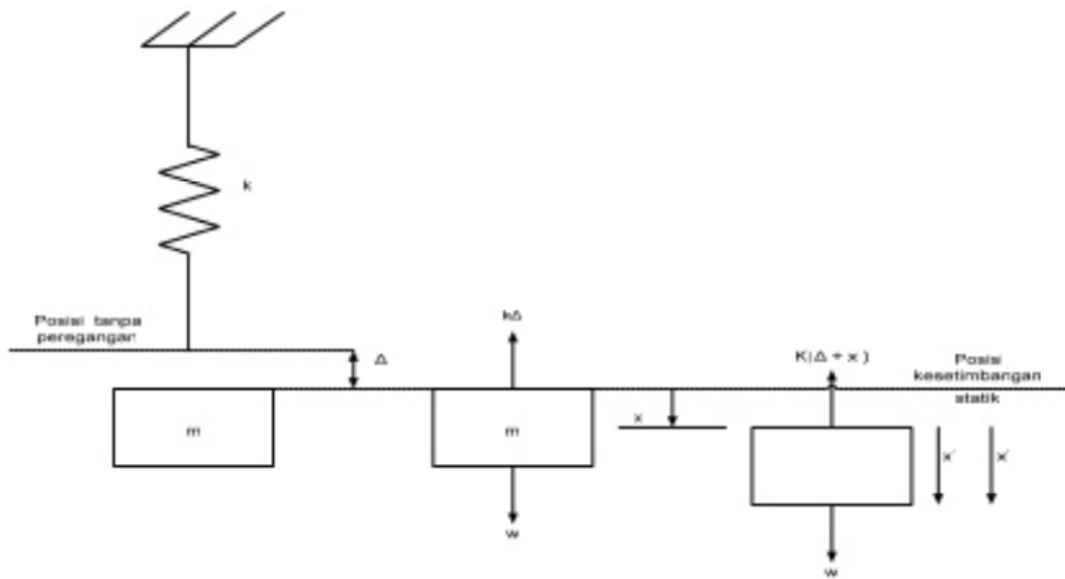
Getaran adalah gerakan bolak-balik dalam suatu interval waktu tertentu. Getaran berhubungan dengan gerak osilasi benda dan gaya yang berhubungan dengan gerak tersebut. Semua benda yang mempunyai massa dan elastisitas mampu bergetar, jadi kebanyakan mesin dan struktur rekayasa mengalami getaran sampai derajat tertentu dan rancangannya biasanya memerlukan pertimbangan sifat osilasinya.

Ada dua jenis getaran umum, yaitu :

### 1. Getaran Bebas,

Getaran bebas terjadi jika sistem berosilasi karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri (*inherent*), dan jika ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan bergerak pada satu atau lebih frekuensi naturalnya, yang merupakan sifat sistem dinamika yang dibentuk oleh distribusi massa dan kekuatannya bebas atau getaran yang terjadi tanpa rangsangan luar.

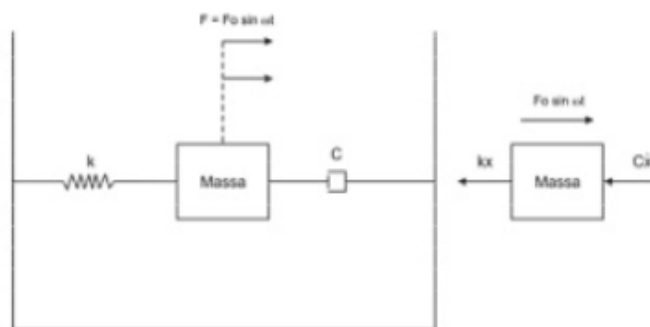




Gambar 2. 9 Sistem Pegas – massa dan diagram benda bebas

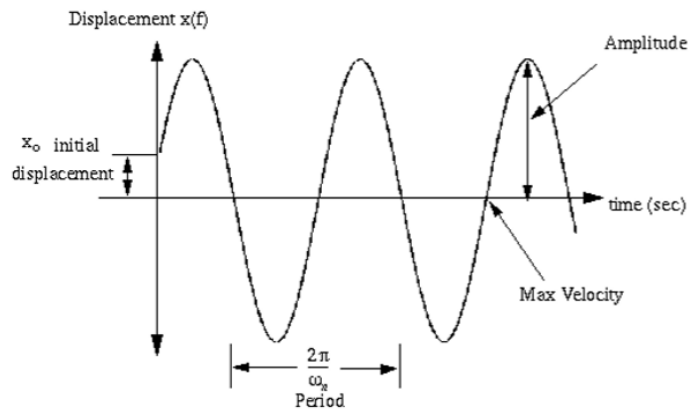
2. Getaran Paksa

Getaran paksa adalah getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar, jika rangsangan tersebut beresilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapat keadaan reonansi dan osilasi besar yang berbahaya mungkin terjadi. Kerusakan pada struktur besar seperti jembatan, gedung ataupun sayap pesawat terbang, merupakan kejadian menakutkan yang disebabkan oleh resonansi. Jadi perhitungan frekuensi natural merupakan hal yang utama.



Gambar 2. 10 Getaran paksa dengan peredam

Frekuensi natural adalah saat dimana sebuah sistem mengalami *displacement* yang sangat besar akibat getaran walaupun gaya yang bekerja sangat kecil. Setiap sistem mempunyai frekuensi naturalnya masing-masing. Saat sistem tersebut bergetar pada frekuensi naturalnya. Itulah yang disebut sebagai resonansi.



Gambar 2. 11 Grafik Sinusoidal pada Getaran

Pada gambar diatas dapat dipahami bahwa waktu yang diperlukan untuk satu cycle disebut sebagai periode dengan satuan detik/cycle. Apabila  $t = T$  maka,  $x(t) = A$ . Dengan formula :

$$x(t) = A \cos \sqrt{(k/m)} T \tag{2.7}$$

dimana A = Amplitudo, sehingga persamaan akan menjadi :

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m}}} \tag{2.8}$$

Frekuensi adalah banyaknya cycle yang terjadi dalam satu detik, atau kebalikan dari periode, yaitu:  $f = \frac{1}{T}$  cycle/detik, atau biasa disebut Hertz, disingkat Hz. Dengan demikian,

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{2.9}$$

dengan demikian, dapat ditulis juga

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.10)$$

dimana  $\omega$  merupakan frekuensi natural.

Benda yang mengalami getaran lama kelamaan akan berusaha kembali ke titik keseimbangannya. Secara perlahan benda akan berkurang amplitudonya hingga *displacement* benda tersebut menjadi nol. Hal yang mempengaruhi pengurangan *displacement* ini adalah redaman. Di dalam redaman, terdapat hal yang dinamakan damping ratio. *Damping ratio* adalah parameter yang tidak memiliki dimensi sebagai perbandingan antara damping yang terjadi dan critical damping yang diharapkan pada benda tersebut. Jadi *damping ratio* dapat dituliskan sebagai:

$$\zeta = \frac{C}{C_c} \quad (2.11)$$

$\zeta$  = damping ratio

C = actual damping

C<sub>c</sub> = damping kritis

## 2.8. Identifikasi Kerusakan

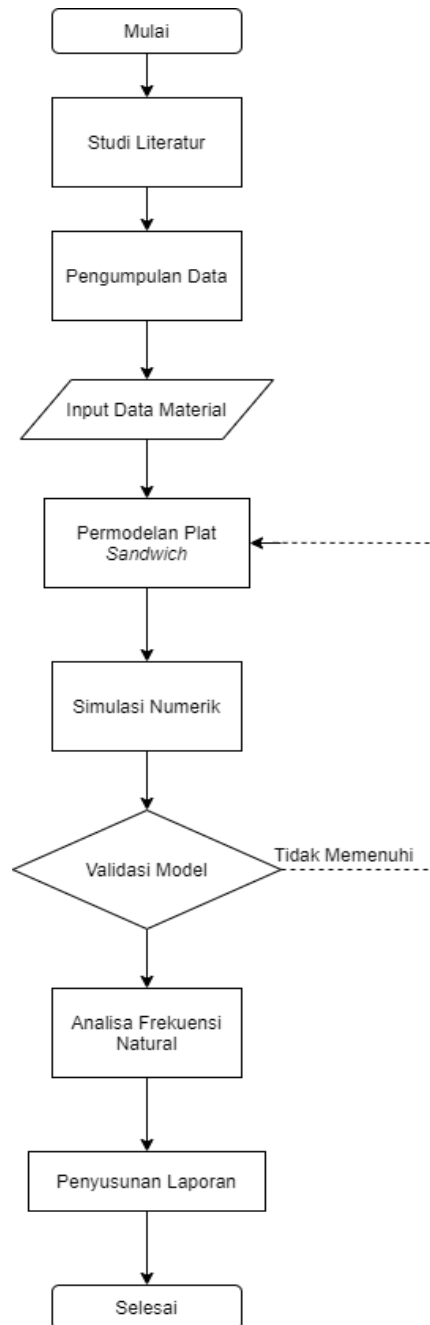
Jika struktur mengalami suatu kerusakan, maka parameter struktur akan berubah (Yan, et al., 2007). Identifikasi kerusakan perlu dianalisis untuk mengetahui pengaruh karakteristik material *sandwich* sebelum diaplikasikan ke struktur kapal. Identifikasi pada material dapat dilakukan dengan metode merusak (Destructive test) dan metode tidak merusak (Non Destructive Test). Penggunaan metode NDT banyak dilakukan karena tidak merusak struktur dan dapat diaplikasikan langsung pada struktur terkait. Proses pengujian NDT memiliki 2 jenis yang mencakup daerah objek pengujian yaitu NDT Lokal dan NDT global. Objek tinjauan lokal pada dasarnya digunakan untuk mendeteksi kerusakan pada titik-titik tertentu dalam sebuah struktur. NDT lokal tidak membutuhkan data awal, seperti data baseline, karakteristik frekuensi material tanpa kerusakan, atau model teoritis dari

struktur material tanpa kerusakan yang diaplikasikan struktur ukuran kecil. Namun, pada struktur yang berukuran besar, bentuk struktur yang kompleks, ataupun struktur yang sulit diakses, seperti lambung kapal, sangat sulit melakukan deteksi kerusakan menggunakan metode NDT lokal. Identifikasi kerusakan lambung kapal lebih sesuai menggunakan metode NDT global. Metode NDT global memungkinkan engineer untuk melakukan inspeksi lambung kapal yang kompleks dengan lebih menyeluruh dan melakukan deteksi kerusakan lebih awal saat kapal sedang beroperasi normal tanpa operator harus melakukan inspeksi struktur secara berkala. Sebuah teknik identifikasi kerusakan dengan NDT global berbasis getaran telah diusulkan beberapa peneliti. Teknik ini dikembangkan berdasarkan prinsip bahwa semua struktur dapat dinyatakan sebagai sistem dinamik dengan tingkat kekerasan, massa, dan konstanta redaman tertentu.

## BAB 3 METODOLOGI

### 3.1. Bagan Alir

Secara garis besar, proses pengerjaan penelitian ini memiliki alur seperti yang terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Bagan Alir Pengerjaan Penelitian

## 3.2. Tahap Pengerjaan

### 3.2.1. Studi Literatur

Studi Literatur yang akan digunakan bersumber dari jurnal lokal dan internasional, bisa juga bersumber dari Jurnal, Tugas Akhir atau Thesis yang pernah dikaji sebelumnya, serta buku-buku yang berkaitan dengan pengerjaan tugas akhir ini khususnya pada *Sandwich Panel System*. Studi literatur ini diperlukan untuk mendapatkan pemahaman mengenai pengaruh kerusakan buatan dengan 3 variasi lokasi, dan 5 variasi persentase pada plat *sandwich*. untuk mengetahui kekuatan konstruksi lambung saat material atau *specimen* plat *sandwich* mengalami kerusakan akibat frekuensi natural. Perhitungan getaran dilakukan dengan menggunakan *software*, serta cara melakukan permodelan dengan menggunakan elemen hingga.

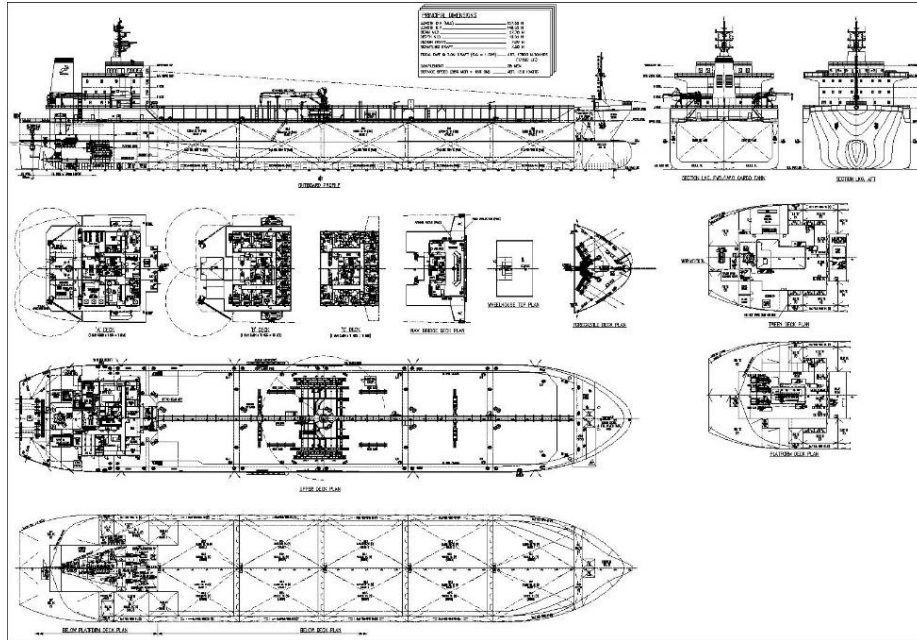
### 3.2.2. Pengumpulan Data

Dalam pelaksanaan penelitian ini, agar dapat melakukan permodelan dan analisis perlu data-data pendukung sebagai dasar pembuatan model. Penelitian ini menggunakan data kapal *tanker* 17500 *Double Hull* LTDW. Adapun ukuran utama kapal dapat dilihat pada Tabel 3.1.

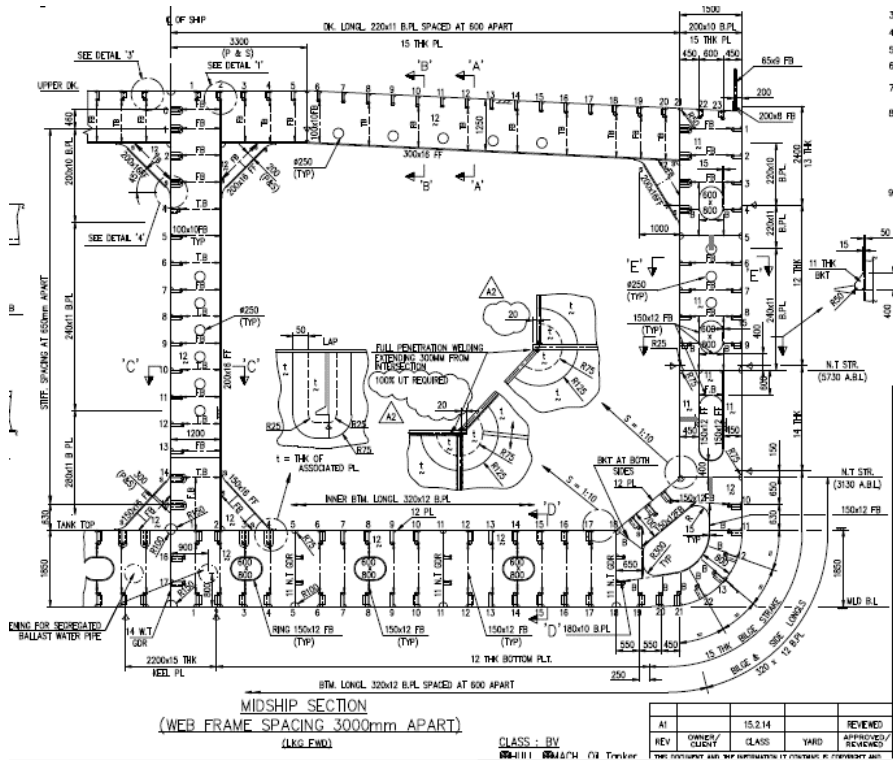
Deskripsi		Ukuran
<i>Displacement</i>	$\Delta$	17500 ton
<i>Length Overall</i>	LOA	157.50 m
<i>Length Between Perpendicular</i>	LPP	149.50 m
<i>Breadth Moulded</i>	B	27.70 m
<i>Depth</i>	D	12.00 m
<i>Draught</i>	T	7.00 m
<i>Service Speed</i>	Vs	13.00 Knots
<i>Frame Spacing</i>	-	750 mm

Tabel 3. 1. Ukuran Utama Kapal *tanker* 17500 *Double Hull* LTDW

Pengambilan ukuran model pada penelitian ini diambil dari jarak gading (*frame spacing*) pada kapal tanker ini. Data lain yang diperlukan berupa gambar-gambar seperti rencana umum dan gambar *midship section* dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.



Gambar 3. 2 Rancangan Umum Kapal tanker  
(sumber : PT.XX)



Gambar 3. 3 *Midship Section*  
(sumber : PT. XX)

### 3.2.3. Input Data Material

Pengumpulan data dilakukan untuk mengambil data yang diperlukan dalam mengerjakan penelitian ini membutuhkan pembuatan model dan *specimen* berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya pada plat *sandwich*. Hal-hal yang menjadi bahan acuan peneliti dalam penelitian ini juga mengacu pada hasil penelitian. Beberapa hal yang dapat diambil sebagai data awal penelitian adalah:

- a) Komposisi material baja A36 dan *core* material *Polyurethane elastomer*
- b) Karakteristik material plat *sandwich*
- c) Ketebalan plat yang digunakan
- d) Nilai Densitas material baja dan *Polyurethane*
- f) *Young Modulus*
- g) *Poisson Ratio*

Nilai dari densitas, *young modulus*, dan *poisson ratio* pada tiap material dapat dilihat pada Tabel 3.2.

<b>Material</b>	<b>Baja A36</b>	<b><i>Polyurethane</i></b>
<b>Densitas</b>	7850 kg/m <sup>3</sup>	1098 kg/m <sup>3</sup>
<b><i>Young Modulus</i></b>	200 GPa	901,95 MPa
<b><i>Poisson Ratio</i></b>	0,3	0,36

Tabel 3. 2 Nilai Input Data Material

### 3.2.4. Permodelan plat *Sandwich*

Permodelan elemen hingga dilakukan dengan menggunakan *software* elemen hingga. Aplikasi ini digunakan karena memiliki hasil yang lebih teliti untuk model yang tidak begitu besar ukurannya. Ada beberapa variasi yang digunakan pada penelitian ini, yaitu :

- Variasi pengurangan volume akibat kerusakan pada *core* material plat *sandwich*

Pada penelitian ini menggunakan variasi pengurangan volume kerusakan buatan pada material *core* plat *sandwich*, dimana pengurangan volume dapat dilihat respon perbandingan *displacement* pada tiap pengurangannya. Prosentase pengurangan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

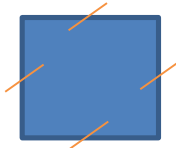
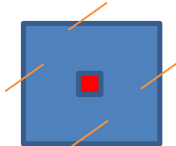
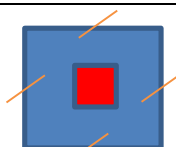
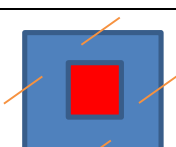


No.	Variasi	Kerusakan Buatan
1.	Model 1	Pelat Utuh
2.	Model 2	Kerusakan 2% dari tebal <i>core</i> material

Tabel 3. 3 Variasi Model

- Variasi besar kerusakan pada plat *sandwich*

Variasi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan 5 jenis persentase kerusakan buatan. Penelitian pada variasi kerusakan ini digunakan untuk mengidentifikasi besar kerusakan pada pelat *sandwich*. Dimana dalam permodelan variasi bentuk kerusakan persegi ini sesuai dengan persentase kerusakan dikalikan dengan panjang dan lebar dari plat *sandwich* tersebut. Pada permodelan variasi besar kerusakan ini menggunakan kondisi batas *Clamp* pada setiap sisi. Variasi yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.4.

