



TUGAS AKHIR - MN 234801

**PERANCANGAN *GRAPHICAL USER INTERFACE* (GUI)
DALAM ANALISIS KEKUATAN SEKAT MEMANJANG
TANKER AKIBAT *BENDING MOMENT* BERBASIS METODE
ELEMEN HINGGA**

Hafifah Aprilia Indrianingrum
NRP 5018211062

Dosen Pembimbing
Ir. Teguh Putranto, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025



TUGAS AKHIR - MN 234801

**PERANCANGAN *GRAPHICAL USER INTERFACE* (GUI)
DALAM ANALISIS KEKUATAN SEKAT MEMANJANG
TANKER AKIBAT *BENDING MOMENT* BERBASIS METODE
ELEMEN HINGGA**

**Hafifah Aprilia Indrianingrum
NRP 5018211062**

**Dosen Pembimbing
Ir. Teguh Putranto, S.T., M.T., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025**



FINAL PROJECT - MN 234801

**DESIGN OF GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI) IN THE
ANALYSIS OF LONGITUDINAL BULKHEAD STRENGTH OF
TANKER DUE TO BENDING MOMENT BASED ON FINITE
ELEMENT METHOD**

Hafifah Aprilia Indrianingrum
NRP 5018211062

Dosen Pembimbing
Ir. Teguh Putranto, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2025

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN *GRAPHICAL USER INTERFACE* (GUI) DALAM ANALISIS KEKUATAN SEKAT MEMANJANG TANKER AKIBAT *BENDING MOMENT* BERBASIS METODE ELEMEN HINGGA

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:

HAFIFAH APRILIA INDRIANINGRUM
NRP 5018211062

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing



Ir. Teguh Putranto, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 199005132014041001

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Ir. Teguh Putranto, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 199005132014041001

SURABAYA, 25 Juli 2025

LEMBAR REVISI

PERANCANGAN *GRAPHICAL USER INTERFACE* (GUI) DALAM ANALISIS KEKUATAN SEKAT MEMANJANG TANKER AKIBAT *BENDING MOMENT* BERBASIS METODE ELEMEN HINGGA

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 16 Juli 2025

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

Oleh:

Hafifah Aprilia Indrianingrum
NRP 5018211061

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T. MT.



2. Ir. Mohammad Nurul Misbah, S.T. M.T.



3. Dr. Eng. Ir. Septia Hardy Sujiatanti, S.T. M.T.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Teguh Putranto, S.T., M.T., Ph.D.



SURABAYA, 25 Juli 2025

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa / NRP : Hafifah Aprilia Indrianingrum / 5018211062
Departemen : Teknik Perkapalan
Dosen Pembimbing / NIP : Ir. Teguh Putranto, S.T., M.T., Ph.D. /
199005132014041001

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir saya dengan judul “Perancangan *Graphical User Interface* (GUI) Dalam Analisis Kekuatan Sekat Memanjang Tanker Akibat *Bending Moment* Berbasis Metode Elemen Hingga” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 25 Juli 2025

Mahasiswa



Hafifah Aprilia Indrianingrum

NRP 5018211062

Mengetahui

Dosen Pembimbing



Ir. Teguh Putranto, S.T., M.T., Ph.D.

NIP 19900513 201404 1 001

HALAMAN PERUNTUKAN

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Ir. Teguh Putranto, S.T. M.T. Ph.D. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan, arahan, serta motivasi yang diberikan selama proses pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Ibu Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T. MT., Bapak Ir. Mohammad Nurul Misbah, S.T. M.T. dan Ibu Dr. Eng. Ir. Septia Hardy Sujatanti, S.T. M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik saran dan masukan untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
3. Bapak Ir. Erzad Iskandar Putra, S.T. M.T., selaku dosen wali yang telah membimbing dan mengarahkan selama masa perkuliahan.
4. Bapak Ir. Teguh Putranto, S.T. M.T. Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas segala dukungan dan kesempatan yang diberikan hingga selesainya Tugas Akhir ini;
5. Ibu dan Uti yang selalu memberikan semangat, doa, dan dukungan moral maupun materil, serta kasih sayang yang tiada henti kepada penulis;
6. Adik yang selalu menghibur penulis ketika di saat lelah dan jenuh dalam pengerjaan Tugas Akhir;
7. Om dan Tante beserta seluruh keluarga besar yang selalu memberikan semangat, doa, dan dukungan kepada penulis;
8. Tolopan Daniel Setiawan, Fatih Ahmad Fachriza. Afkha Afriza, Yunanto, Daffa Juliyandi, Bhatara Arundaya dan teman – teman Laboratorium Struktur Kapal selaku rekan seperjuangan yang telah membantu penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir ini;
9. Teman teman P61 Panzerschiffe.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 25 Juli 2025