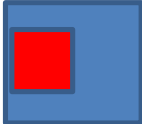

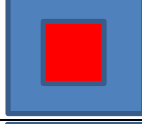
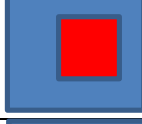
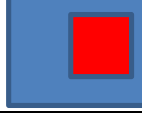
No	Variasi Besar Kerusakan	Visualisasi model
1.	0% (Pelat Utuh)	
2.	5%	
3.	10%	
4.	15%	

5.	20%	
----	-----	--

Tabel 3. 4 Variasi Besar Kerusakan

- Variasi lokasi kerusakan pada plat *sandwich*

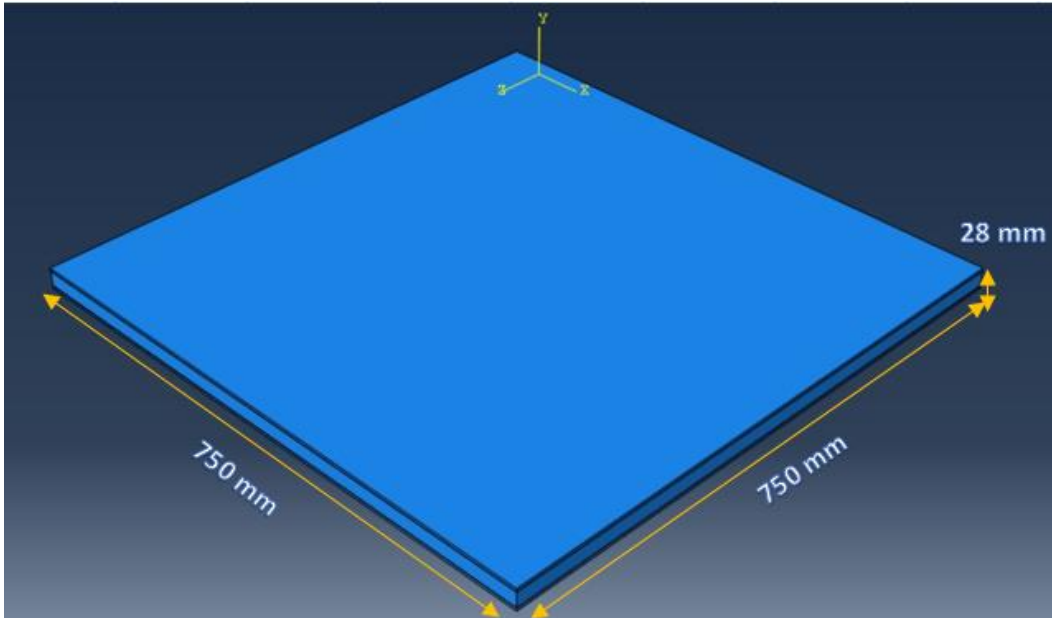
Lokasi kerusakan pada pelat *sandwich* bertujuan untuk mengetahui identifikasi lokasi kerusakan yang dimodelkan pada penelitian ini. Letak daripada variasi lokasi yang digunakan yaitu dari lebar pelat *sandwich* yang dimodelkan. Kondisi batas pada variasi lokasi kerusakan ini *clamp* pada satu sisi (sebelah kiri dari sumbu  $x$  pada permodelan). Ada 5 variasi lokasi kerusakan yang digunakan pada penelitian ini. Tertera pada Tabel 3.3.

No	Variasi Lokasi Kerusakan	Visualisasi model
1.	0.25 L	
2.	0.375 L	
3.	0.5 L	
4.	0.625 L	
5.	0.75 L	

Tabel 3. 5 Variasi Lokasi Kerusakan

### 3.2.5. Dimensi ukuran plat *sandwich*

Dimensi ukuran pada penelitian ini dimodelkan sesuai dengan lebar pelat kapal pada umumnya. Tetapi model diasumsikan lebih sederhana dengan bentuk persegi, panjang dan lebar disamakan. Agar proses *running* dan ketelitian dari hasil lebih baik. Detail dari dimensi model dapat dilihat dari Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Dimensi Model pada *software*

1. *Face Plate* (Pelat Baja) ada 2 lonjor pelat bagian atas dan bagian bawah.

Lebar : 750 mm

Panjang : 750 mm

Tebal : 4 mm

2. *Core material (polyurethane)* terletak diantara 2 pelat baja.

Lebar : 750 mm

Panjang : 750 mm

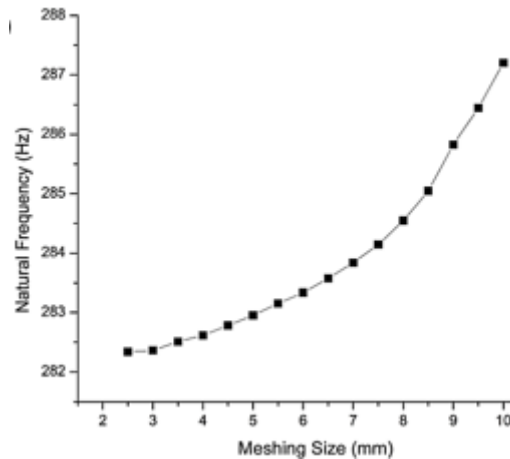
Tebal : 20 mm

### 3.2.6. Simulasi Numerik

Simulasi Numerik dilakukan untuk menganalisa getaran yang terjadi pada material plat *Sandwich* yang dimodelkan. Sehingga mendapat analisa respon frekuensi natural pada plat yang utuh hingga yang mengalami kerusakan. Pada tahap ini menggunakan analisa dengan *software Abaqus CAE*.

### 3.2.7. Validasi Model

Untuk validasi model pada penelitian ini menggunakan metode **studi konvergensi**. Dimana pada pengolahan data material menggunakan metode ini bertujuan untuk mendapatkan hasil analisa yang mendakti hasil aslinya dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi ketika melakukan analisa numerik. Matode ini digunakan untuk mencari nilai terhadap ukuran elemen.



Gambar 3. 5 Contoh Grafik terhadap ukuran *mesh*  
(sumber : Vibration-Based Damage Identification for Ship Sandwich Plate Using Finite Element Methods, Journal (2019))

### 3.2.8. Analisa Frekuensi Natural

Pada tahap analisa frekuensi natural, didapat dari hasil studi konvergensi. Dimana ukuran elemen yang telah didapat digunakan untuk variasi besar dan variasi lokasi kerusakan. Kerusakan mengakibatkan penurunan frekuensi natural. Hal ini sesuai dengan rumus frekuensi natural dan hasil penelitian (Lou, et al., 2014), bahwa terjadinya kerusakan mengakibatkan pengurangan kekakuan (*stiffness*). Lalu pengurangan kekakuan tersebut mengakibatkan penurunan frekuensi natural. Atau dengan kata lain, kerusakan yang semakin besar mengakibatkan penurunan kekakuan plat *sandwich*. Sehingga penurunan kekakuan tersebut mengakibatkan terjadinya penurunan frekuensi natural. Dapat ditunjukkan pada rumus :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3.1)$$

Dimana  $\omega_n$  (Hz) adalah nilai natural frekuensi,  $k$  yaitu konstanta pegas,  $m$  menunjukkan massa dari beban benda.

Setelah itu mencari besar penurunan nilai frekuensi natural (%). Karena semakin besar kerusakan, maka penurunan nilai frekuensi natural semakin besar. Hasil ini terkonfirmasi berdasarkan penelitian Ismail et al (2020). Dengan menggunakan rumus :

$$\Delta_{\omega} = \frac{|\omega_D - \omega_I|}{\omega_I} 100\% \quad (3.2)$$

Rumus diatas diartikan,  $\Delta_{\omega}$  (%) adalah penurunan nilai frekuensi natural yang mengalami kerusakan pada material,  $\omega_D$  adalah nilai frekuensi natural pada plat *sandwich* yang mengalami kerusakan (Hz),  $\omega_I$  yaitu nilai frekuensi natural plat *sandwich* utuh atau tidak mengalami kerusakan (Hz).

Selanjutnya, mencari parameter frekuensi besar kerusakan. Dimana untuk menggambarkan kerusakan lokal identifikasi kerusakan dari *core* sandwich yang mengalami kerusakan, berikut frekuensi parameter didefinisikan :

$$K = \frac{f_D}{f_I} \quad (3.3)$$

Dimana  $f_D$  menunjukkan nilai frekuensi natural yang mengalami kerusakan pada struktur plat *sandwich*, dan  $f_I$  nilai natural frekuensi pada plat *sandwich* yang utuh.

### 3.2.9. Penyusunan Laporan

Tahap penyusunan laporan agar penelitian ini dapat dimengerti dan dijadikan acuan untuk melakukan penelitian selanjutnya atau sebagai media pembelajaran dalam pengembangan ilmu perkapalan dalam menggunakan plat *sandwich* untuk konstruksi bangunan kapal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

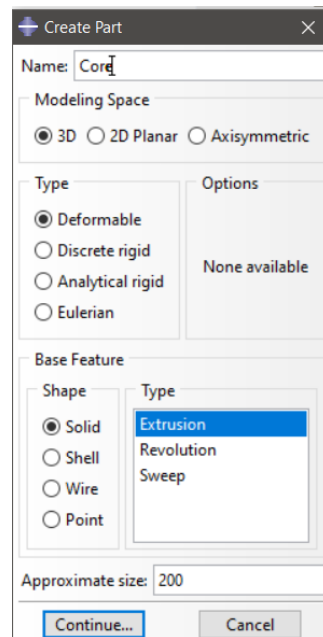
## BAB 4 PERMODELAN

### 4.1. Permodelan pada *software Abaqus 6.14*

Pada penelitian ini, aplikasi *software* yang digunakan yaitu *Abaqus version 6.14*. Berikut langkah-langkah yang digunakan untuk memodelkan plat *sandwich*. Ada beberapa langkah yang harus dilakukan.

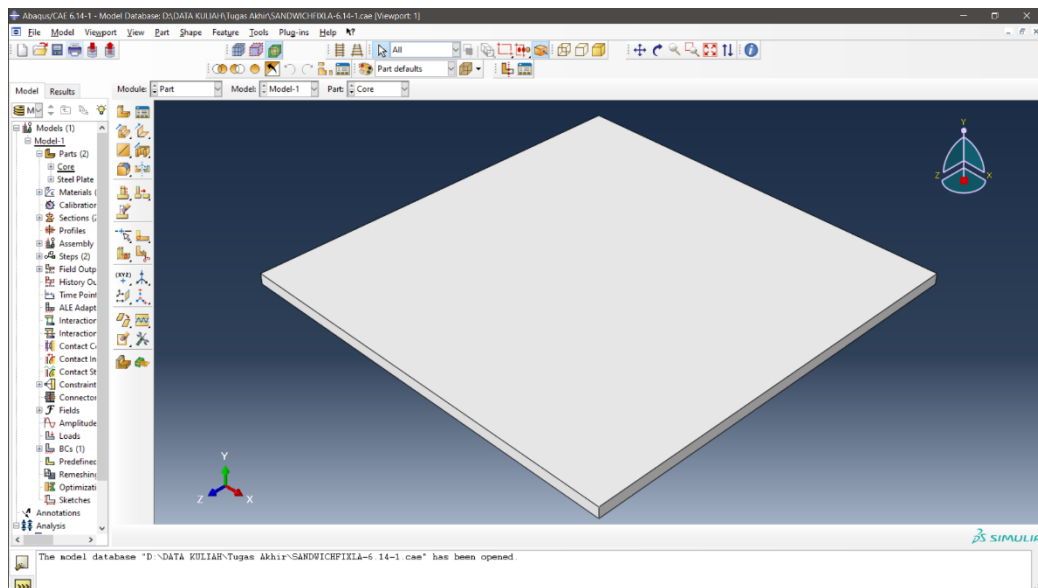
#### 4.1.1. Permodelan pada kondisi plat *sandwich* utuh

Langkah awal pada pengerjaan pada aplikasi pilih **Part > Create Part**, pada bagian ini dapat dipilih spesifikasi yang ingin dimodelkan seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 *Toolbar Create Part*

Selanjutnya, lakukan dimensi permodelan yang digunakan pada penelitian. Hasil akan keluar seperti Gambar 4.2.

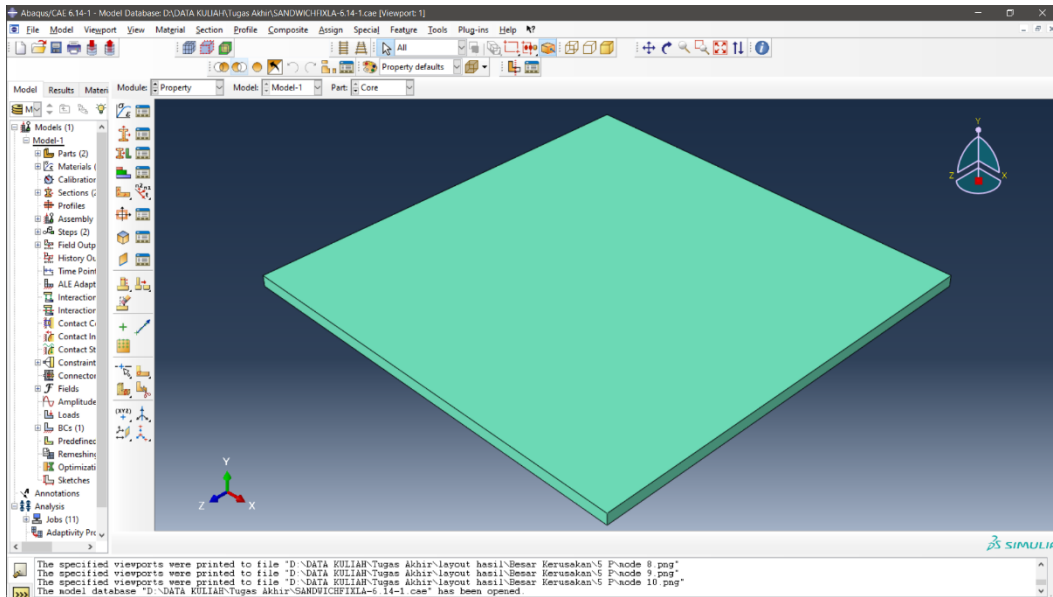


Gambar 4. 2 Hasil *Part* pada *core* material

#### 4.1.2. Definisi Material

Pada *module Property > Material Manager > Create*, didefinisikan *mechanical properties*-nya sesuai dengan material yang digunakan berdasarkan modulus *Young* dan *poisson ratio*. Satuan yang digunakan model ini adalah MPa dan mm. Langkah selanjutnya adalah pembuatan *section* untuk mendefinisikan *section* material agar *input* dari data *mechanical properties* masuk pada *part* yang dimodelkan. Setelah itu, *Property > Assign Section* untuk menentukan daerah aplikasi *section* yang akan didefinisikan. Material Properties pada *face plate* yaitu material baja dengan densitas 7850 kg/m<sup>3</sup>, modulus elastisitas 200 GPa dan nilai *poisson ratio* sebesar 0.3. Untuk pendefinisian material *polyurethane* nilai densitas 1098 kg/m<sup>3</sup>, modulus elastisitas 901.95 MPa dan besar *poisson ratio* yaitu 0.36. Contoh dari pendefinisian material seperti Gambar 4.3.

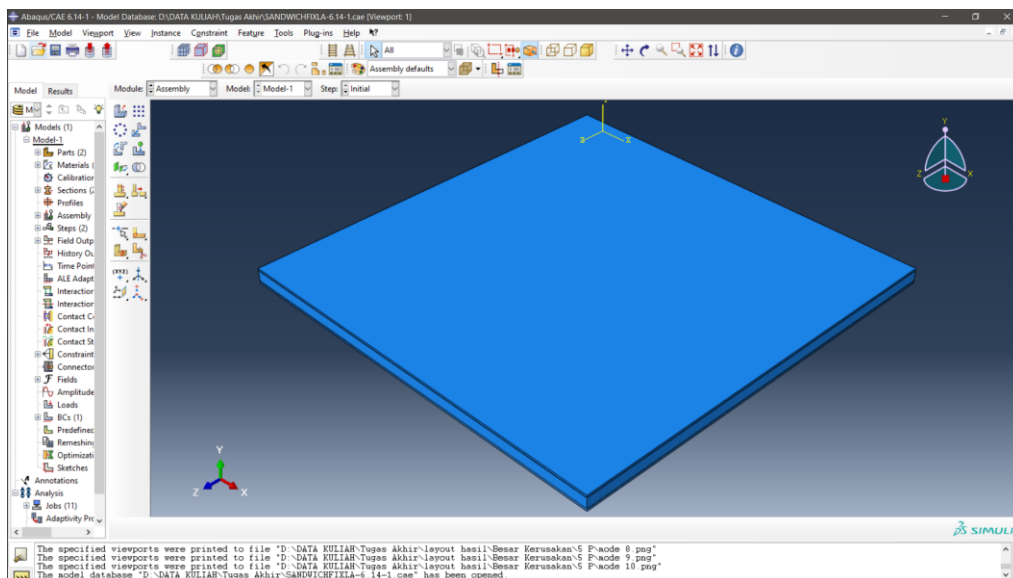




Gambar 4. 3 Hasil Material Core yang sudah diberi Assign Section

#### 4.1.3. Assembly

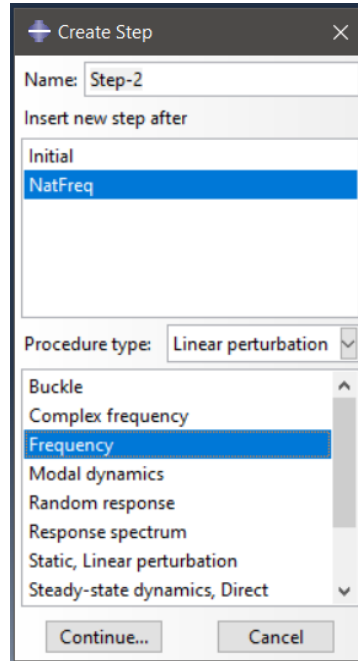
Pada modul *Assembly* > *Create Instance* pilih part yang telah dimodelkan pada langkah sebelumnya bertujuan untuk menyatukan *face plate* dan *core material* agar menjadi satu kesatuan. Hasil dari model yang telah dilakukan pada langkah *assembly* sudah berupa plat *sandwich* dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Hasil Plat Sandwich telah dilakukan Assembly

#### 4.1.4. Menentukan *Step* untuk menentukan analisis yang digunakan

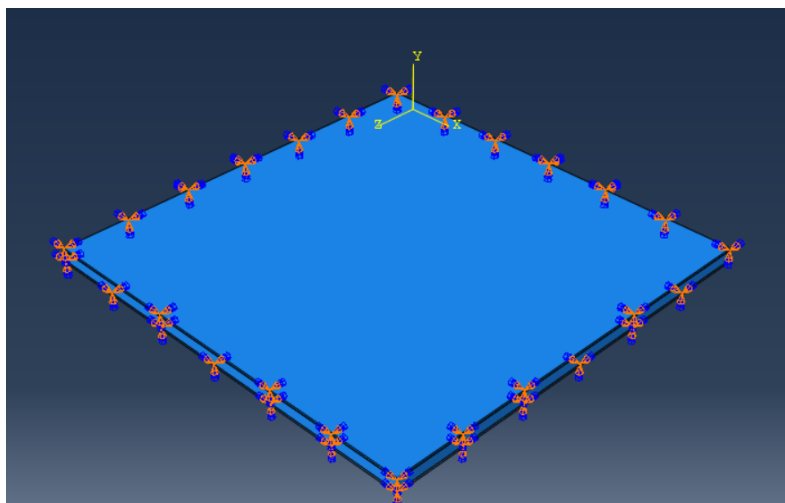
Pada tahap ini analisa ditentukan dengan analisa *frequency* pada struktur plat *sandwich*. Pada modul *Step > Create Step*. Seperti tampilan pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 *Toolbar Create Step* untuk Analisa Frekuensi Natural

#### 4.1.5. Penentuan kondisi batas

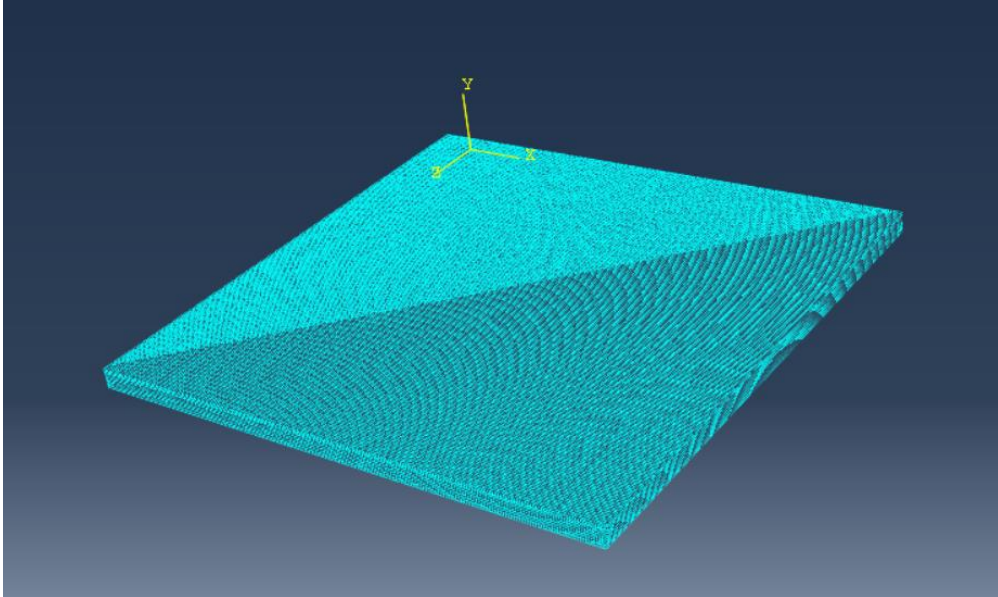
Pemberian *constraint* kondisi batas agar dapat ditentukan daerah atau luasan pada plat *sandwich* untuk keperluan analisis. Digunakan tumpuan jepit (*clamped*) pada setiap sisi. Dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Kondisi Batas Tumpuan Jepit (*clamped*)

#### 4.1.6. Meshing

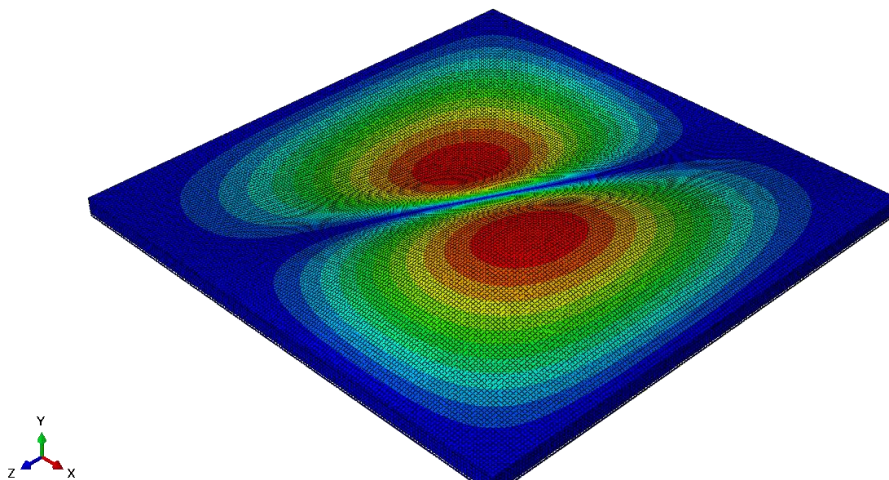
*Meshing* yang digunakan pada penelitian ini dengan ukuran *mesh* 4,5 mm, dengan metode *structural mesh*. Dimana hasil *mesh* didapat dari konvergensi yang telah dilakukan pada penelitian ini dari ukuran 50 mm hingga ukuran *mesh* 4,5 mm. Hasil *mesh* yang telah dilakukan terlihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Hasil *mesh* pada Permodelan

#### 4.1.7. Hasil visualisasi *running*

Hasil dari analisa natural frekuensi pada penelitian ini seperti Gambar 4.8. Visualisasi yang digunakan yaitu kondisi plat *sandwich* tanpa kerusakan pada mode 2.



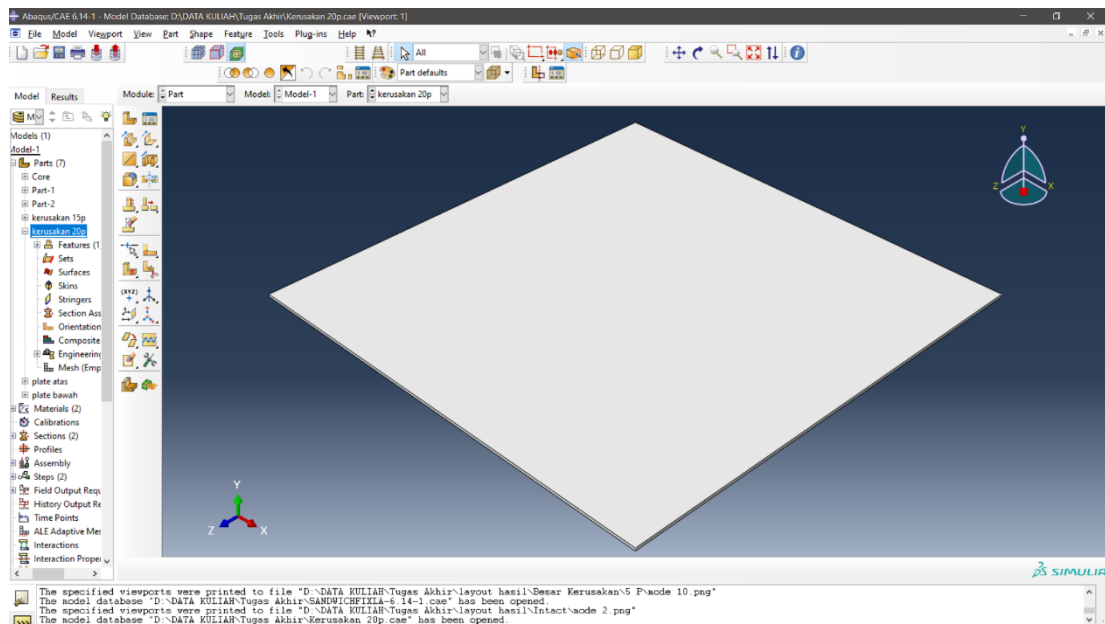
Gambar 4. 8 Hasil Visualisasi *running* pada mode 2 plat *Sandwich* utuh

## 4.2. Permodelan pada kondisi plat *sandwich* yang mengalami kerusakan

Langkah yang dilakukan sama seperti model plat *sandwich* utuh. Pada kondisi kerusakan ada beberapa perbedaan dalam permodelan seperti model besar kerusakan dan penggunaan *spring element*.

### 4.2.1. Permodelan Besar Kerusakan

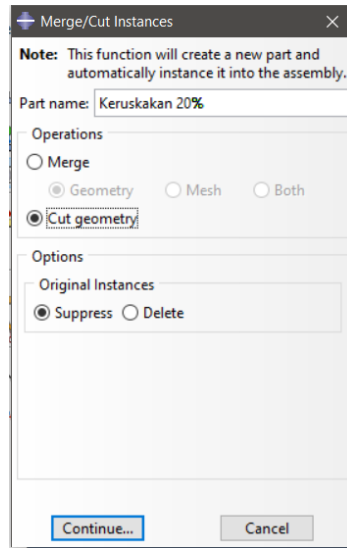
Melakukan permodelan besar kerusakan pada modul *Part > Create Part*. Lalu memilih spesifikasi *extrusion* setelah itu menentukan dimensi besar kerusakan yang



Gambar 4. 9 *Part* pada kondisi 20% kerusakan digunakan. Hasil seperti Gambar 4.9.

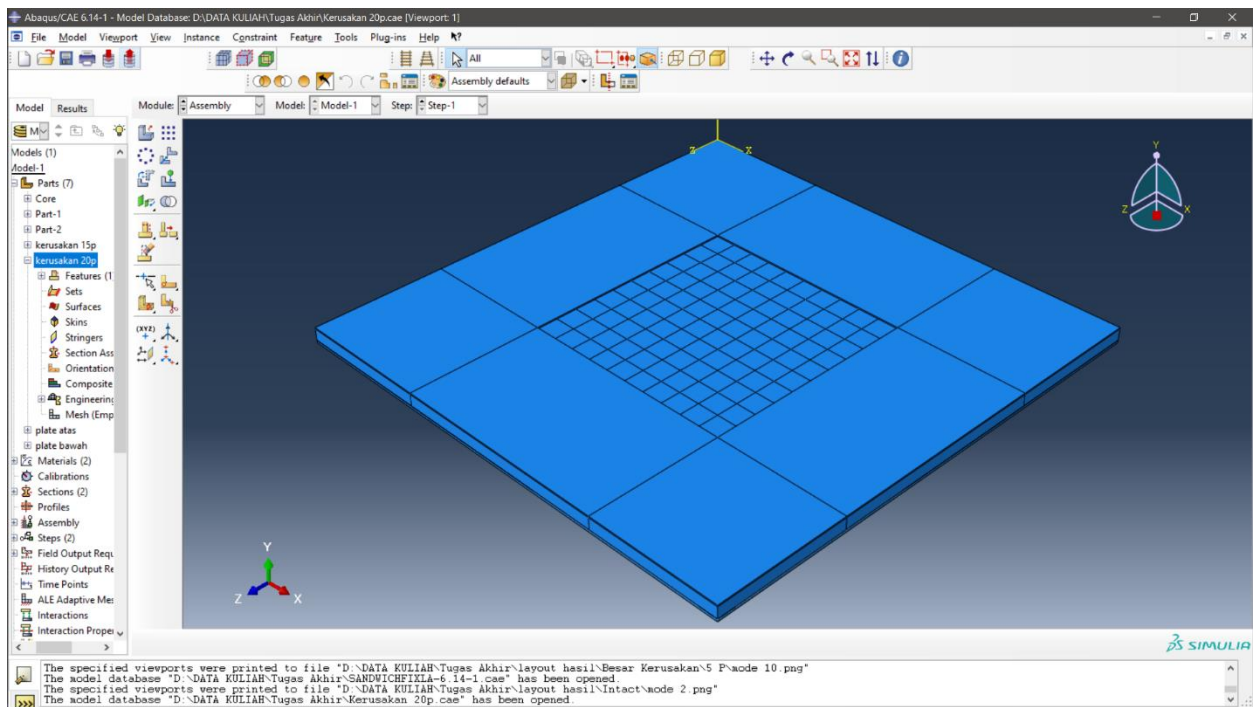
### 4.2.2. *Assembly* kerusakan pada plat *sandwich*

Dari *Part* kerusakan yang telah dimodelkan, *part* tersebut disesuaikan peletakkannya pada lokasi kerusakan yang ingin dimodelkan. Lalu, gunakan opsi *Merge/Cut Instances* dan pilih *Cut Geometry* seperti Gambar 4.10. Langkah selanjutnya pilih luasan yang ingin dipotong dan bidang yang menjadi acuan.



Gambar 4. 10 *Toolbar Merge/Cut Intances*

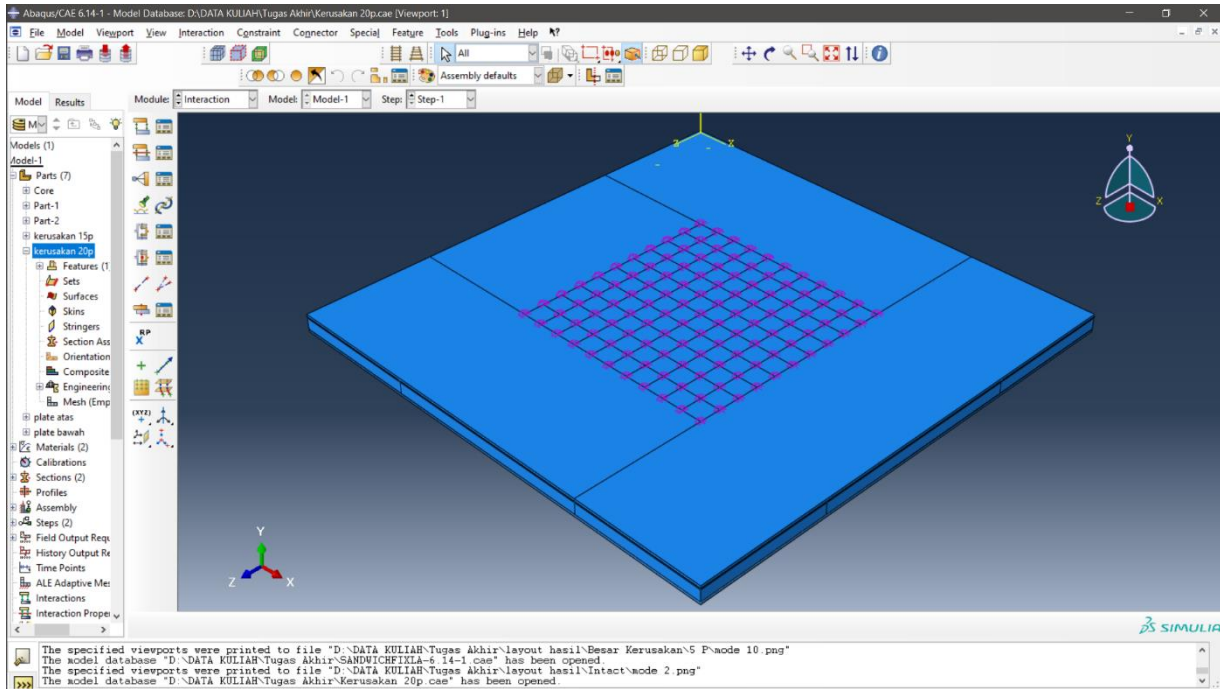
Hasil dari pemotongan geometri yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Permodelan pada 20% Kerusakan

### 4.2.3. *Spring Element* pada kondisi *core* material yang mengalami kerusakan

Langkah yang dilakukan untuk memasang *spring element* yaitu pada modul *Interaction*, lalu pilih *toolbar Special > Spring Element > Create*. Pilih *node* yang telah dipartisi dibagian *core* material setelah itu pilih *node* dibagian *face plate* pada model. Hasil dapat dilihat pada Gambar 4.12.



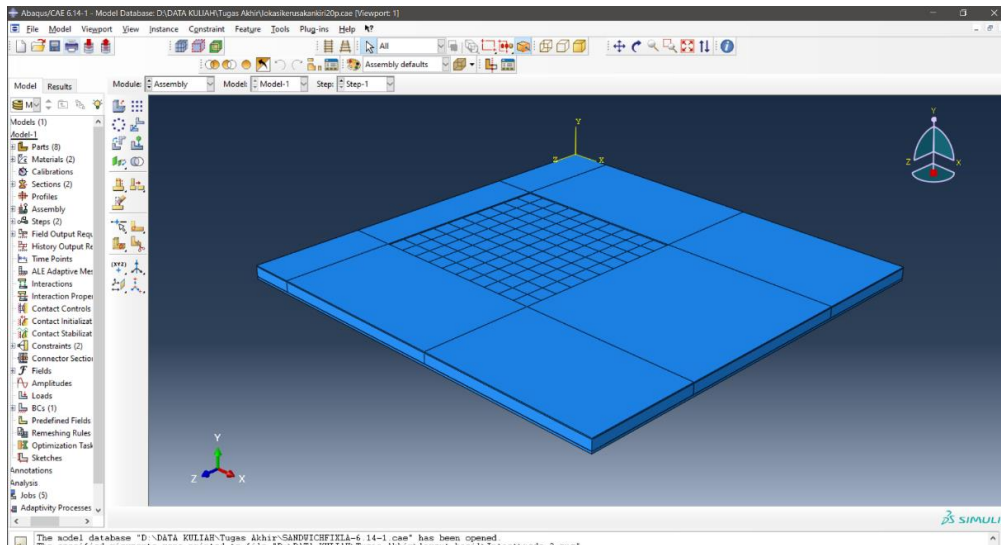
Gambar 4. 12 Hasil *Spring Element* pada Model

### 4.3. Permodelan plat *sandwich* pada variasi lokasi kerusakan

Pada permodelan lokasi kerusakan ini ada perbedaan yaitu letak lokasi kerusakan dan kondisi batas. Dimana lokasi kerusakan dari variasi yang telah ditentukan. Untuk kondisi batas pada lokasi kerusakan diberi tumpuan jepit (*clamped*) pada satu sisi netral di sumbu *x*.

### 4.3.1. Letak Lokasi kerusakan

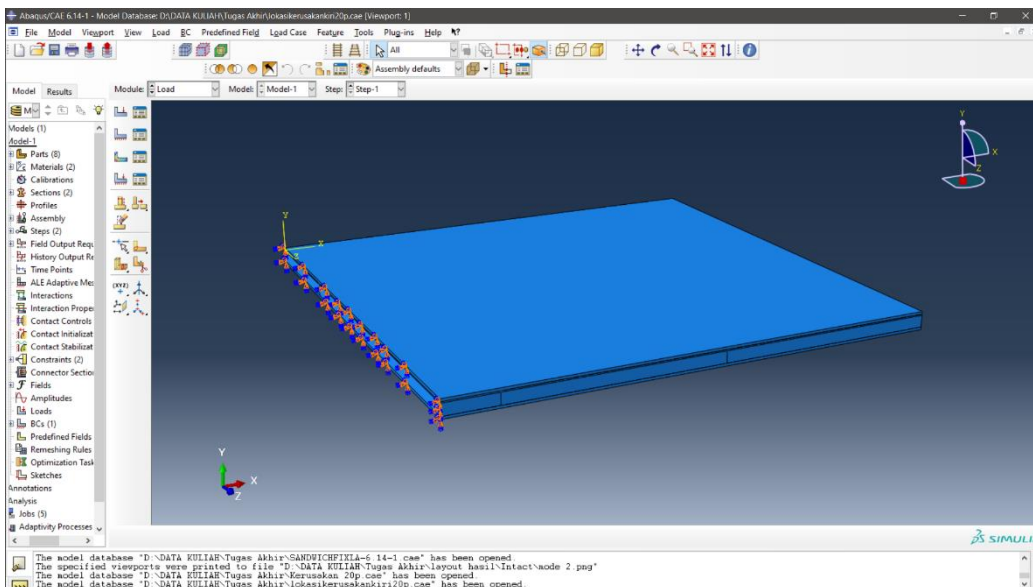
Lokasi variasi lokasi kerusakan sudah ditentukan pada penelitian ini. Dimana pada Gambar 4.13 yaitu contoh dari lokasi kerusakan 0.25 L.



Gambar 4. 13 Permodelan Lokasi Kerusakan pada Jarak 0,25 L

### 4.3.2. Kondisi batas pada lokasi kerusakan

Untuk menentukan kondisi batas dilakukan pada modul **Load** lalu tentukan luasan yang ingin diberi tumpuan jepit (*clamped*). Hasil dari penentuan kondisi batas pada Gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Kondisi Batas *Clamped* pada satu sisi

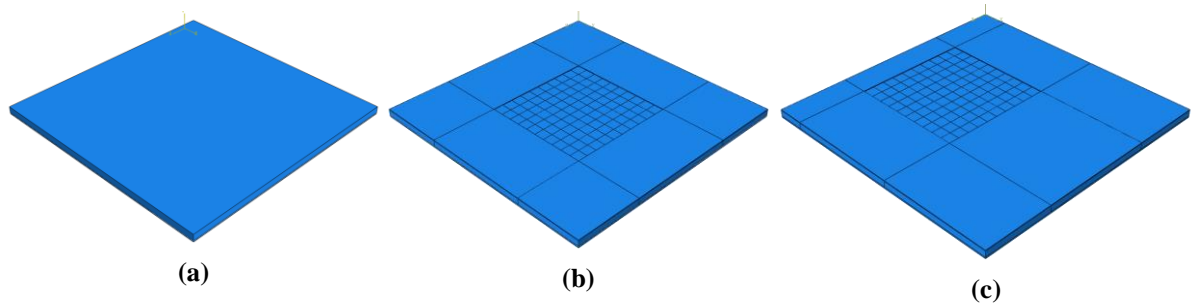
Halaman ini sengaja dikosongkan



## BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1. Data Variasi

Pada penelitian ini menggunakan 3 variasi model yaitu plat *sandwich* utuh atau tidak ada kerusakan (a), plat *sandwich* yang mengalami pengurangan volume *core* 2% dari ketebalan (b), dan kondisi perbedaan lokasi pada kerusakan plat *sandwich* (c) yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut:



Gambar 5. 1 Variasi Permodelan

Ukuran model plat *sandwich* yang digunakan adalah :

No	Bagian	Ukuran (mm)
1	Plat Baja	750 x 750 x 4
2	Material <i>Core</i>	750 x 750 x 20

Tabel 5. 1 Ukuran plat sandwich

### 5.2. Konvergensi

Studi konvergensi yang dilakukan pada penelitian ini untuk menentukan ukuran elemen yang digunakan ketika membuat *mesh* pada model. Dimana dalam literatur mengenai metode elemen hingga (MEH), sering dikatakan untuk mengetahui akurasi dari solusi elemen hingga semakin meningkat apabila jumlah elemen yang digunakan semakin banyak. Tetapi, penggunaan elemen yang banyak dapat berpengaruh pada waktu yang dibutuhkan saat proses komputasi. Konvergensi diperlukan untuk mencari suatu nilai yang mendekati nilai sebenarnya pada kondisi nyata. Model pada analisa terdiri dari banyak *mesh* yang membentuk struktur plat *sandwich*. Ukuran dari *mesh*

yang tepat perlu dicari agar nilai dari analisa mendekati kondisi nyata dan kapasitas perangkat yang digunakan tetap memadai. Agar pengerjaan efektif dan sesuai dengan waktu yang dibutuhkan.

Ada beberapa tahapan untuk melakukan konvergensi yaitu :

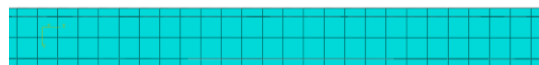
- Pemilihan Ukuran *mesh*

Untuk permodelan ini, dilakukan *meshing* dengan ukuran awal 50 mm dan selanjutnya ukuran *mesh* dikurangi menjadi 40 mm, 30 mm, 20 mm hingga 10 mm. Dikarenakan ukuran *mesh* masih dapat diperkecil agar mendapatkan hasil yang konvergen, ukuran *mesh* diperkecil menjadi 8,5 mm, 7,5 mm, 6,5 mm, 5,5 mm hingga 4,5 mm. Dimana pada kondisi ukuran *mesh* 4,5 mm sudah konvergen.

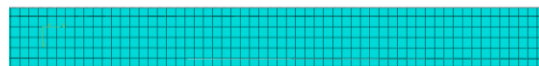
Langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan perubahan ukuran *mesh* sebagai berikut :

1. *Mesh* pada ukuran awal yang telah di-*running* dan dibaca hasilnya lalu dihapus. Pertama hapus *mesh* untuk area dengan perintah *clear*. Setekah itu menghapus elemen garis pada modul *mesh*.
2. Masukkan ukuran *mesh* baru yang dilakukan saat langkah pembuatan *mesh*, namun tidak perlu *mesh attribute*.
3. Untuk menentukan ukuran *mesh*, perlu diketahui bahwa *mesh* area itu terbagi berdasarkan ukuran *mesh* pada garis yang mengelilinginya.

Gambar 5.2 menunjukkan perbedaan geometri ukuran *mesh*.