Hafifah Aprilia Indrianingrum

PERANCANGAN *GRAPHICAL USER INTERFACE* (GUI) DALAM ANALISIS KEKUATAN SEKAT MEMANJANG TANKER AKIBAT *BENDING MOMENT* BERBASIS METODE ELEMEN HINGGA

Nama Mahasiswa : Hafifah Aprilia Indrianingrum
NRP : 5018211062
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Ir. Teguh Putranto, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Dalam desain struktur kapal, sekat memanjang berperan penting sebagai elemen pendukung kekakuan memanjang kapal terhadap pembebanan global, salah satunya momen lentur akibat kondisi *hogging* dan *sagging*. Pemilihan konfigurasi pelat dan penegar yang tepat dapat meningkatkan kekuatan dan efisiensi struktur. Pada penelitian ini dilakukan analisis numerik untuk mengevaluasi pengaruh variasi tebal pelat dan dimensi penegar terhadap respon struktural sekat memanjang yang bertujuan untuk memperoleh desain optimum berdasarkan kriteria teknis. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak ABAQUS CAE dengan menggunakan pendekatan beban berupa rotasi pada *reference point* untuk merepresentasikan momen lentur. Hal ini dilakukan untuk sembilan variasi model yang masing – masing kriteria evaluasi dibandingkan dengan batas izin. Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan dimensi pelat dan penegar menurunkan tegangan dan deformasi, namun berbanding terbalik dengan berat struktur dan momen reaksi. Model yang dipilih sebagai desain optimum memiliki performa struktural yang aman, berat paling ringan dengan momen reaksi yang mendekati model dasar. Selain itu, perancangan antarmuka grafis (GUI) menggunakan *Macro Manager* dan *RSG Dialog Builder* untuk mengotomatisasi proses pembuatan model yang terbukti efektif dalam konsistensi pemodelan.

Kata kunci: *Sekat memanjang kapal, momen lentur, ABAQUS CAE, Graphical User Inteface, desain optimum*

DESIGN OF GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI) IN THE ANALYSIS OF LONGITUDINAL BULKHEAD STRENGTH OF TANKER DUE TO BENDING MOMENT BASED ON FINITE ELEMENT METHOD

Nama Mahasiswa : Hafifah Aprilia Indrianingrum
NRP : 5018211062
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Ir. Teguh Putranto, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

In ship structure design, longitudinal bulkheads play an important role as elements supporting the ship's longitudinal stiffness against global loading, one of which is the bending moment due to hogging and sagging conditions. The selection of the appropriate plate and stiffener configuration can enhance the strength and efficiency of the structure. In this study, a numerical analysis was conducted to evaluate the influence of variations in plate thickness and stiffener dimensions on the structural response of longitudinal partitions, aiming to obtain an optimum design based on technical criteria. The simulation was conducted using the ABAQUS CAE software with a load approach in the form of rotation at the reference point to represent the bending moment. This was done for nine model variations, each evaluated against the permissible limits. The analysis results show that increasing the dimensions of the plate and stiffener reduces stress and deformation but is inversely proportional to the weight of the structure and the reaction moment. The model chosen as the optimum design has safe structural performance, the lightest weight, and a reaction moment close to the baseline model. Additionally, the design of the graphical user interface (GUI) using Macro Manager and RSG Dialog Builder to automate the model creation process has proven effective in modeling consistency.