(a)

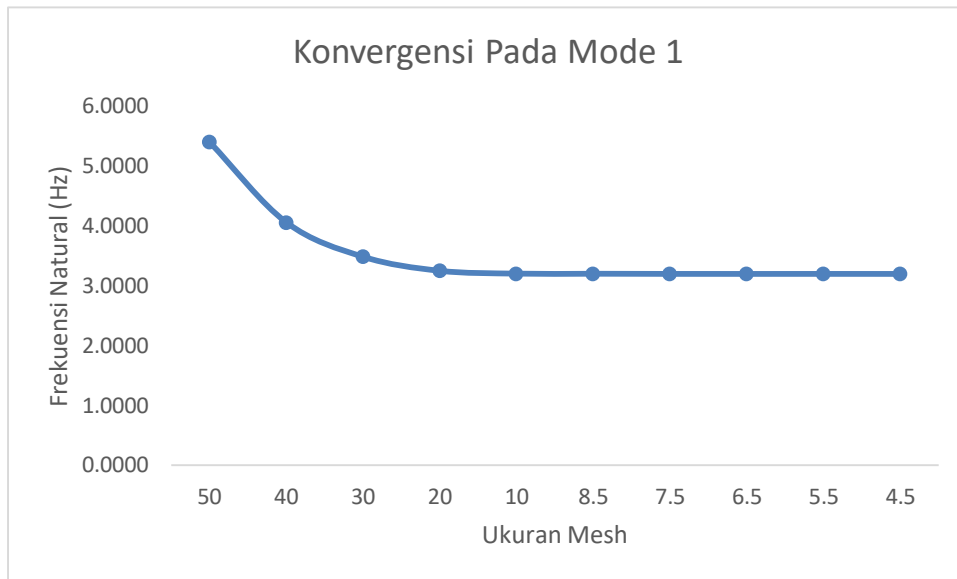


(b)

Gambar 5. 2 Perbedaan ukuran *mesh* (a) Ukuran *mesh* 10 mm, (b) Ukuran *mesh* 4,5 mm

- Hasil Konvergensi Frekuensi natural pada tiap *mesh*

Untuk mengetahui nilai hasil frekuensi natural untuk sebuah nodal yaitu dengan memilih perintah *query result*. Untuk mengetahui jumlah *mesh* atau elemen pada model menggunakan perintah *list element* atau *list nodal*. Setelah itu akan terlihat berapa jumlah elemen *beam* dan berapa jumlah elemen *shell*. Setelah hasil dari tegangan dan jumlah *mesh* diketahui, disusun dalam grafik. Berikut adalah hasil rekapan dalam grafik dari ukuran mesh 50 mm hingga 4,5 mm. Ditunjukkan pada Gambar 5.3 dan Tabel 5.1.



Gambar 5. 3 Grafik Konvergensi pada Mode 1

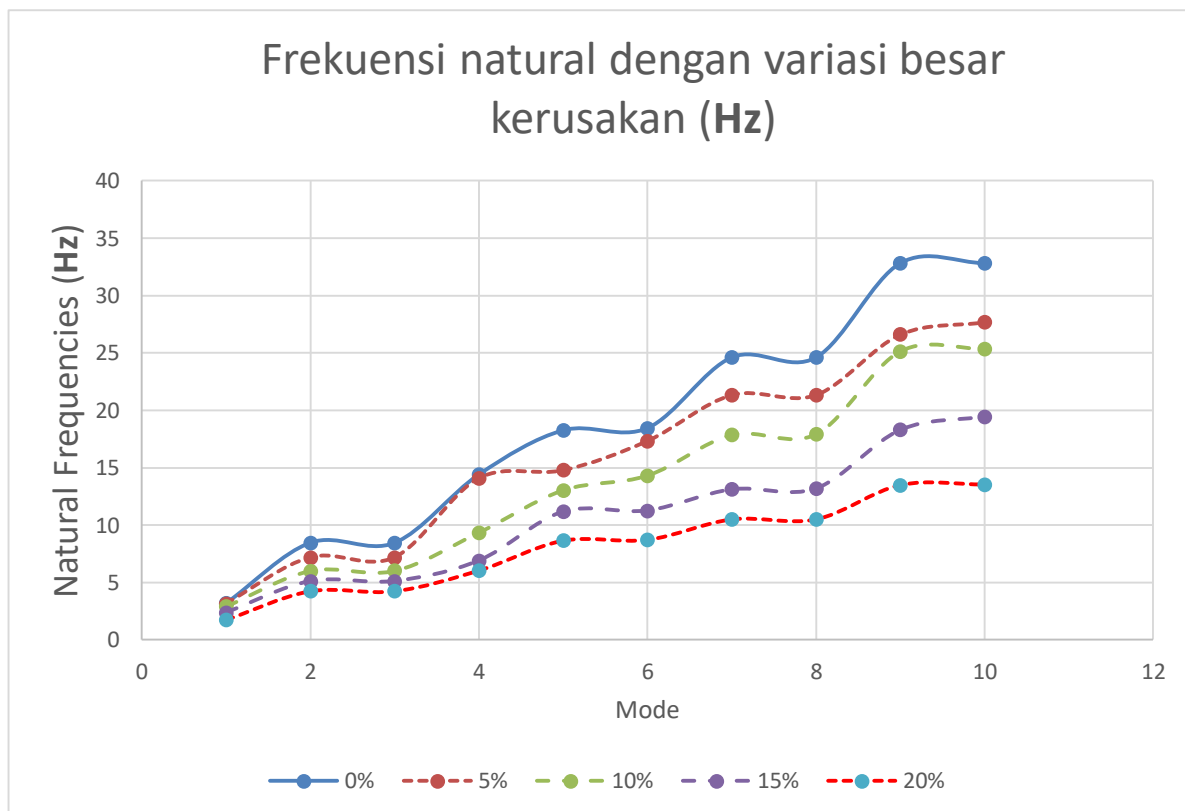
No.	Ukuran Mesh	Nilai Frekuensi Natural pada Mode 1
1.	50 mm	5.4035
2.	40 mm	4.0589
3.	30 mm	3.4833
4.	20 mm	3.2480
5.	10 mm	3.2003
6.	8,5 mm	3.1988
7.	7,5 mm	3.1961
8.	6,5 mm	3.1957
9.	5,5 mm	3.1958
10.	4,5 mm	3.1956

Tabel 5. 2 Hasil Nilai Frekuensi Natural pada Mode 1

Hasil diatas menunjukkan nilai frekuensi natural pada ukuran *mesh* 4,5 mm sudah menunjukkan hasil yang konvergen. Dimana nilai frekuensi natural pada *mesh* 4,5 mm sudah stabil. Pada grafik juga menunjukkan penurunan nilai terbesar pada ukuran *mesh* 40 mm ke 30 mm. Penurunan nilai pada *mesh* 40 mm tersebut juga menunjukkan kestabilan nilai frekuensi natural pada ukuran *mesh* setelahnya. Hingga mendapatkan nilai ukuran *mesh* yang paling optimal dan konvergen yaitu pada ukuran *mesh* 4,5 mm.

### 5.3. Hasil Nilai Frekuensi Natural dengan Variasi Besar Kerusakan

Kerusakan yang dapat mengakibatkan penurunan nilai frekuensi natural pada plat *sandwich*. Dilakukan pada kondisi plat *sandwich* utuh dengan variasi kerusakan sebesar 5%, 10%, 15% hingga 20%. Simulasi dilakukan dari *mode* 1 hingga *mode* 10 agar mendapatkan hasil yang signifikan. Hasil dari analisa yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 5.4 dan Tabel 5.2.



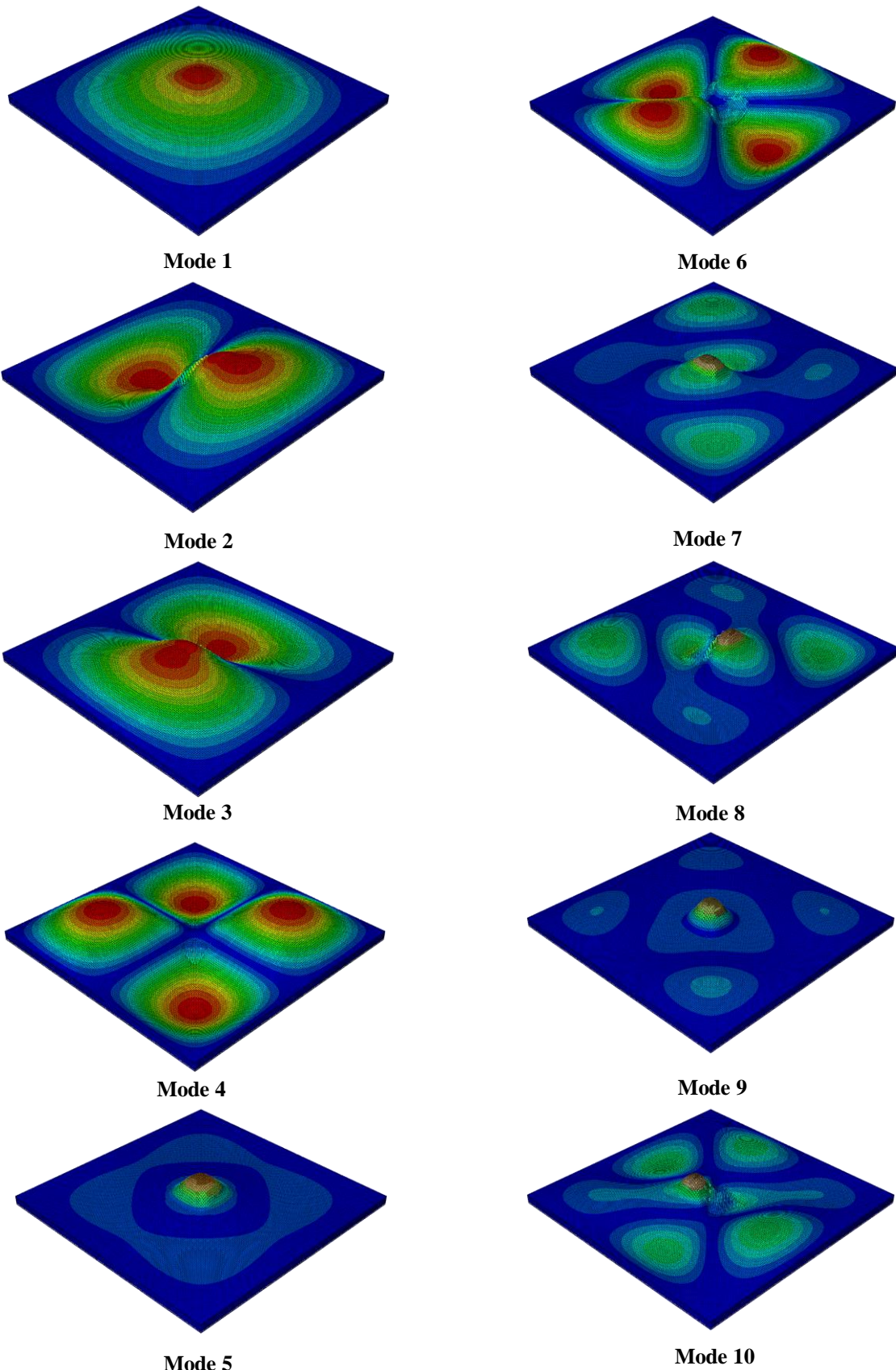
Gambar 5. 4 Grafik Hasil Frekuensi Natural pada Variasi Besar Kerusakan

Tabel 5. 3 Hasil Nilai Frekuensi Natural akibat Besar Kerusakan (Hz)

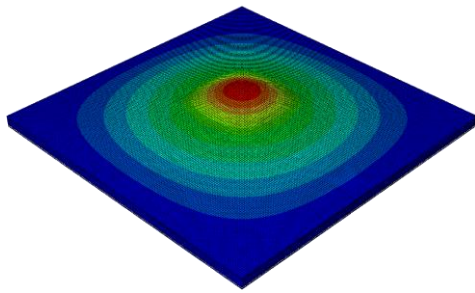
	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>20%</b>
<b>Mode 1</b>	3.1956	3.1599	2.9242	2.3754	1.7514
<b>Mode 2</b>	8.4646	7.1866	6.0175	5.1068	4.2507
<b>Mode 3</b>	8.4646	7.1881	6.0262	5.1167	4.2514
<b>Mode 4</b>	14.418	14.087	9.3569	6.905	6.0492
<b>Mode 5</b>	18.259	14.779	13.042	11.166	8.6477
<b>Mode 6</b>	18.455	17.336	14.321	11.263	8.7243
<b>Mode 7</b>	24.611	21.337	17.86	13.107	10.5
<b>Mode 8</b>	24.611	21.342	17.925	13.193	10.504
<b>Mode 9</b>	32.819	26.613	25.131	18.292	13.486
<b>Mode 10</b>	32.819	27.68	25.346	19.45	13.532

Dari hasil grafik diatas dan hasil tabel nilai natural frekuensi mengalami penurunan pada setiap penambahan besar kerusakan. Dimana semakin besar kerusakan maka nilai natural frekuensi semakin turun. Hal ini sesuai dengan rumus frekuensi natural dari hasil penelitian Lou (2014), bahwa terjadinya kerusakan mengakibatkan pengurangan kekakuan atau *stiffness* pada material. Lalu pengurangan kekakuan tersebut mengakibatkan penurunan frekuensi natural. Dengan kata lain, kerusakan semakin besar mengakibatkan penurunan kekakuan plat *sandwich*. Sehingga penurunan kekakuan tersebut mengakibatkan terjadinya penurunan frekuensi natural. Kerusakan semakin besar → kekakuan turun → frekuensi natural turun.

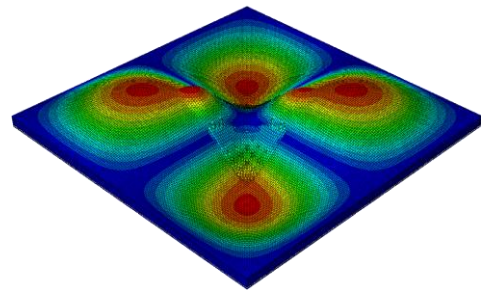
Visualisasi dari hasil pada tiap kerusakan dapat dilihat pada Gambar 5.5, Gambar 5.6, Gambar 5.7, dan Gambar 5.8. Hasil diambil pada tiap besar kerusakan yang digunakan dan setiap mode dari mode 1 hingga mode 10.



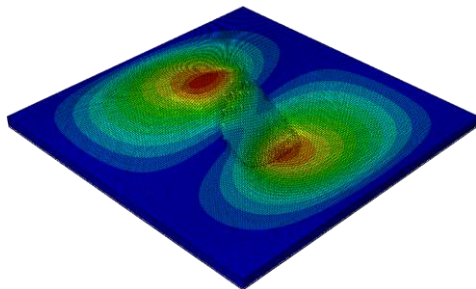
Gambar 5. 5 Hasil Visualisasi Besar Kerusakan 5%



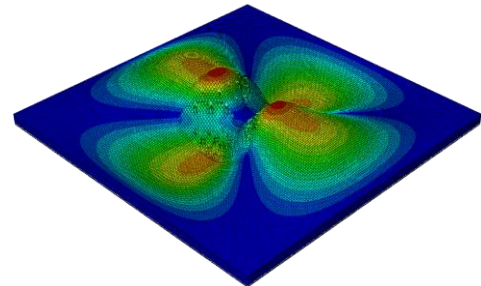
Mode 1



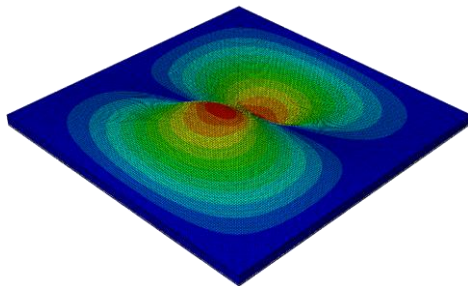
Mode 6



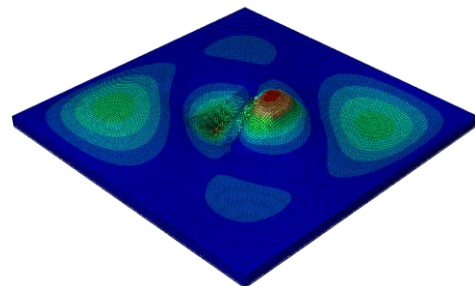
Mode 2



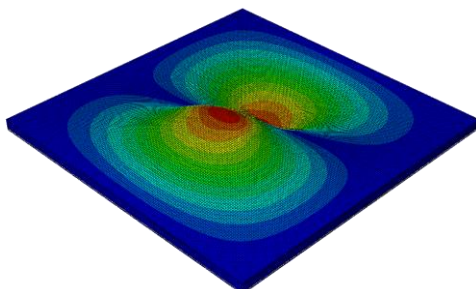
Mode 7



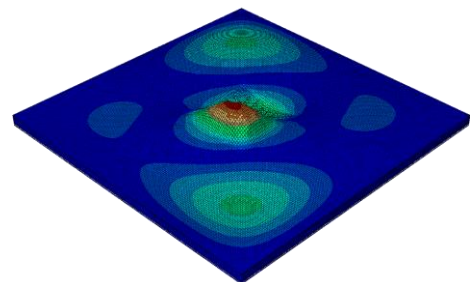
Mode 3



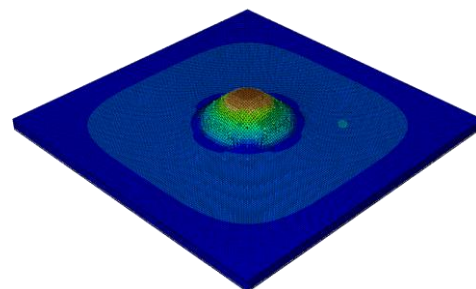
Mode 8



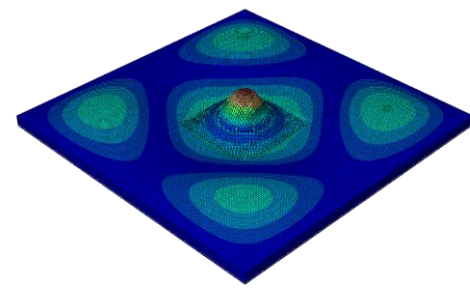
Mode 4



Mode 9

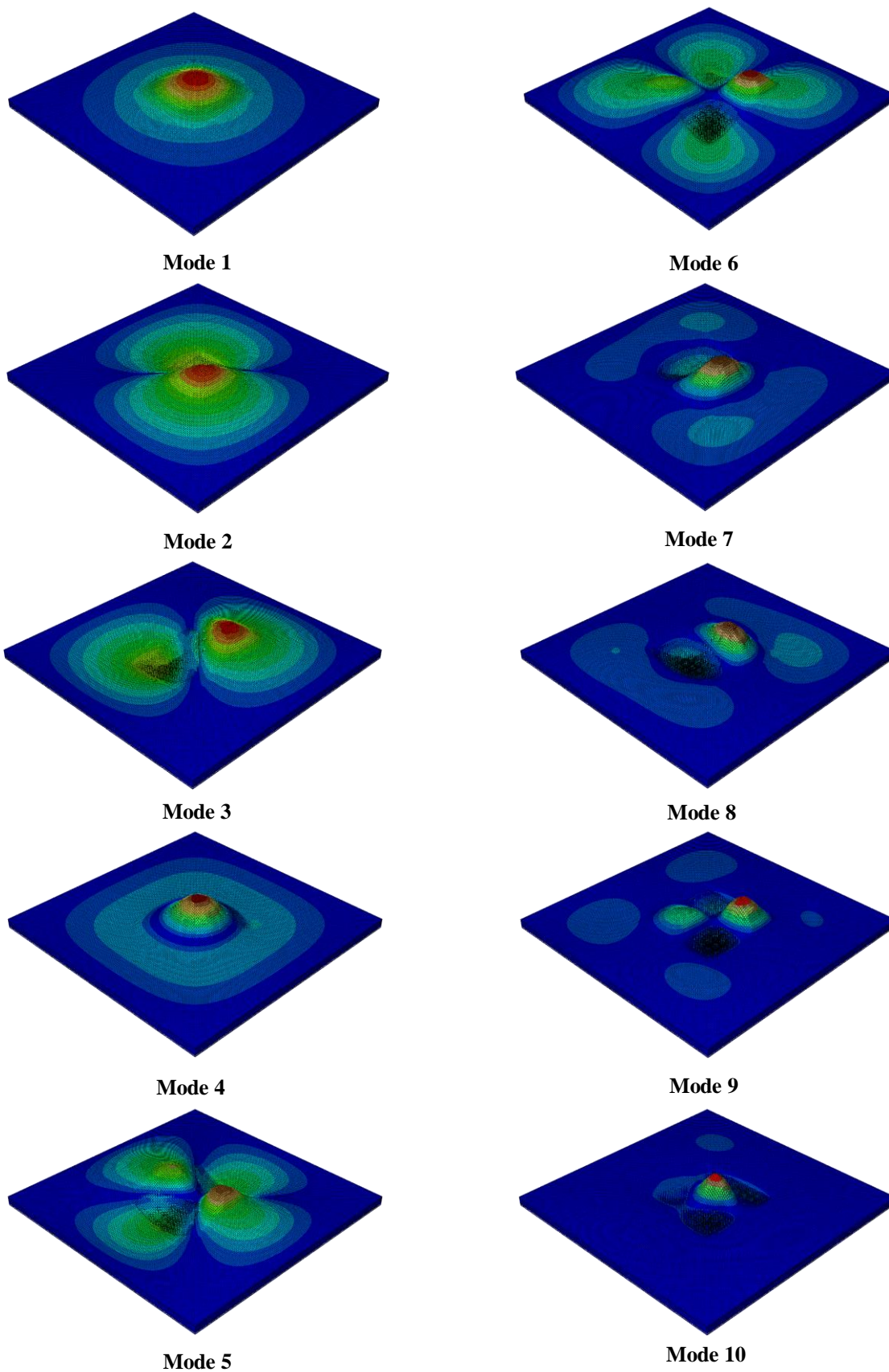


Mode 5



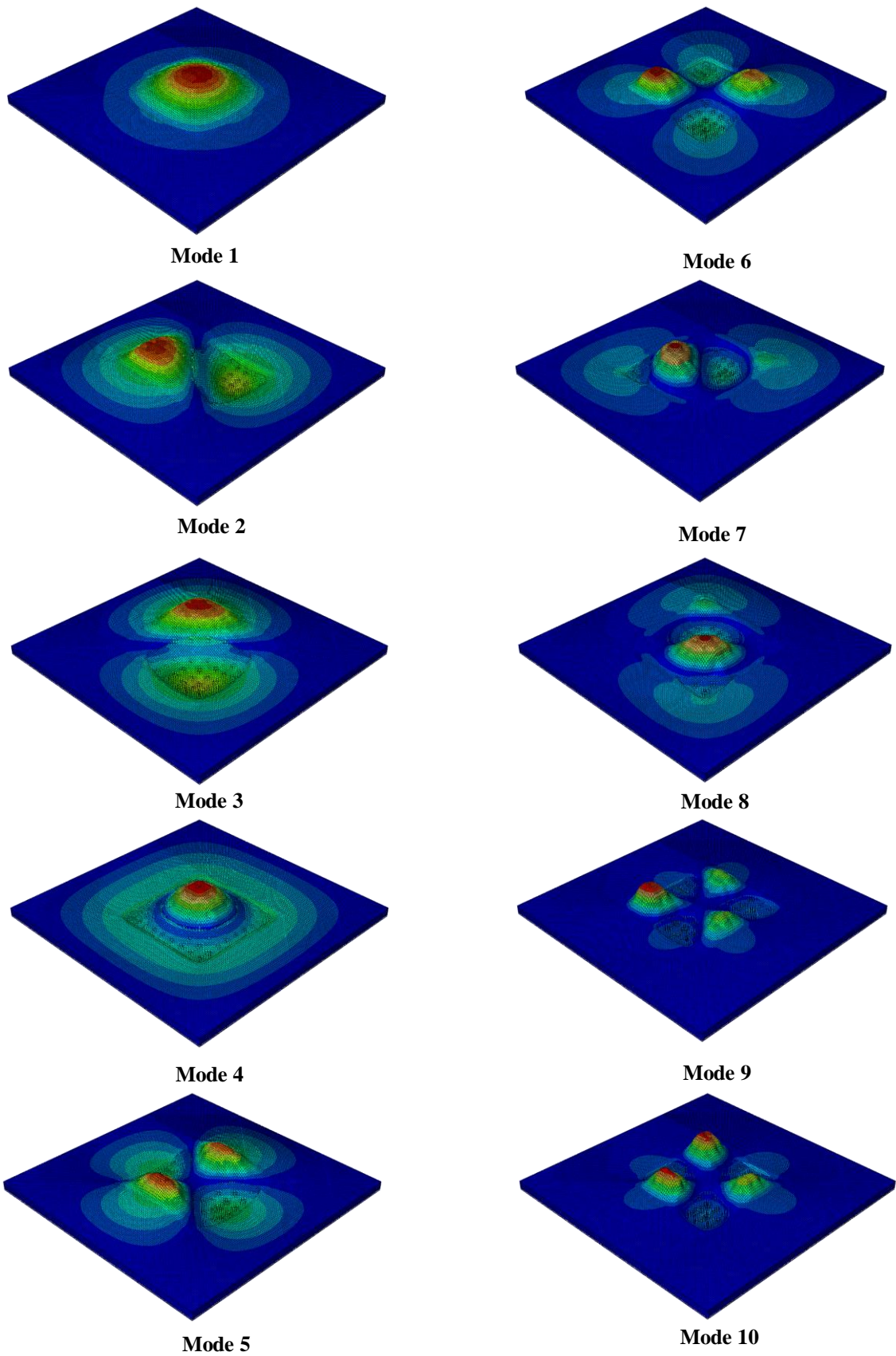
Mode 10

Gambar 5. 6 Hasil Visualisasi Besar Kerusakan 10%



Gambar 5. 7 Hasil Visualisasi Kerusakan 15%





Gambar 5. 8 Visualisasi Kerusakan 20%

#### 5.4. Persentase Penurunan Nilai Frekuensi Natural akibat Kerusakan

Penurunan nilai akibat adanya kerusakan dilakukan untuk mengidentifikasi *mode* berapa yang menunjukkan *mode* paling sensitif. Dimana *mode* ini dapat dijadikan parameter frekuensi natural untuk mengidentifikasi besar dan lokasi kerusakan pada plat *sandwich*. Hasil dari penurunan nilai dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5. 4 Penurunan Nilai Frekuensi Natural Akibat Besar Kerusakan (%)

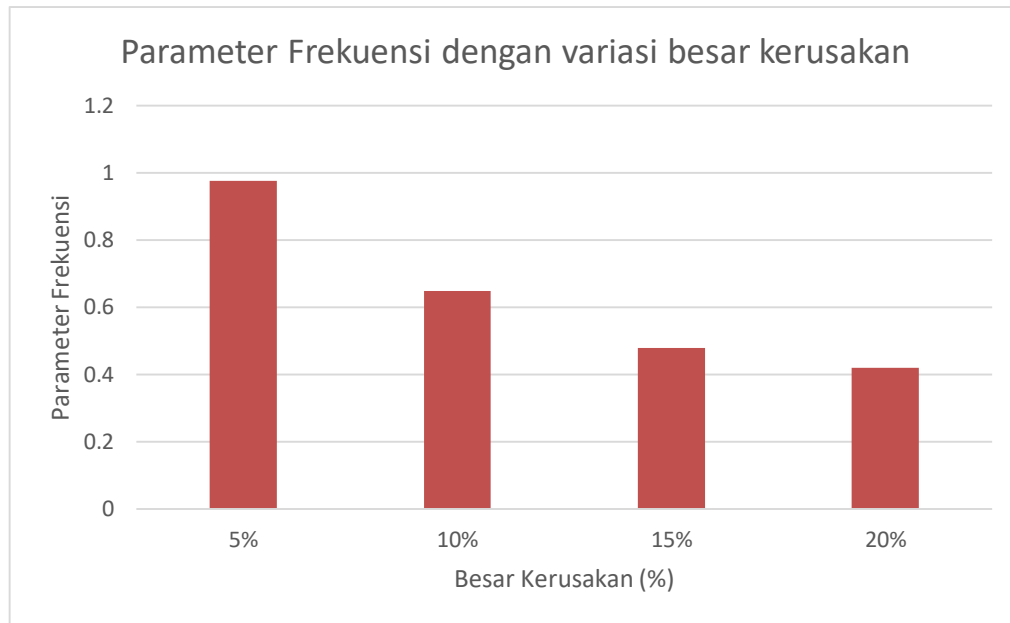
	5%	10%	15%	20%	Rata-rata
<b>mode 1</b>	1.12%	8.49%	25.67%	45.19%	20.12%
<b>mode 2</b>	15.10%	28.91%	39.67%	49.78%	33.36%
<b>mode 3</b>	15.08%	28.81%	39.55%	49.77%	33.30%
<b>mode 4</b>	2.30%	35.10%	52.11%	58.04%	36.89%
<b>mode 5</b>	19.06%	28.57%	38.85%	52.64%	34.78%
<b>mode 6</b>	6.06%	22.40%	38.97%	52.73%	30.04%
<b>mode 7</b>	13.30%	27.43%	46.74%	57.34%	36.20%
<b>mode 8</b>	13.28%	27.17%	46.39%	57.32%	36.04%
<b>mode 9</b>	18.91%	23.43%	44.26%	58.91%	36.38%
<b>mode 10</b>	15.66%	22.77%	40.74%	58.77%	34.48%

Dari hasil diatas terlihat penurunan nilai paling besar yaitu pada *mode* 4 dengan rata-rata pengurangan nilai frekuensi natural sebesar 36,89%. Maka dapat disimpulkan bahwa *mode* 4 memiliki *mode* yang paling sensitif karena besar penurunan nilai frekuensi naturalnya dibandingkan dengan *mode* lainnya. Semakin besar kerusakan, penurunan nilai frekuensi natural semakin besar. Hasil ini terkonfirmasi berdasarkan penelitian (Ismail, et al., 2019). Dengan demikian, *mode* 4 dijadikan acuan untuk mendeteksi besar dan lokasi kerusakan dengan menggunakan Parameter Frekuensi Natural (Lou, et al., 2014).

#### 5.5. Parameter Frekuensi Besar Kerusakan

Parameter frekuensi besar kerusakan diambil pada *mode* 4 dimana pada *mode* ini memiliki sensitifitas paling baik untuk mengidentifikasi kerusakan. Untuk mengetahui refleksi efek dari kerusakan lokal pada frekuensi natural dari struktur plat *sandwich* dilakukan parameter frekuensi besar kerusakan agar mengetahui perbandingan nilai kerusakan dengan kondisi plat *sandwich* utuh.

Dimana hasil dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan Tabel 5.4 berikut.



Gambar 5. 9 Grafik Parameter Frekuensi Besar Kerusakan

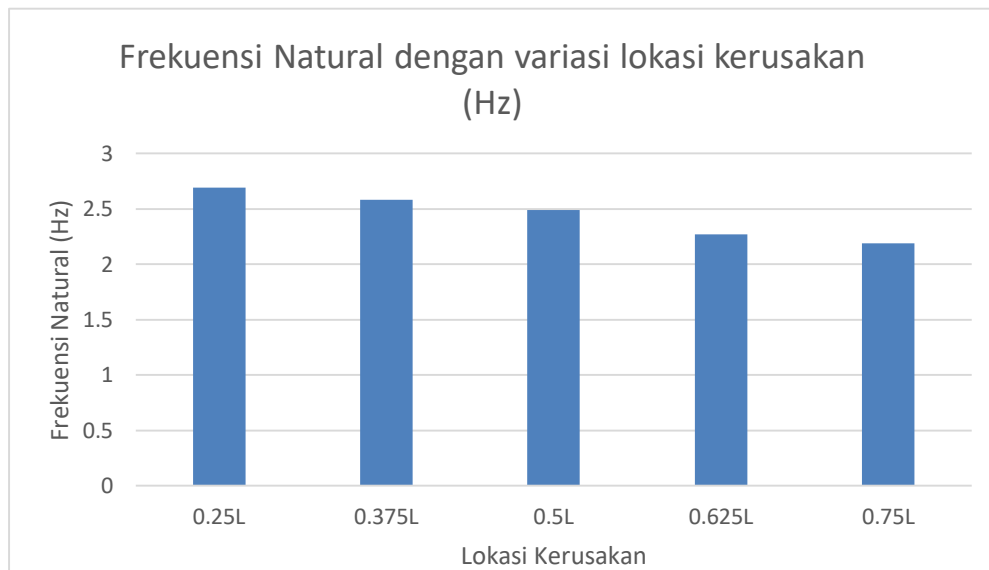
Besar Kerusakan	5%	10%	15%	20%
Parameter	0.977	0.648	0.478	0.419

Tabel 5. 5 Parameter Besar Kerusakan

Hasil dari nilai diatas menunjukkan parameter kerusakan mengalami penurunan setiap pertambahan besar kerusakan. Dimana nilai parameter kerusakan 5% paling besar dengan nilai 0,977043 apabila dibandingkan dengan kerusakan lainnya. Nilai Parameter 5% dan 10% menunjukkan penurunan parameter  $\pm 0,3$  dimana nilai parameter mengalami penurunan yang cukup besar. Nilai Parameter 10% dan 15% menunjukkan  $\pm 0,2$  total pengurangan, dan yang paling kecil perubahan parameter 15% dan 20% yang menunjukkan pengurangan nilai parameter  $\pm 0,05$ . Parameter besar kerusakan ini untuk mengidentifikasi sebesar apa kerusakan apabila nilai parameter menunjukkan angka sekian. Misal, parameter frekuensi besar kerusakan berada di nilai  $\pm 0,7$  maka parameter yang mendekati nilai tersebut adalah kerusakan 10% dengan nilai parameter 0,648. Hasil pada Tabel 5.4 menjadi acuan untuk mengestimasi identifikasi besar kerusakan yang terjadi.

### 5.6. Hasil Nilai Frekuensi Natural akibat Perubahan Lokasi Kerusakan

Nilai frekuensi natural akibat perubahan lokasi kerusakan dengan jarak 0,25 L, 0,375 L, 0,5 L, 0,625 L dan 0,75 L didapat pada *mode* 4. Karena *mode* ini menunjukkan nilai paling sensitif untuk mengidentifikasi kerusakan. Maka dari itu, untuk mencari nilai frekuensi natural akibat perubahan lokasi kerusakan dilakukan pada *mode* 4. Hasil nilai natural frekuensi dapat dilihat pada Gambar 5.10 dan Tabel 5.5.



Gambar 5. 10 Diagram Nilai Frekuensi Natural dengan Variasi Lokasi Kerusakan

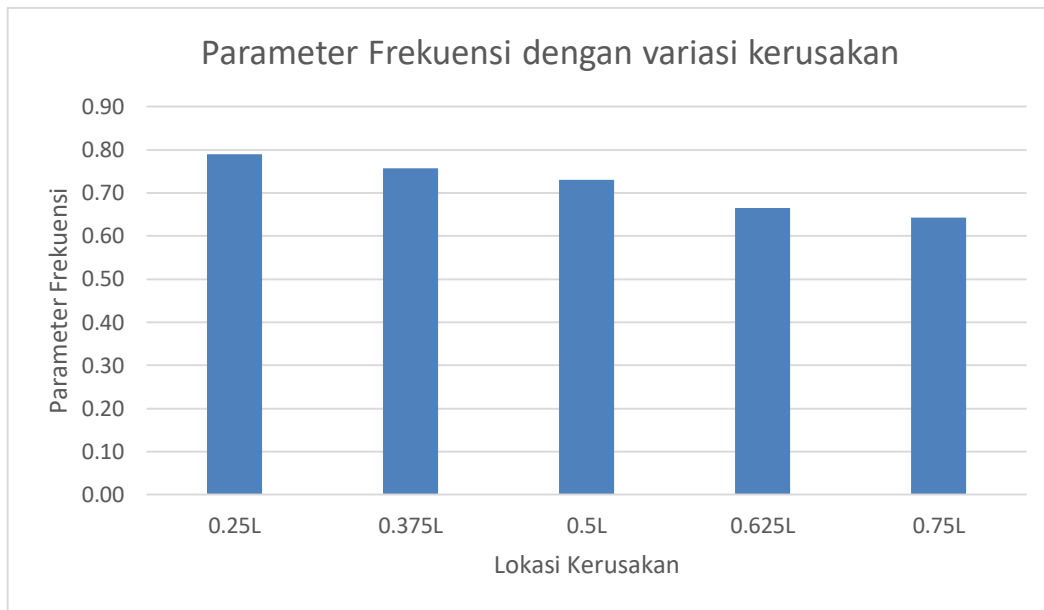
Lokasi Kerusakan	0.25L	0.375L	0.5L	0.625L	0.75L
Nilai Frekuensi Natural (Hz)	2.6909	2.5791	2.4885	2.2666	2.1897

Tabel 5. 6 Hasil Nilai Frekuensi Natural dengan Variasi Lokasi Kerusakan

Hasil diatas menunjukkan penurunan nilai pada setiap lokasi kerusakan setiap penambahan jarak kerusakan yang apabila semakin jauh dari tumpuan jepit (*clamped*) maka nilai frekuensi natural semakin turun, dimana identifikasi lokasi kerusakan mempengaruhi penurunan nilai frekuensi natural. Penurunan nilai pada tiap jarak lokasi kerusakan berkurang  $\pm 0,1$  Hz pada tiap variasi kerusakan yang semakin menjauhi tumpuan jepit (*clamped*).

### 5.7. Parameter Frekuensi Lokasi Kerusakan

Parameter Frekuensi akibat perubahan lokasi kerusakan sama seperti parameter besar kerusakan. Dimana parameter dibandingkan dengan kondisi lokasi kerusakan dengan plat *sandwich* yang utuh. Hasil dari nilai parameter frekuensi natural akibat perubahan lokasi kerusakan dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan Tabel 5.6.



Gambar 5. 11 Diagram Parameter Frekuensi Lokasi Kerusakan

Lokasi	0.25L	0.375L	0.5L	0.625L	0.75L
<b>Kerusakan</b>					
<b>Parameter</b>	0.79	0.76	0.73	0.67	0.64

Tabel 5. 7 Nilai Parameter Frekuensi Natural akibat Perbedaan Lokasi Kerusakan

Hasil dari parameter diatas menunjukkan penurunan nilai akibat perbedaan lokasi. Dimana nilai parameter turun sebesar  $\pm 0,3$  hingga  $0,4$  kondisi ini menunjukkan pada setiap parameter lokasi kerusakan mengalami penurunan yang cukup stabil. Parameter menjadi acuan untuk menentukan diidentifikasi pada lokasi kerusakan. Ditunjukkan juga pada grafik pada Gambar 5.11 penurunan nilai parameter linear. Dari hasil parameter ini kita dapat mengidentifikasi dimana lokasi rusak buatan. Apabila parameter perbandingan pada lokasi kerusakan dengan plat utuh berada dinilai  $0,7$  maka dapat diidentifikasi bahwa kerusakan terjadi pada lokasi  $0.5 L$ . Parameter ini juga sebagai estimasi

untuk mengetahui lokasi kerusakan pada setiap hasil variasi kerusakan diatas. Identifikasi kerusakan menunjukkan apabila nilai parameter semakin kecil maka lokasi kerusakan semakin jauh dari kondisi batas dengan tumpuan jepit (*clamped*). Dimana pada lokasi kerusakan 0.25 L adalah kerusakan yang paling dekat dengan tumpuan jepit (*clamped*) pada analisa permodelan yang dilakukan pada penelitian ini.

## **BAB 6**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1. Kesimpulan**

Setelah dilakukan percobaan dan penelitian maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penambahan volume kerusakan pada *core* mempengaruhi nilai frekuensi natural pada plat *sandwich*. Perbedaan lokasi kerusakan pada setiap variasi jarak yang telah dilakukan pada penelitian, semakin jauh kerusakan dari kondisi batas pada satu tumpuan jepit (*clamped*) maka nilai frekuensi natural semakin turun.
2. Penurunan nilai frekuensi natural paling besar pada mode 4. Dimana mode ini menunjukkan paling sensitif diantara mode lainnya. Mode 4 menjadi acuan untuk mencari nilai lokasi kerusakan serta parameter untuk mengidentifikasi kerusakan.
3. Identifikasi pada plat *sandwich* yang mengalami rusak buatan yaitu dengan menggunakan parameter kerusakan. Parameter ini dapat mengestimasi berapa besar kerusakan dan dilokasi mana kerusakan terjadi.

#### **6.2. Saran**

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah :

1. Perlu penambahan analisis yang lebih lanjut untuk mendapatkan nilai tren frekuensi natural yang lebih baik.
2. Hasil dari penelitian dapat diaplikasikan pada struktur kapal.

Halaman ini sengaja dikosongkan



## DAFTAR PUSTAKA

- Baidowi A. [et al.]** Penggunaan Sandwich Plate System (SPS) pada Konstruksi Inner Bottom [Journal] // Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan. - 2015. - pp. Vol.12, No. 2, pp. 60-68.
- Brooking M. and Kennedy S.** The Performance, Safety and Production Benefits of SPS Structures for Double Hull Tankers [Book]. - London,UK : Proceedings of the RINA Conference on Double Hull Tankers, 2004.
- Ismail A. [et al.]** Vibration-based damage identification for ship sandwich plate using finite element method [Journal] // 6th International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced Material. - 2019.
- Jweeg Prof. Dr. Muhsin J., Hammond Asst. Prof. Dr. Ali S. and Al-Waily Muhammad** Experimental and Numerical Study of Oblique Crack Effect on Natural Frequency of Different Composite Plate Structure Types [Journal] // Asian Transaction on Engineering. - 2012.
- Lou J. [et al.]** Effects of local damage on vibration characteristics of composite pyramidal truss core sandwich structure [Journal] // Composites Part B: Engineering. - 2014. - pp. 62, 73-87.
- Momcilovic N and Motok M** Estimation of Ship Lightweight Reduction by Means of Application of Sandwich Plate System [Report]. - Serbia : Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, 2009.
- Mula I.A.** Analisis Statis dan Dinamis Sandwich Panel Berbahan Core Material Limbah Cangkang Telur pada Konstruksi Pelat Datar Kapal [Report]. - Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- Ramakrishnan K. and Kumar P.** Application of Sandwich Plate System for Ship Structures [Book]. - UAE : Aries Internasional Research Institute, 2016.
- Register Lloyd's** Provosional Rules for the Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure [Book]. - United Kingdoom : LR, 2015.
- SANDCORE** Best Practice Guide for Sandwich Structures in Marine Applications [Book]. - European Comission Contract No. FP6-506330 : SAND.CORE Co-ordination Action on Advanced Sandwich Structures in the Transport Industries, 2013.
- Sujayanti S. H., Zubaydi A. and Budipriyanto A.** Finite Element Analysis of Ship Deck Sandwich Panel [Journal] // Applied Mechanics and Materials. - 2018. - pp. Vol. 874, pp 134-139.
- Yan Y. [et al.]** Development in Vibration-Based Structural Damage Detection Technique [Journal] // Mechanical Systems and Signal Processing. - 2007. - pp. Vol.65, pp 2198-2211.
- Zubaydi A., Budipriyanto A. and Iswidodo W.** Sandwich Core Material Development for Ship Deck Structure [Journal] // The Third International Conference on Civil Engineering Research (ICCER). - 2017. - pp. pp 86-91.