Keywords: Longitudinal ship bulkhead, bending moment, ABAQUS CAE, Graphical User Interface, optimum design

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
LEMBAR REVISI.....	vi
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	vii
HALAMAN PERUNTUKAN.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
ABSTRAK.....	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR SIMBOL	xviii
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. Dasar Teori	5
2.1.1. Struktur Sekat Kedap Membujur (<i>Longitudinal Watertight Bulkhead</i>).....	5
2.1.2. Perhitungan Struktur Sekat Memanjang	6
2.1.3. Momen Lentur	8
2.1.4. <i>Hogging</i> dan <i>Sagging</i>	10
2.1.5. Tegangan.....	11
2.1.6. Tegangan Izin.....	12
2.1.7. <i>Bending Stress</i>	13
2.1.8. Sifat Material	14
2.1.9. Metode Elemen Hingga	17
2.1.10. <i>Graphical User Interface</i>	18
2.1.11. <i>ABAQUS SOFTWARE</i>	18
2.2. Tinjauan Pustaka.....	19
BAB 3 METODOLOGI	21
3.1. Bagan Alir.....	21
3.2. Studi Literatur.....	21
3.3. Pengumpulan Data.....	22
3.3.1. Ukuran Utama Kapal	22
3.3.2. Rencana Umum.....	22
3.3.3. Penampang Melintang Kapal	23
3.4. Penentuan Variasi	26
3.5. Perhitungan <i>Bending Moment</i> Lokal Struktur Sekat	27
3.6. Pembuatan Geometri Model Sekat Memanjang	28
3.7. Pembuatan Mesh.....	29
3.8. Pemodelan <i>Graphical User Interface</i> Sekat Memanjang.....	30
3.9. Studi Konvergensi	31

3.10. Pemilihan Lokasi Evaluasi dan Elemen Kritis	32
3.11. Validasi Model.....	32
3.12. Kriteria Penentuan Desain Optimum.....	32
BAB 4 PERANCANGAN GRAPHICAL USER INTERFACE.....	33
4.1. Pemodelan dan Perancangan GUI Sekat Memanjang Kapal.....	33
4.1.1. <i>Macro Manager</i>	33
4.1.2. <i>Part</i>	34
4.1.3. <i>Engineering Data</i>	37
4.1.4. <i>Assembly</i>	41
4.1.5. <i>Step</i>	44
4.1.6. <i>Interaction</i>	45
4.1.7. Kondisi Batas (<i>Boundary Condition</i>).....	49
4.1.8. Pemberian Beban	51
4.1.9. <i>Mesh</i>	53
4.2. Perancangan <i>Graphical User Interface (GUI)</i>	54
4.2.1. Penyusunan <i>Script</i> dari <i>Macro Manager</i>	55
4.2.2. Perancangan Antarmuka – Grafis dengan <i>RSG Dialog Builder</i>	55
4.3. <i>Job</i>	58
4.4. Simulasi Sekat Memanjang Kapal.....	58
4.5. Studi Konvergensi	59
BAB 5 ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN.....	63
5.1. Analisis Tegangan Izin	63
5.2. Kondisi Model Dasar	63
5.2.1. Grafik Tegangan – Regangan	64
5.2.2. Evaluasi Deformasi pada Model Dasar.....	67
5.2.3. Evaluasi Momen Lentur Model Dasar	68
5.2.4. Evaluasi Berat Struktur	70
5.3. Efek Perubahan Tebal Pelat terhadap Kekuatan Panel	70
5.3.1. Evaluasi Tegangan Maksimum terhadap Tegangan Izin	71
5.3.2. Evaluasi Deformasi terhadap Batas Izin	73
5.3.3. Evaluasi Momen Lentur Maksimum	75
5.3.4. Evaluasi Berat Struktur	76
5.4. Efek Perubahan Ukuran Penegar terhadap Kekuatan Panel	77
5.4.1. Evaluasi Tegangan Maksimum terhadap Tegangan Izin	78
5.4.2. Evaluasi Deformasi terhadap Batas Izin	80
5.4.3. Evaluasi Momen Lentur Maksimum	82
5.4.4. Evaluasi Berat Struktur	83
5.5. Kondisi Yield Model Sekat Memanjang	84
5.5.1. Analisis Hasil	85
5.6. Desain Optimum.....	86
5.6.1. Perbandingan Menyeluruh Antar Model	86
5.6.2. Penentuan Model Optimum	88
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	91
6.1. Kesimpulan	91
6.2. Saran	91
DAFTAR PUSTAKA.....	93