## LAMPIRAN

Lampiran A *General Arrangement* Kapal *Crude Oil Tanker* 17500 DWT

Lampiran B MIDSHP SECTION KAPAL CRUDE OIL TANKER 17500 DWT

Lampiran C Tabel Perhitungan dan Gambar Hasil *running* Frekuensi Natural pada plat *sandwich* utuh

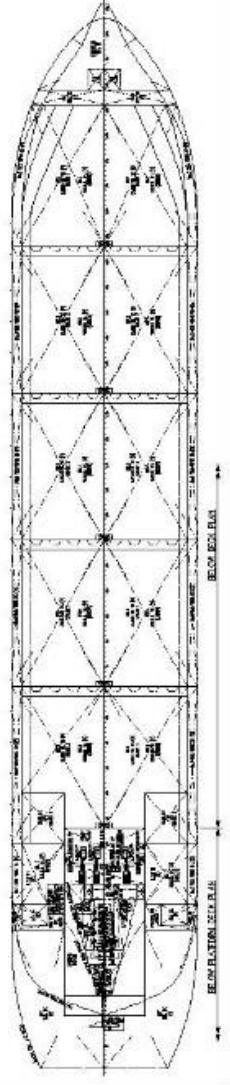
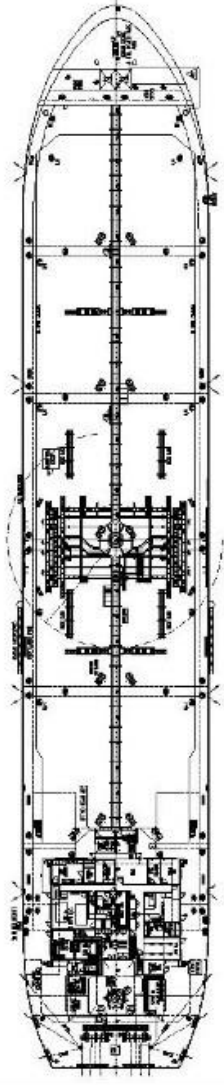
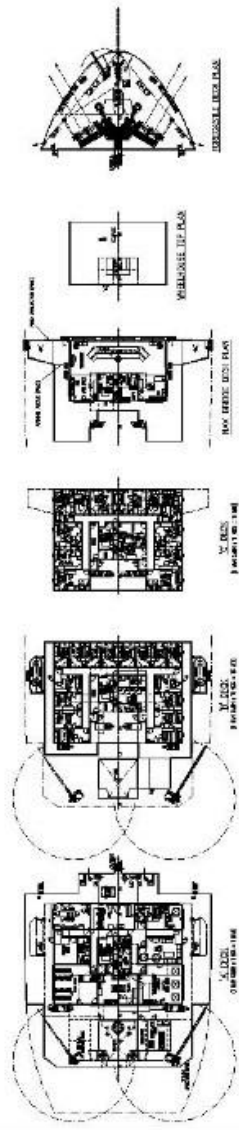
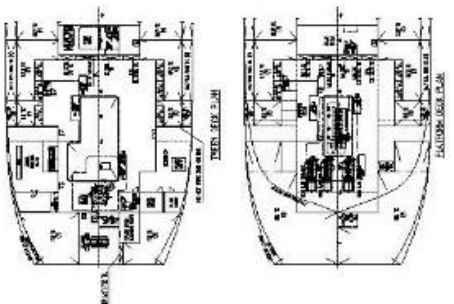
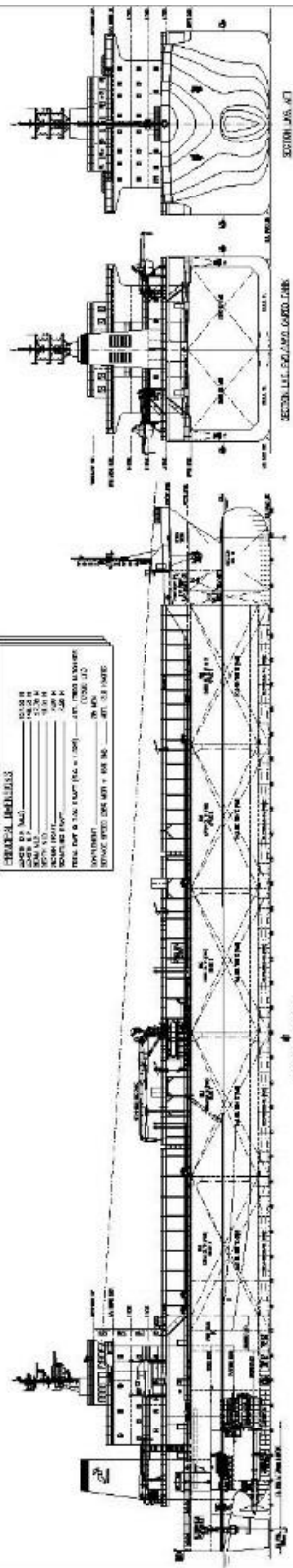
Lampiran D Tabel Perhitungan dan Gambar Hasil *running* Frekuensi Natural dengan Variasi Besar Kerusakan

Lampiran E Tabel Perhitungan dan Gambar Hasil *running* Frekuensi Natural dengan Variasi Lokasi Kerusakan



**LAMPIRAN A**  
***GENERAL ARRANGEMENT* KAPAL CRUDE OIL TANKER**  
**17500 DWT**

GENERAL DIMENSIONS	
LENGTH	110.00
BREADTH	22.00
DRAFT	1.00
DISPLACEMENT	1,000.00
SPECIAL NOTATION: (SEE PAGE 10 FOR DETAILS)	
DATE	1945
DRAWN BY	J. H. [Name]
CHECKED BY	[Name]
APPROVED BY	[Name]



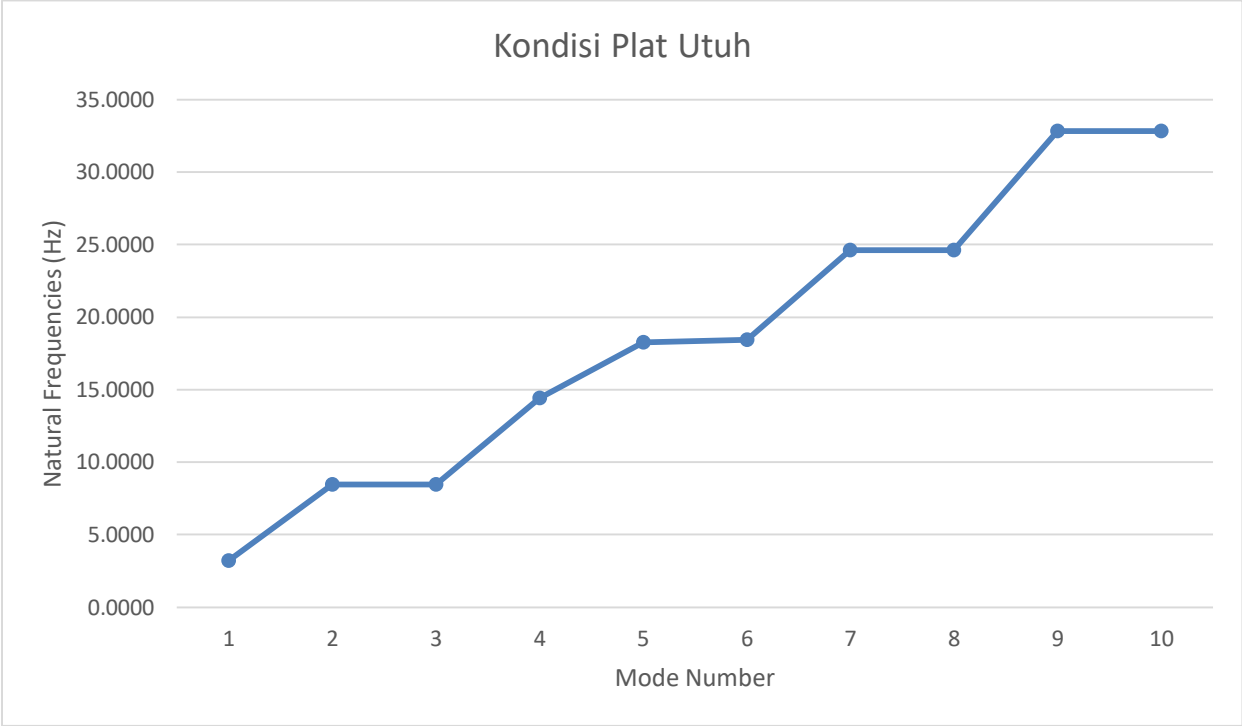
**LAMPIRAN B**  
**MIDSHIP SECTION KAPAL CRUDE OIL TANKER 17500**  
**DWT**





**LAMPIRAN C**  
**TABEL PERHITUNGAN DAN GAMBAR HASIL RUNNING**  
**FREKUENSI NATURAL PADA PLAT SANDWICH UTUH**

# TABEL PERHITUNGAN DAN GAMBAR HASIL RUNNING FREKUENSI NATURAL PADA PLAT SANDWICH UTUH



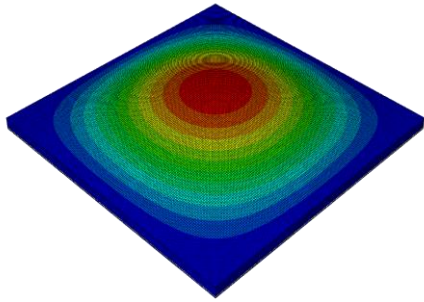
**Grafik Lampiran 1 Frekuensi Natural Kondisi Plat Utuh**

---

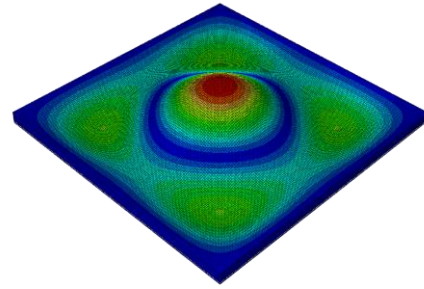
Mode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Frekuensi Natural (Hz)</b>	3.1956	8.4646	8.4646	14.418	18.259	18.455	24.611	24.6110	32.819	32.819

---

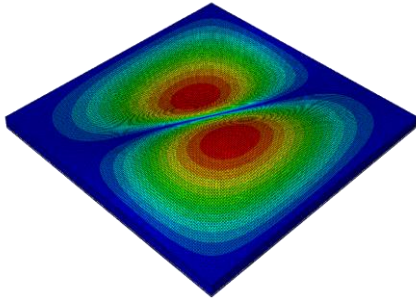
**Tabel Lampiran 1 Nilai Hasil Frekuensi Natural kondisi plat Utuh**



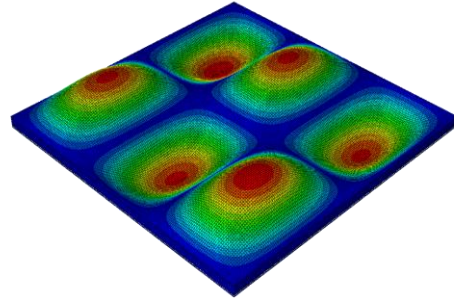
Mode 1



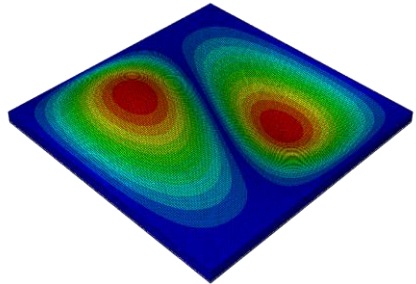
Mode 6



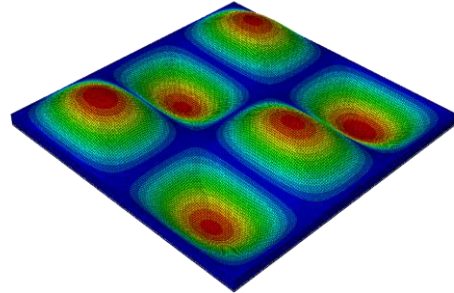
Mode 2



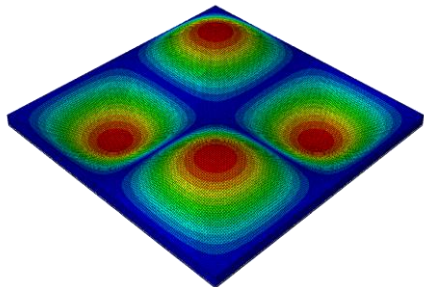
Mode 7



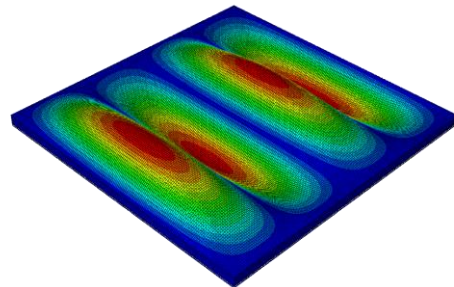
Mode 3



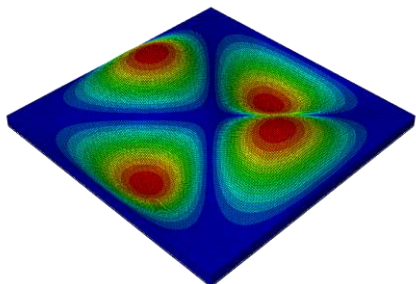
Mode 8



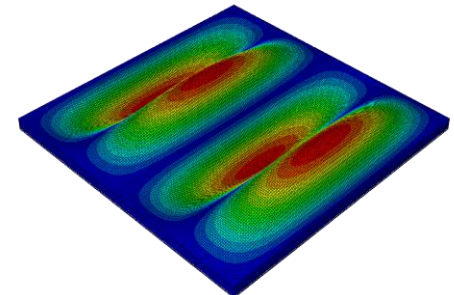
Mode 4



Mode 9



Mode 5

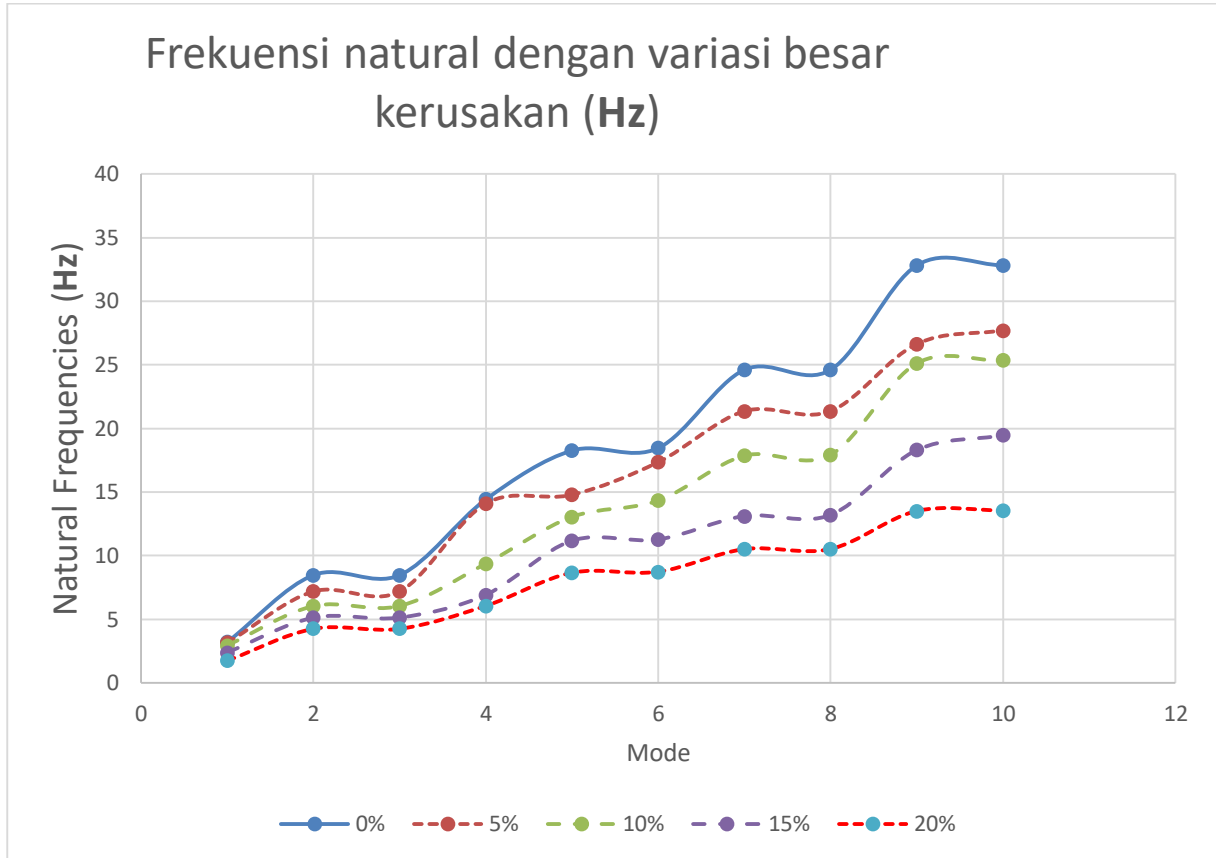


Mode 10

Gambar Lampiran 2 Visualisasi Hasil *running* pada kondisi plat utuh

**LAMPIRAN D**  
**TABEL PERHITUNGAN DAN GAMBAR HASIL RUNNING**  
**FREKUENSI NATURAL DENGAN VARIASI BESAR**  
**KERUSAKAN**

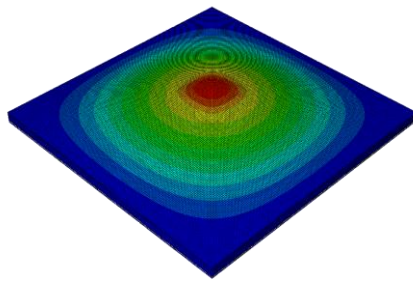
## Tabel Perhitungan dan Gambar Hasil running Frekuensi Natural dengan Variasi Besar Kerusakan



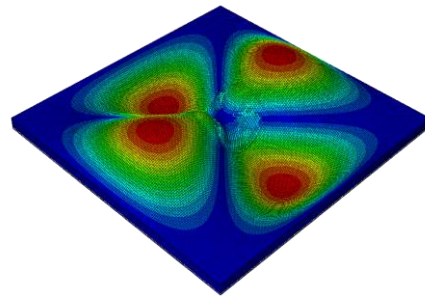
**Grafik Lampiran 2 Frekuensi Natural akibat Besar Kerusakan**

<b>Mode Num.</b>	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>20%</b>
<b>1</b>	3.1956	3.1599	2.9242	2.3754	1.7514
<b>2</b>	8.4646	7.1866	6.0175	5.1068	4.2507
<b>3</b>	8.4646	7.1881	6.0262	5.1167	4.2514
<b>4</b>	14.418	14.087	9.3569	6.905	6.0492
<b>5</b>	18.259	14.779	13.042	11.166	8.6477
<b>6</b>	18.455	17.336	14.321	11.263	8.7243
<b>7</b>	24.611	21.337	17.86	13.107	10.5
<b>8</b>	24.611	21.342	17.925	13.193	10.504
<b>9</b>	32.819	26.613	25.131	18.292	13.486
<b>10</b>	32.819	27.68	25.346	19.45	13.532

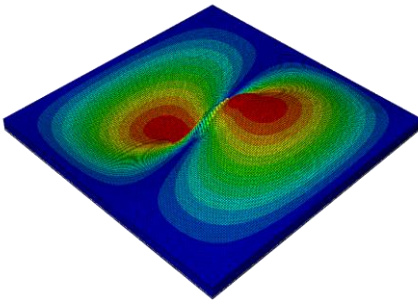
**Tabel Lampiran 2 Nilai Frekuensi Natural akibat besar kerusakan (Hz)**