LAMPIRAN

LAMPIRAN A Script Code Pembuatan Model Sekat Memanjang

LAMPIRAN B Perhitungan *Bending Moment*
LAMPIRAN C Visualisasi *Von Mises Stress* dan Deformasi
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penampang Tengah Kapal pada Sistem Konstruksi Memanjang	6
Gambar 2.2 Gambar Penampang Profil.....	8
Gambar 2.3 (a) Kondisi <i>Hogging</i> dan (b) Kondisi <i>Sagging</i> pada Kapal	11
Gambar 2.4 Faktor Material (k).....	13
Gambar 2.5 Kurva Tegangan - Regangan Material.....	15
Gambar 2.6 Contoh Tampilan GUI pada ABAQUS Software.....	19
Gambar 3.1 Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	21
Gambar 3.2 Rencana Umum Kapal Tanker 1000 MT.....	23
Gambar 3.3 Penampang Melintang Ruang Muat Kapal Tanker 1000 MT	24
Gambar 3.4 Sekat Memanjang <i>Centerline</i> Kapal Tanker 1000 MT.....	25
Gambar 3.5 Pembuatan Model Sekat	29
Gambar 3.6 Tampilan GUI untuk Struktur Sekat Memanjang.....	31
Gambar 4.1 Fitur <i>Macro Manager</i> pada ABAQUS, (a) Pengaktifan <i>Macro</i> , (b) Contoh Proses Perekaman	33
Gambar 4.2 File Hasil Rekaman <i>Macro Manager</i>	34
Gambar 4.3 Proses Pemilihan Tipe <i>Part</i>	34
Gambar 4.4 Proses Pembuatan <i>Part</i> , (a) <i>Sketch Part</i> , (b) Hasil Ekstruksi <i>Sketch Part</i>	35
Gambar 4.5 Penambahan Material <i>Steel</i>	37
Gambar 4.6 Proses <i>Input</i> Properti Material ke ABAQUS	39
Gambar 4.7 Penentuan Ketebalan <i>Part</i>	40
Gambar 4.8 Proses <i>Assign Section</i>	40
Gambar 4.9 Proses <i>Input Part</i> ke Tampilan <i>Assembly</i>	42
Gambar 4.10 Pengaturan untuk <i>Merge Part</i>	42
Gambar 4.11 Proses Penambahan <i>Step – Moment</i>	44
Gambar 4.12 Proses Penentuan <i>Constraint</i> yang digunakan pada Model.....	46
Gambar 4.13 Pemberian <i>Coupling Constraint</i>	46
Gambar 4.14 Visualisasi <i>Tie Constraint</i>	47
Gambar 4.15 Penentuan Kondisi Batas	49
Gambar 4.16 Visualisasi Kondisi Batas yang diterapkan.....	50
Gambar 4.17 Pemberian Beban Sudut Rotasi (UR2), (a) Nilai Beban untuk Kondisi <i>Hogging</i> dan <i>Sagging</i> , (b) Visualisasi arah beban rotasi.....	52
Gambar 4.18 Penentuan Ukuran <i>Mesh</i> untuk Model	53
Gambar 4.19 Model dengan Ukuran <i>Mesh</i> 40 mm	54
Gambar 4.20 Visualisasi Parameter yang digunakan di Awal <i>Script</i>	55
Gambar 4.21 Tampilan Utama Fitur <i>RSG Dialog Builder</i>	56
Gambar 4.22 Integrasi antara <i>Script</i> dengan GUI pada Tab Kernel.....	57
Gambar 4.23 Tampilan Akhir GUI dan Model Sekat Memanjang yang dihasilkan	57
Gambar 4.24 Pembuatan <i>Job</i>	58
Gambar 4.25 Contoh Tegangan Von Mises dari Hasil Simulasi.....	59
Gambar 4.26 Grafik Hubungan Antara, (a) Tegangan <i>Von Mises</i> dengan Ukuran <i>Mesh</i> , (b) Jumlah Elemen dengan Ukuran <i>Mesh</i>	61
Gambar 5.1 Hasil Simulasi Tegangan Von Mises pada Model <i>Existing</i> ; (a) Kondisi <i>Hogging</i> , (b) Kondisi <i>Sagging</i>	64

Gambar 5.2 Hasil Simulasi Regangan pada Model <i>Existing</i> ; (a) Kondisi <i>Hogging</i> , (b) Kondisi <i>Sagging</i>	65
Gambar 5.3 <i>Stress – Strain Diagram</i> , (a) Kondisi <i>Hogging</i> , (b) Kondisi <i>Sagging</i>	66
Gambar 5.4 Deformasi Maksimum pada Kondisi, (a) <i>Hogging</i> , (b) <i>Sagging</i>	67
Gambar 5.5 Grafik Momen Reaksi – Rotasi Model <i>Existing</i> pada kondisi, (a) <i>Hogging</i> , (b) <i>Sagging</i>	69
Gambar 5.6 Tegangan Maksimum Variasi Tebal Pelat pada Model, (a) Model 1, (b) Model 4, dan (c) Model 7	72
Gambar 5.7 Grafik Hubungan Variasi Tebal Pelat terhadap Tegangan <i>Von Mises</i> Maksimum	72
Gambar 5.8 Deformasi Maksimum pada Kondisi, (a) Model 1, (b) Model 4, dan (c) Model 7	73
Gambar 5.9 Grafik Hubungan Variasi Tebal Pelat terhadap Deformasi Maksimum	74
Gambar 5.10 Grafik Momen Reaksi – Rotasi Variasi Tebal Pelat	76
Gambar 5.11 Grafik Hubungan Massa Struktur terhadap Variasi Tebal Pelat	77
Gambar 5.12 Tegangan Maksimum Variasi Dimensi Penegar pada Model, (a) Model 1, (b) Model 2, dan (c) Model 3	79
Gambar 5.13 Grafik Hubungan Variasi Dimensi Penegar terhadap Tegangan <i>Von Mises</i> Maksimum	79
Gambar 5.14 Deformasi Maksimum pada Kondisi, (a) Model 1, (b) Model 2, dan (c) Model 3	80
Gambar 5.15 Grafik Hubungan Variasi Dimensi Penegar terhadap Deformasi Maksimum ...	81
Gambar 5.16 Grafik Momen Reaksi – Rotasi Variasi Dimensi Penegar	83
Gambar 5.17 Grafik Hubungan Massa Struktur terhadap Variasi Tebal Pelat	84