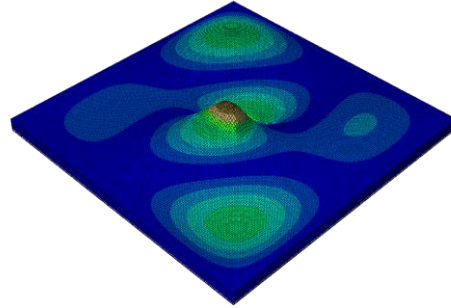
Mode 1



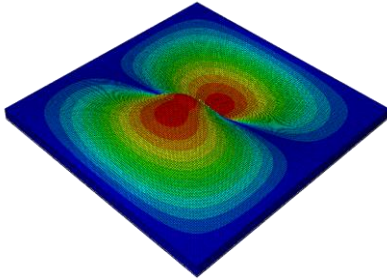
Mode 6



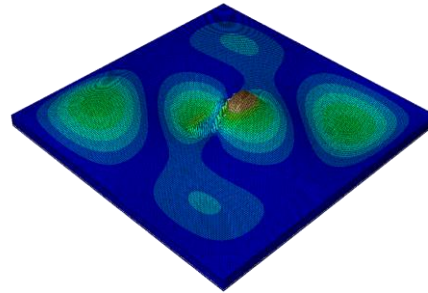
Mode 2



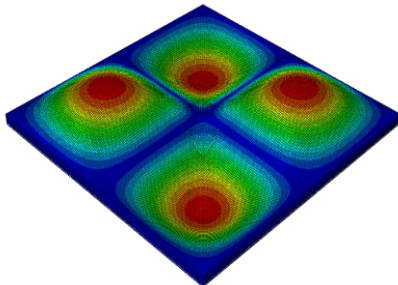
Mode 7



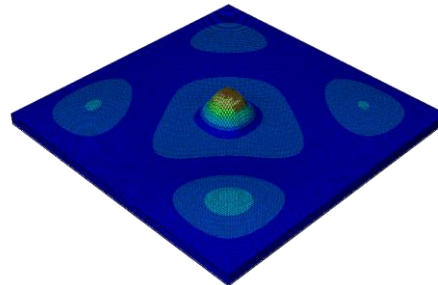
Mode 3



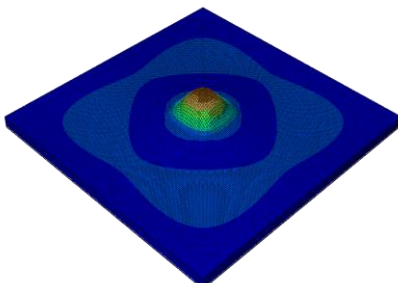
Mode 8



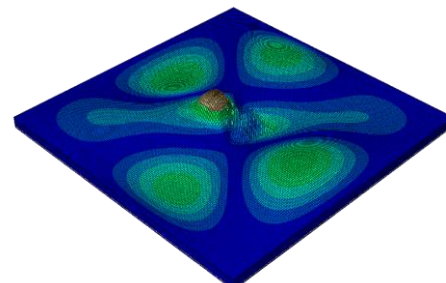
Mode 4



Mode 9

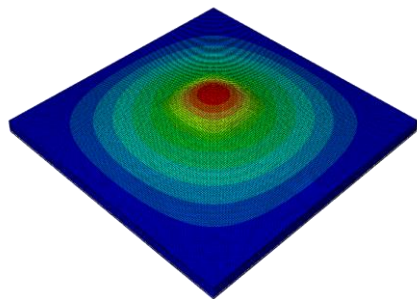


Mode 5

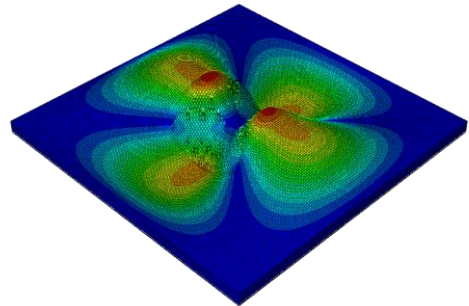


Mode 10

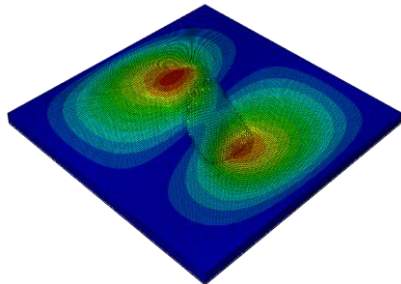
**Gambar Lampiran 3 Visualisasi Hasil *running* pada besar kerusakan 5%**



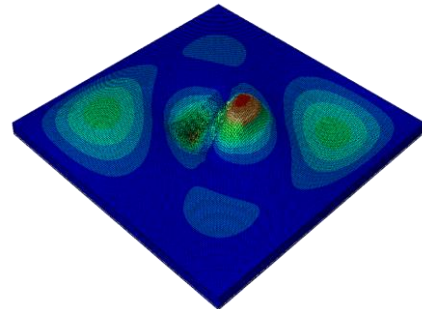
Mode 1



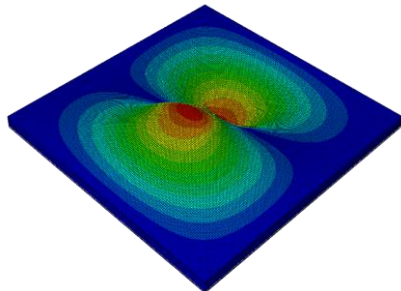
Mode 6



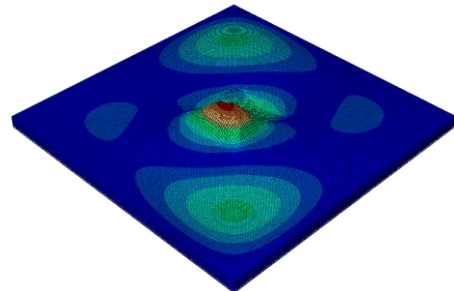
Mode 2



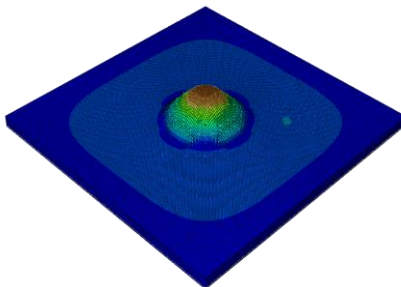
Mode 7



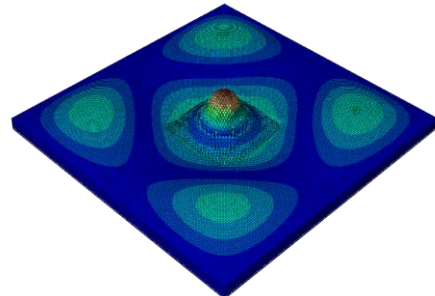
Mode 3



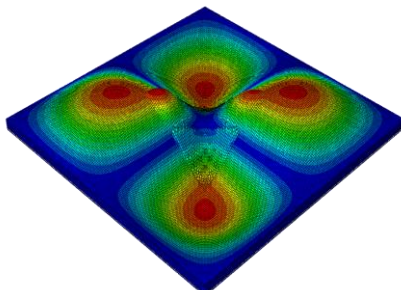
Mode 8



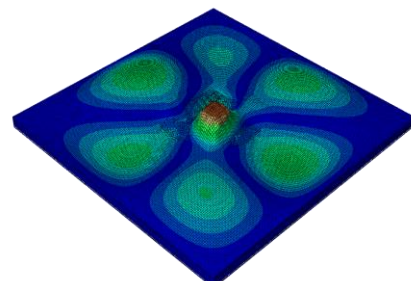
Mode 4



Mode 9

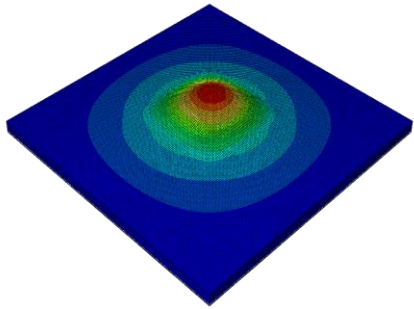


Mode 5

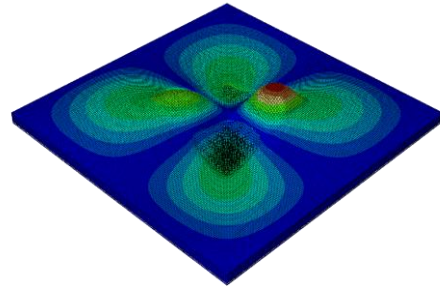


Mode 10

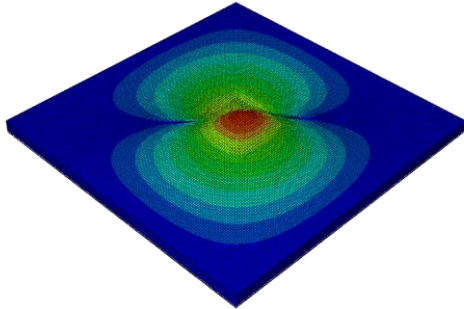
Gambar Lampiran 4 Visualisasi Hasil *running* pada besar kerusakan 10%



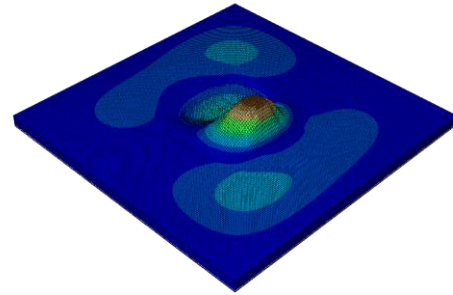
Mode 1



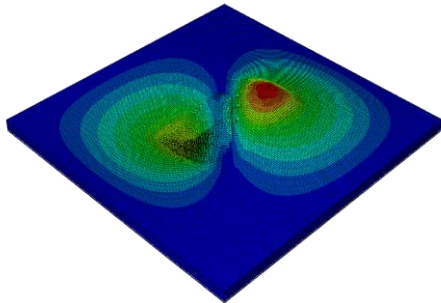
Mode 6



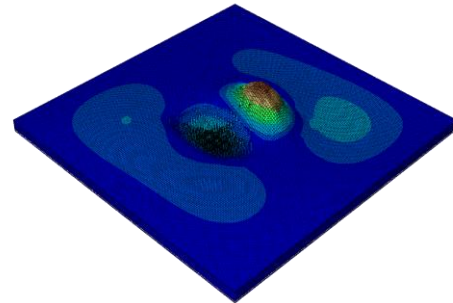
Mode 2



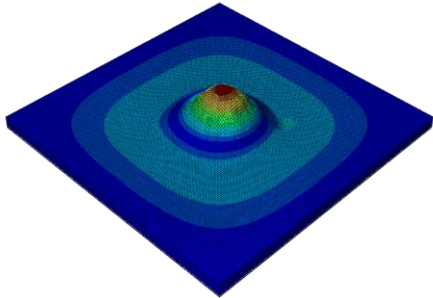
Mode 7



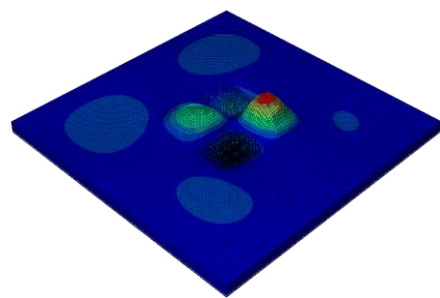
Mode 3



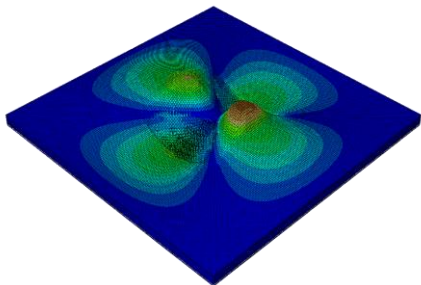
Mode 8



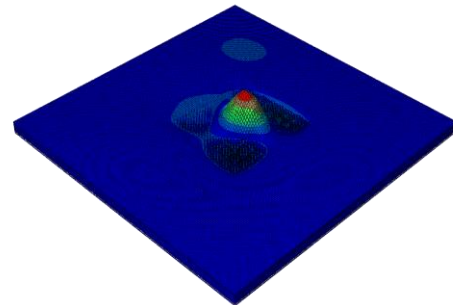
Mode 4



Mode 9



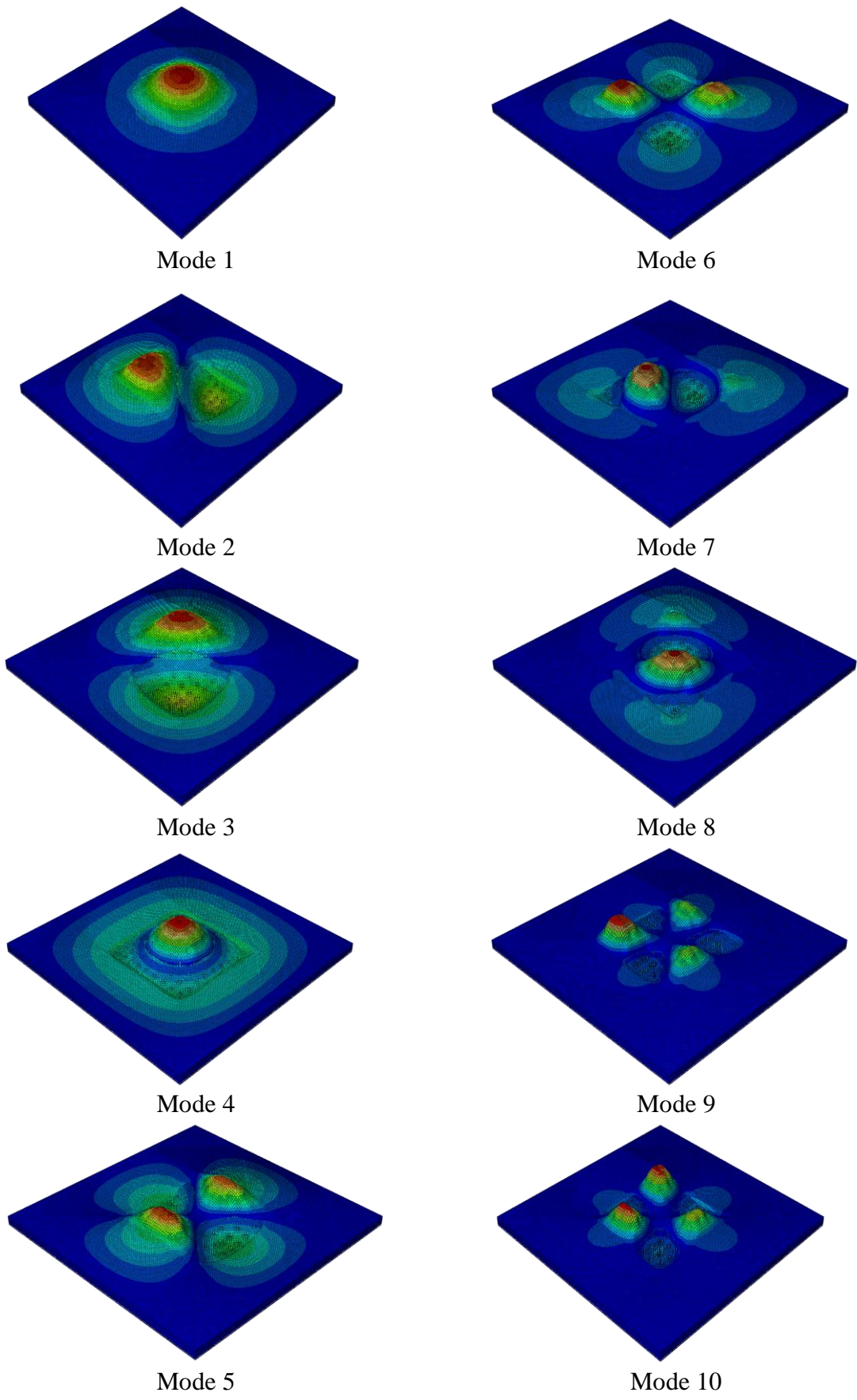
Mode 5



Mode 10

Gambar Lampiran 5 Visualisasi Hasil *running* pada besar kerusakan 15%

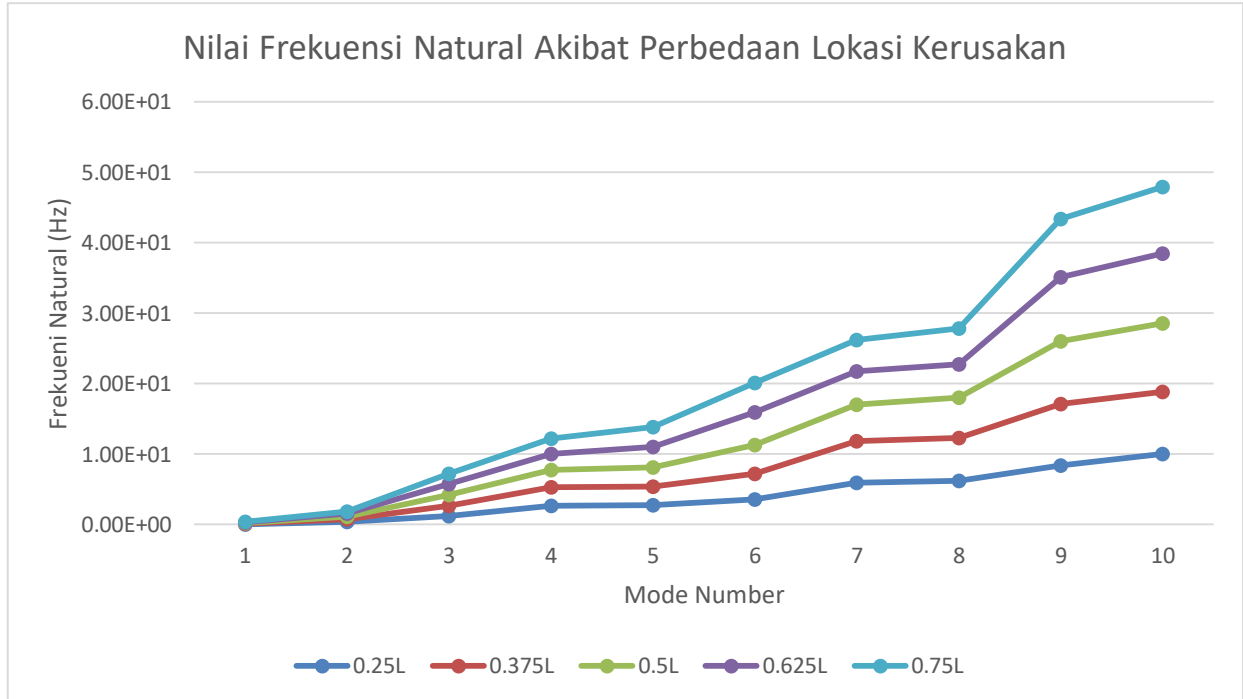




Gambar Lampiran 6 Visualisasi Hasil *running* pada besar kerusakan 20%

**LAMPIRAN E**  
**TABEL PERHITUNGAN DAN GAMBAR HASIL**  
**RUNNINGFREKUENSI NATURAL DENGAN VARIASI**  
**LOKASI KERUSAKAN**

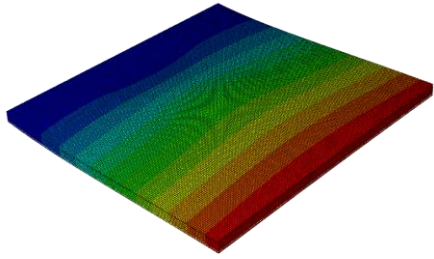
## TABEL PERHITUNGAN DAN GAMBAR HASIL RUNNING FREKUENSI NATURAL DENGAN VARIASI LOKASI KERUSAKAN



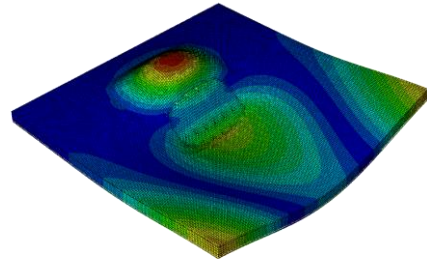
**Grafik 3 Hasil Nilai Frekuensi Natural Akibat Perbedaan Lokasi Kerusakan**

Mode Num.	0.25L	0.375L	0.5L	0.625L	0.75L
1	8.35E-02	8.42E-02	8.69E-02	9.02E-02	9.40E-02
2	0.38465	0.38701	0.38715	0.38066	0.34949
3	1.259	1.4117	1.5546	1.5639	1.4498
4	2.6909	2.5791	2.4885	2.2666	2.1897
5	2.7629	2.6803	2.6423	2.9792	2.7967
6	3.5551	3.6631	4.1313	4.5901	4.2047
7	5.9834	5.841	5.1831	4.7501	4.4183
8	6.2458	6.1083	5.6372	4.7613	5.138
9	8.3622	8.7427	8.9516	9.0218	8.2918
10	10.003	8.8177	9.7302	9.944	9.406

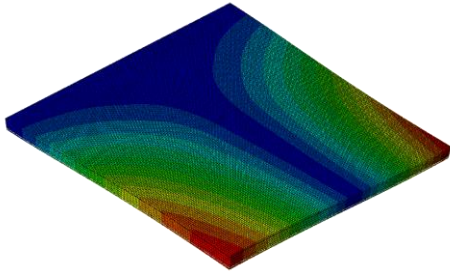
**Tabel 3 Hasil Nilai Frekuensi Natural Akibat Perbedaan Lokasi Kerusakan**