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabulasi Perhitungan Momen Inersia.....	8
Tabel 3.1 Ukuran Utama Kapal Tanker 1000 MT.....	22
Tabel 3.2 Tabel Komponen Kontruksi Sekat Memanjang	24
Tabel 3.3 Tabel Elemen Penyusun Sekat Memanjang Kapal Tanker 1000 MT	25
Tabel 3.4 Variasi Model Sekat Memanjang	26
Tabel 3.5 Tabel Perhitungan Momen Lokal	28
Tabel 3.6 Perhitungan Sudut Rotasi	28
Tabel 4.1 <i>Script Code</i> Pembuatan <i>Part</i>	36
Tabel 4.2 <i>Script Code</i> Penambahan Material <i>Steel</i>	38
Tabel 4.3 Properti Material Baja A36	38
Tabel 4.4 <i>Script Code</i> Proses Pendefinisian Material hingga <i>Assign Section</i>	41
Tabel 4.5 <i>Script Code</i> Proses <i>Assembly Model</i>	43
Tabel 4.6 <i>Script Code</i> Penambahan <i>Step</i>	45
Tabel 4.7 <i>Script Code</i> Pembuatan <i>Reference Point (RP)</i>	47
Tabel 4.8 <i>Script Code</i> Pembuatan <i>Coupling Constraint</i>	48
Tabel 4.9 <i>Script Code</i> Pembuatan <i>Tie Constraint</i>	48
Tabel 4.10 <i>Script Code</i> Pemberian Kondisi Batas	51
Tabel 4.11 <i>Script Code</i> Pemberian Beban Sudut Rotasi (UR2).....	52
Tabel 4.12 <i>Script Code</i> Menentukan Ukuran <i>Mesh</i>	54
Tabel 4.13 Variasi Ukuran <i>Mesh</i> pada Kondisi Pembebanan <i>Hogging</i>	59
Tabel 4.14 Variasi Ukuran <i>Mesh</i> pada Kondisi Pembebanan <i>Sagging</i>	60
Tabel 5.1 Hasil Analisis Tegangan <i>Von Mises</i> pada Model Dasar (<i>Existing</i>).....	65
Tabel 5.2 Hasil Analisis Deformasi Maksimum pada Model <i>Existing</i>	68
Tabel 5.3 Hasil Analisis Momen Reaksi Simulasi pada Model <i>Existing</i>	69
Tabel 5.4 Evaluasi Berat Struktur Model 1 (<i>Existing</i>)	70
Tabel 5.5 Hasil Simulasi Tegangan Maksimum <i>Von Mises</i> Variasi Tebal Pelat	71
Tabel 5.6 Hasil Deformasi Maksimum Variasi Tebal Pelat.....	73
Tabel 5.7 Hasil Simulasi Momen Reaksi (RM2) terhadap Variasi Tebal Pelat.....	75
Tabel 5.8 Pengaruh Variasi Ketebalan Pelat terhadap Berat Struktur.....	76
Tabel 5.9 Hasil Simulasi Tegangan Maksimum <i>Von Mises</i> Variasi Dimensi Penegar.....	78
Tabel 5.10 Hasil Deformasi Maksimum Dimensi Penegar	81
Tabel 5.11 Hasil Simulasi Momen Reaksi (RM2) terhadap Variasi Dimensi Penegar.....	82
Tabel 5.12 Pengaruh Variasi Dimensi Penegar terhadap Berat Struktur	83
Tabel 5.13 Perhitungan Sudut Rotasi Kondisi <i>Yield</i>	85
Tabel 5.14 Kondisi <i>Yield</i> Seluruh Variasi Model.....	85
Tabel 5.15 Rekapitulasi Tegangan dan Deformasi Maksimum untuk Seluruh Variasi Model	87
Tabel 5.16 Rekapitulasi Momen Reaksi (RM2) untuk Seluruh Variasi Model	87
Tabel 5.17 Rekapitulasi Massa Struktur untuk Seluruh Variasi Model	88
Tabel 5.18 Hasil Evaluasi Seluruh Variasi Model Kondisi <i>Hogging</i>	88
Tabel 5.19 Hasil Evaluasi Seluruh Variasi Model Kondisi <i>Sagging</i>	89

DAFTAR SIMBOL

σ	= Tegangan normal (MPa)
τ	= Tegangan geser (MPa)
ε	= Regangan
σ_v	= Tegangan Von Mises (MPa)
σ_{izin}	= Tegangan izin (MPa)
M	= Momen lentur (kN.m)
I	= Momen inersia penampang (m^4)
I_{NA}	= Momen inersia terhadap neutral axis (m^4)
Y	= Jarak dari sumbu netral ke serat terluar (m)
k	= Faktor material
t_k	= Faktor penambahan korosi (m)
W	= Modulus penampang (m^3)
E	= Modulus elastisitas material (MPa)
A	= Luas penampang [$(m)^2$]
δ	= Deformasi total (mm)
ρ	= Massa jenis material kg/m^3
g	= Percepatan gravitasi m/s^2
θ_2	= Rotasi terhadap sumbu 2 (Rad)
t	= Tebal pelat sekat (m)
h	= Tinggi penegar (mm)
$M_{(wv-h/s)}$	= Momen lentur gelombang vertikal hogging dan sagging [kNm]
$M_{(sw-h/s)}$	= Momen lentur air tenang hogging dan sagging [kNm]
f_{sw}	= Faktor distribusi sepanjang panjang kapal
C_w	= Koefisien gelombang
C_B	= Koefisien blok
$f_{(nl-h)}$	= Koefisien yang mempertimbangkan efek nonlinier yang diterapkan pada hogging, dimana bernilai 1 untuk analisis kekuatan
$f_{(nl-s)}$	= Koefisien yang mempertimbangkan efek nonlinier yang diterapkan pada sagging,
f_m	= Faktor distribusi untuk momen lentur gelombang vertikal sepanjang kapal
f_p	= Koefisien diambil sebagai f_{ps} untuk analisis kekuatan
L	= Panjang kapal (m)
B	= Lebar kapal (m)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Kapal merupakan salah satu sarana transportasi yang sering dipergunakan untuk mengangkut baik barang maupun penumpang melalui jalur laut dari satu tempat ke tempat lain. Oleh karena itu sebuah kapal dirancang untuk bisa memenuhi tuntutan atas kegiatan operasional yang dilakukan dengan ketahanan yang tinggi dalam jangka waktu penggunaan yang lama serta perubahan teknologi yang semakin pesat. Perancangan merupakan tahapan awal yang menjadi acuan utama pembangunan kapal, khususnya terkait perancangan struktur kapal yang harus sesuai dengan *rules* dan *regulation* yang telah ditetapkan. Suatu sistem konstruksi pada kapal bisa dikatakan telah memenuhi standar *rules* dan *regulation* jika mampu bertahan terhadap beban yang diberikan sesuai dengan peraturan terkait yang berlaku serta memiliki berat ringan mungkin tanpa adanya pengurangan batasan kekuatan. (Sanjaya, 2017)

Kapal tanker merupakan salah satu tipe kapal yang biasanya digunakan untuk mengangkut berbagai variasi muatan cair. Sekat merupakan salah satu sistem konstruksi pada kapal yang berfungsi untuk memisahkan satu kompartemen dengan kompartemen yang lain. Pada kapal tanker terdapat 2 tipe sekat yang terletak pada bagian ruang muat kapal, yaitu sekat melintang (*transverse bulkhead*) dan sekat memanjang (*longitudinal bulkhead*). Sekat memanjang mengalami pengaruh *bending moment* karena bersentuhan langsung dengan muatan cair pada kapal. Momen lentur yang terjadi secara berulang akibat muatan dapat menimbulkan kelelahan pada material sekat, sehingga berpotensi meningkatkan risiko terjadinya kebocoran, kerusakan, bahkan kegagalan struktural berupa patahnya komponen struktur kapal (Arly Masneti, 2022). *Bending moment* yang merupakan salah satu beban terbesar yang harus ditahan oleh sebuah struktur kapal menjadikan analisa perhitungan mengenai kekuatan memanjang pada kapal merupakan salah satu hal krusial yang harus terus di evaluasi (Pradana, Zakk, Mulyatno, & Firdaus, 2022).

Analisis perhitungan umumnya dilakukan secara manual dengan proses yang kompleks dan membutuhkan pemahaman mendalam mengenai mekanika struktur. Proses ini dapat memakan waktu yang cukup lama untuk memperoleh hasil serta berisiko tinggi terjadinya kesalahan manusia (*human error*) (Logan, 2012). Selain itu, tantangan yang dihadapi juga

berasal dari visual hasil analisis yang sulit dipahami karena tidak adanya representasi grafis yang jelas. Dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat, penggunaan teknologi dapat diterapkan dalam berbagai kegiatan, salah satunya yaitu untuk membantu analisis struktur kapal menggunakan *Graphical User Interface* (GUI). Metode Elemen Hingga merupakan salah satu metode yang banyak digunakan untuk menganalisis kekuatan struktur kapal. Penggunaan GUI dapat dilakukan dengan mengintegrasikan metode analisis metode elemen hingga yang digunakan untuk menganalisis struktur kapal sekaligus menghasilkan visualisasi hasil perhitungan.

Oleh karena itu dengan menggunakan GUI sebagai alat yang membantu perhitungan kekuatan struktur sekat memanjang pada kapal tanker dengan mengintegrasikan menggunakan metode elemen hingga penulis melakukan Tugas Akhir dengan judul “Perancangan *Graphical User Interface* (GUI) Dalam Analisis Kekuatan Sekat Memanjang Tanker Akibat *Bending Moment* Berbasis Metode Elemen Hingga”, sehingga diharapkan dapat mempermudah untuk menemukan desain optimum konstruksi kapal khususnya pada sekat memanjang serta dalam melakukan analisis kekuatan struktur kapal beserta gambaran visualnya.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka rumusan masalah yang akan dikaji adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *bending moment* terhadap kekuatan struktur sekat memanjang kapal tanker?
2. Bagaimana perancangan *Graphical User Interface* (GUI) untuk mendapat desain struktur sekat memanjang kapal tanker yang optimum

1.3. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh *bending moment* terhadap kekuatan struktur sekat memanjang kapal tanker.
2. Merancang *Graphical User Interface* (GUI) untuk mendapat desain struktur sekat memanjang kapal tanker yang optimum.