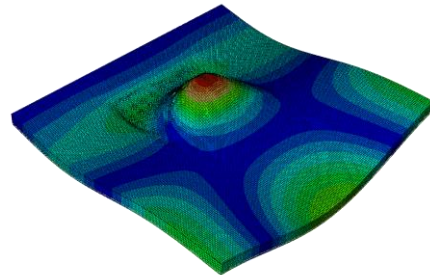
Mode 1



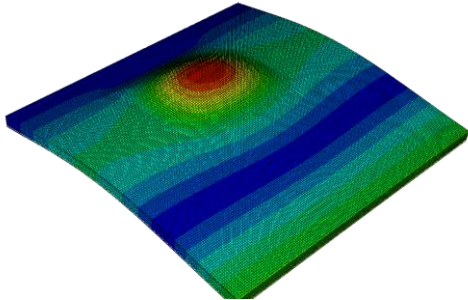
Mode 6



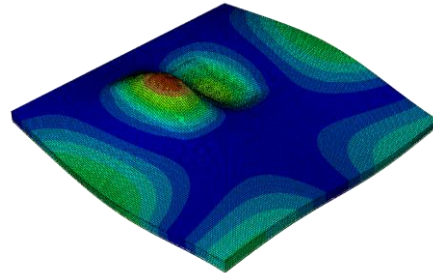
Mode 2



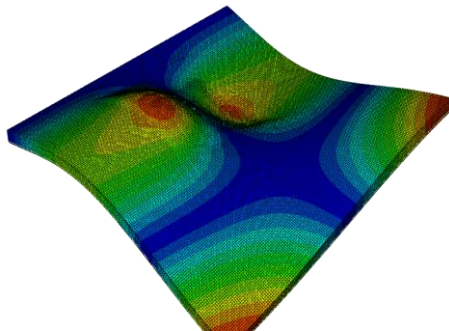
Mode 7



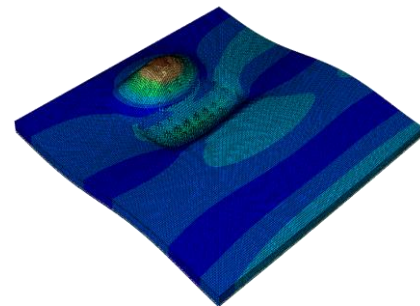
Mode 3



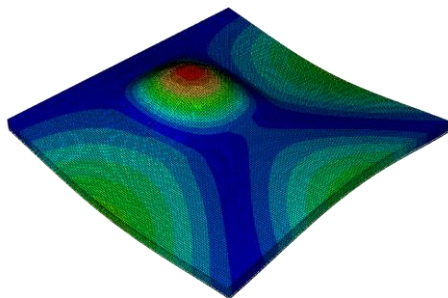
Mode 8



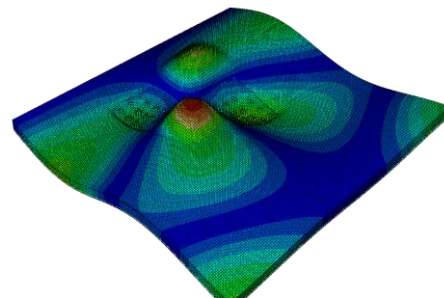
Mode 4



Mode 9

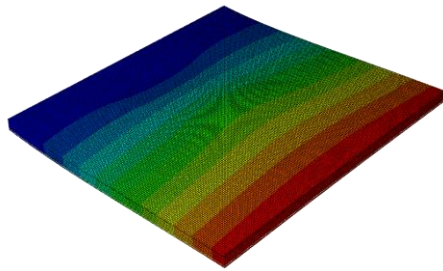


Mode 5

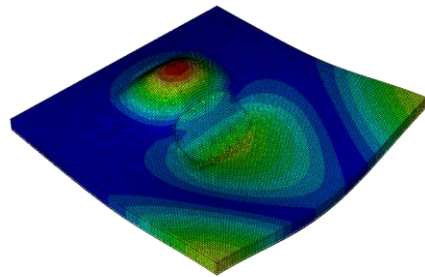


Mode 10

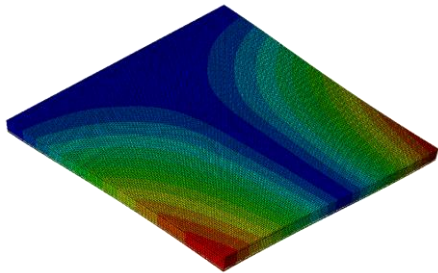
Gambar Lampiran 7 Visualisasi Hasil *running* pada lokasi kerusakan 0,25 L



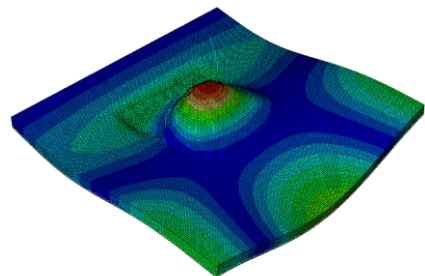
Mode 1



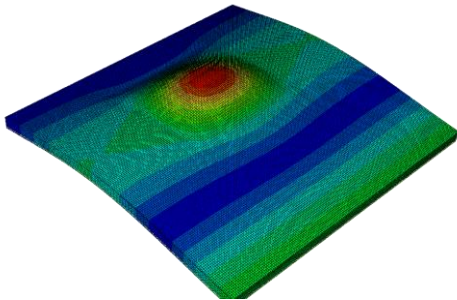
Mode 6



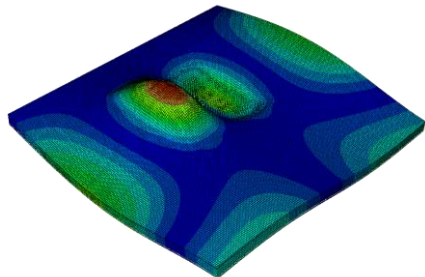
Mode 2



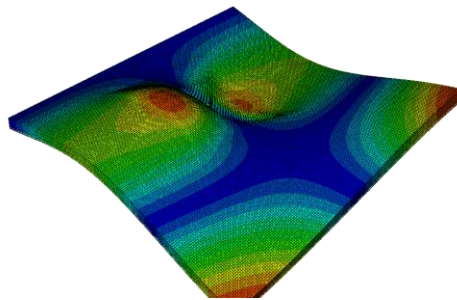
Mode 7



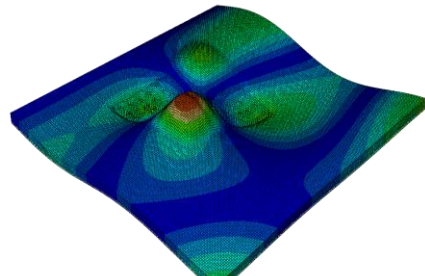
Mode 3



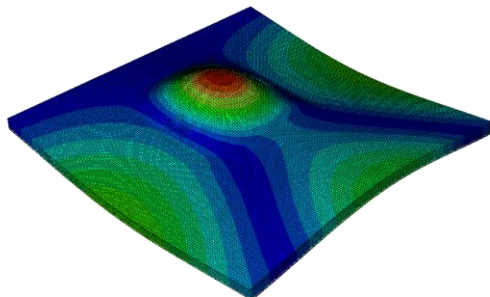
Mode 8



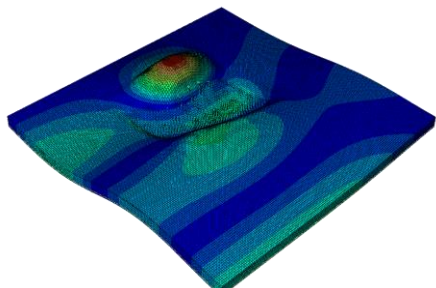
Mode 4



Mode 9

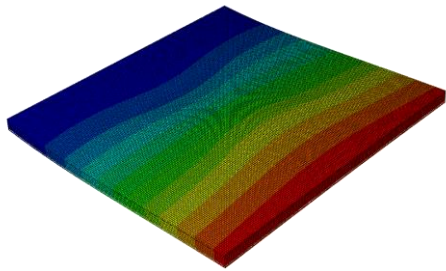


Mode 5

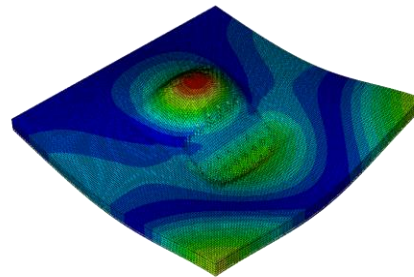


Mode 10

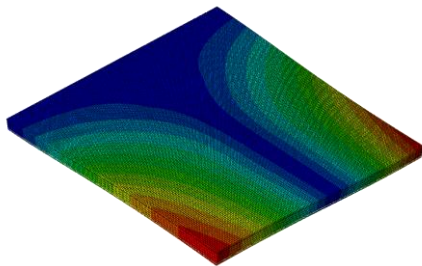
Gambar Lampiran 8 Visualisasi Hasil *running* pada lokasi kerusakan 0,375 L



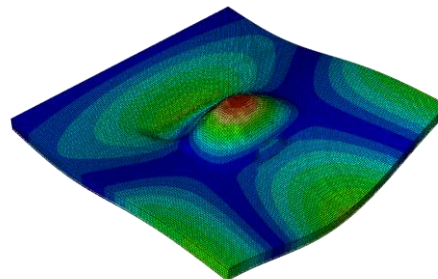
Mode 1



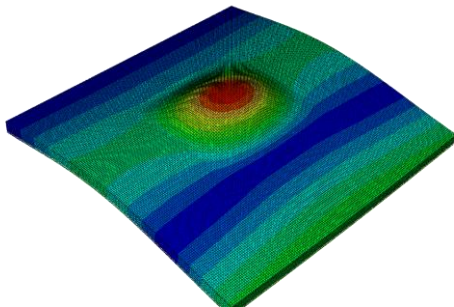
Mode 6



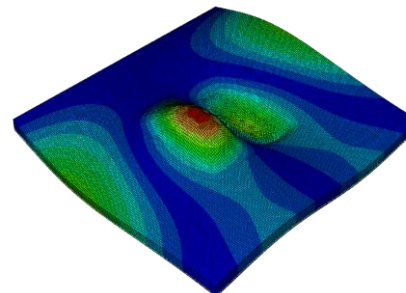
Mode 2



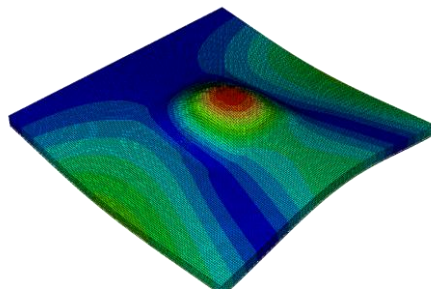
Mode 7



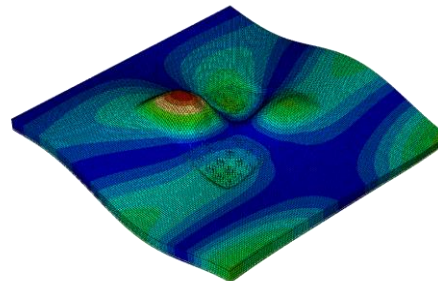
Mode 3



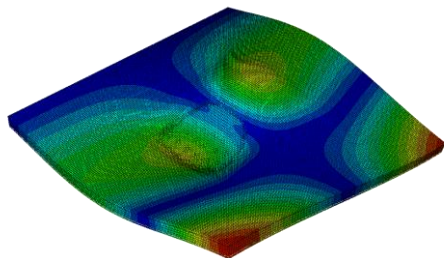
Mode 8



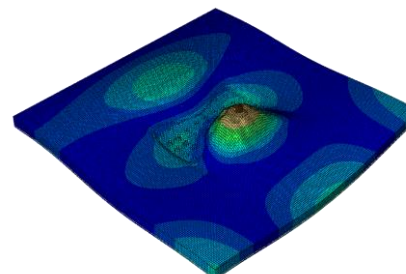
Mode 4



Mode 9

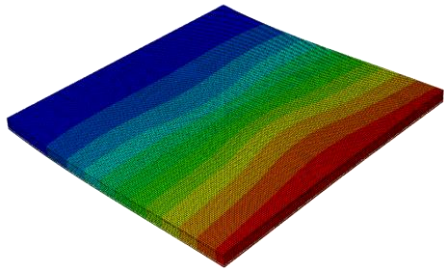


Mode 5

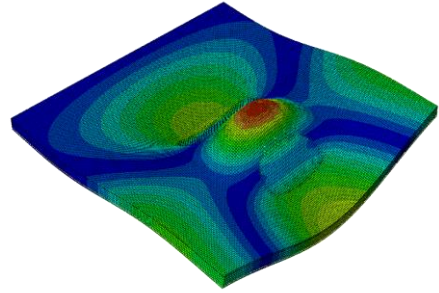


Mode 10

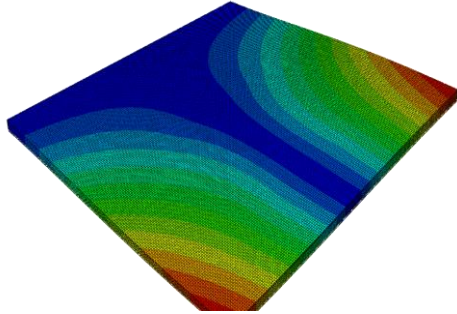
Gambar Lampiran 9 Visualisasi Hasil *running* pada lokasi kerusakan 0,5 L



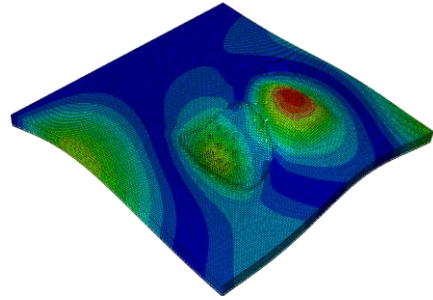
Mode 1



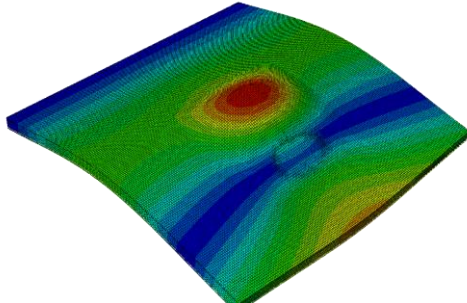
Mode 6



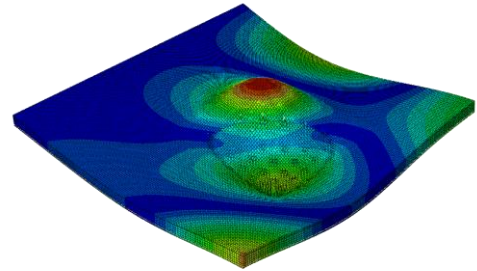
Mode 2



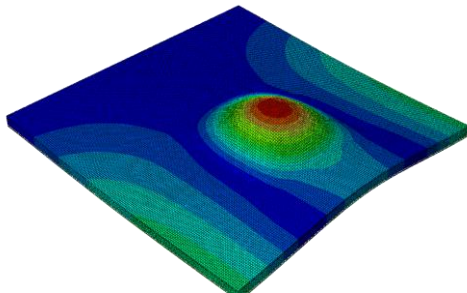
Mode 7



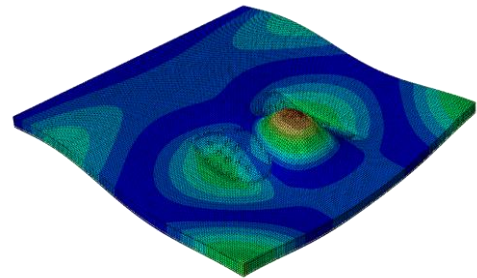
Mode 3



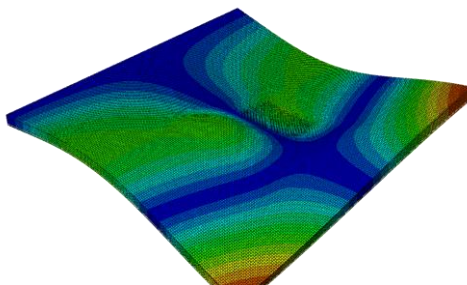
Mode 8



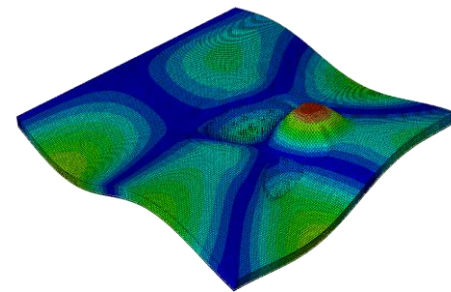
Mode 4



Mode 9

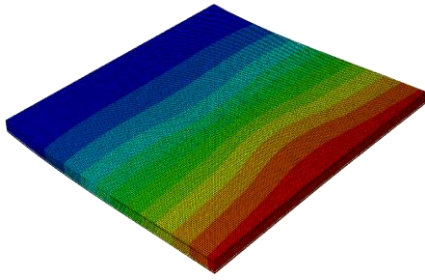


Mode 5

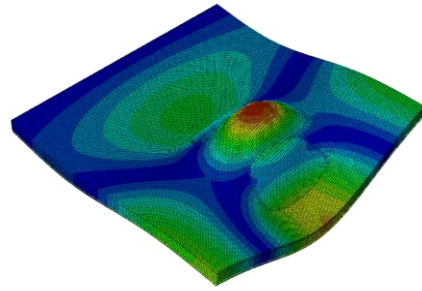


Mode 10

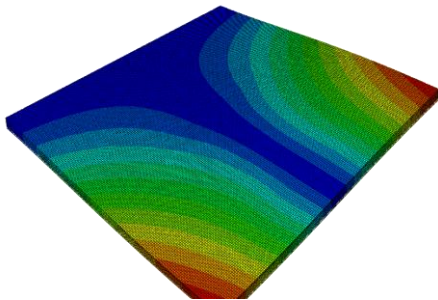
Gambar Lampiran 10 Visualisasi Hasil *running* pada lokasi kerusakan 0,625 L



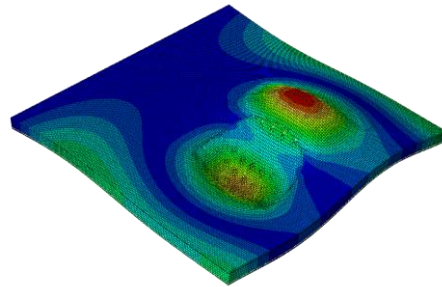
Mode 1



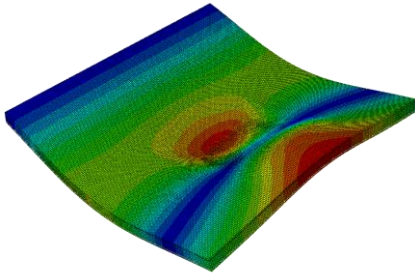
Mode 6



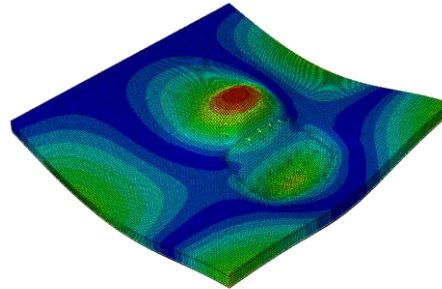
Mode 2



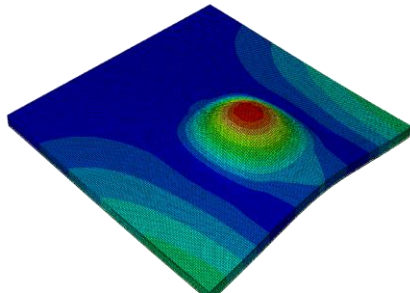
Mode 7



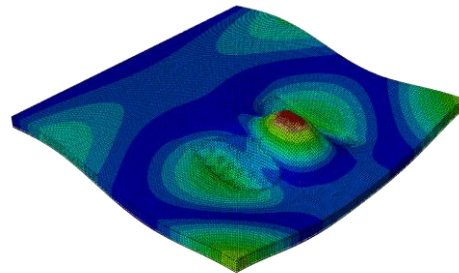
Mode 3



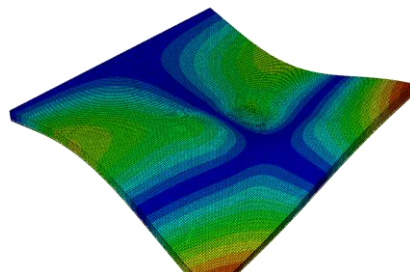
Mode 8



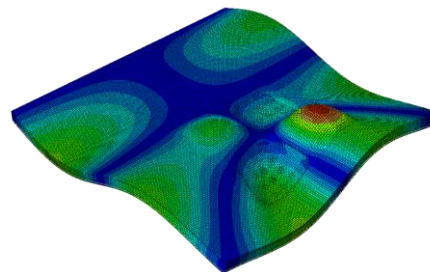
Mode 4



Mode 9



Mode 5



Mode 10

Gambar Lampiran 10 Visualisasi Hasil *running* pada lokasi kerusakan 0,75 L



## BIODATA PENULIS



Mohd. Zircham Al-Syachri, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Pekanbaru pada 12 Desember 1996 silam. Penulis merupakan anak ketiga dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Karnida Bahagia, kemudian melanjutkan ke SDN Negeri 001 Limapuluh, SMP Negeri 4 Pekanbaru dan SMA Negeri 8 Pekanbaru. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2015 melalui jalur Mandiri.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Konstruksi Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah penulis juga pernah menjadi *staff* Departemen Media dan Informasi HIMATEKPAL FTK ITS 2016/2017 serta Kepala Divisi Pemetaan Departemen Perkembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) HIMATEKPAL FTK ITS 2017/2018. Selain itu, penulis juga pernah menjadi Ketua Integrated Roadshow ITS Back to Riau (IRITS) 2016 yang diselenggarakan Ikatan Pelajar Mahasiswa Riau serta sebagai Ketua Ikatan Pelajar Mahasiswa Riau pada tahun 2017 dan kegiatan mahasiswa lainnya.

Penulis tercatat menjadi *grader* untuk mata kuliah Rencana Garis.

Email: [alsyahrizirham@gmail.com](mailto:alsyahrizirham@gmail.com)