1.4. Batasan Masalah

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini permasalahan difokuskan pada:

1. Analisis kekuatan konstruksi dilakukan pada sekat memanjang kapal tanker.

2. Analisis kekuatan konstruksi pada sekat memanjang kapal tanker dilakukan pada satu bagian kompartemen kapal.
3. Metode analisis yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode elemen hingga (FEM). Metode elemen hingga (FEM) yang digunakan hanya beban *bending moment*.
4. Perancangan *Graphical User Interface* (GUI) hanya mencakup pada pemodelan dan analisis beban *bending moment* pada konstruksi sekat memanjang kapal tanker.
5. Pembebanan internal tangki tidak masuk dalam perhitungan pembebanan lateral
6. Pemodelan konstruksi *bracket* pada sekat memanjang diabaikan karena tidak mempengaruhi perhitungan global secara signifikan.
7. Variasi yang digunakan adalah tebal pelat dan dimensi *profile*.
8. Persetujuan yang digunakan mengacu pada peraturan yang ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia tahun 2022 dan *Common Structural Rules* tahun 2024 untuk momen lentur.

1.5. Manfaat

Manfaat dalam pengembangan *Graphical User Interface* (GUI) pada analisis kekuatan sekat memanjang kapal tanker adalah sebagai berikut :

1. Mempermudah proses analisis kekuatan struktur sekat memanjang kapal tanker akibat *bending moment*.
2. Mempermudah dalam menemukan desain optimum sekat memanjang kapal sekaligus visualisasi desain modelnya
3. Mengurangi potensi *human error*.

1.6. Hipotesis

Hipotesis dalam pengembangan *Graphical User Interface* (GUI) pada analisis kekuatan sekat memanjang kapal tanker adalah sebagai berikut :

1. Mempermudah pengguna dalam menganalisis struktur sekat memanjang kapal tanker akibat *bending moment*.
2. Meningkatkan efisiensi dalam proses perhitungan kekuatan struktur kapal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

STUDI LITERATUR

2.1. Dasar Teori

2.1.1. Struktur Sekat Kedap Membujur (*Longitudinal Watertight Bulkhead*)

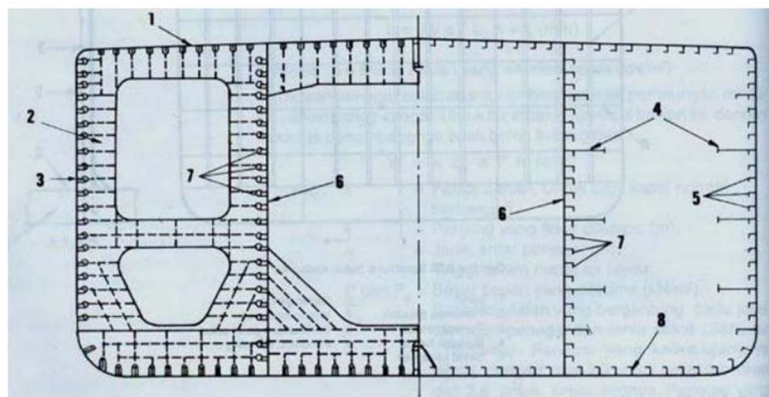
Sekat merupakan salah satu struktur kapal yang berfungsi sebagai pembatas antara kompartemen atau ruangan kapal, baik secara melintang maupun memanjang. Selain itu sekat juga memiliki fungsi lain seperti untuk memperkuat struktur kapal secara melintang dan memanjang, mencegah penyebaran api saat kebakaran, serta menghalangi aliran fluida ke ruangan lain jika terjadi kebocoran. Sekat pada kapal dibagi menjadi 2 yaitu sekat melintang dan sekat memanjang, sekat melintang dapat ditemukan pada hampir semua jenis kapal dan menjadi persyaratan dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), sementara sekat memanjang umumnya hanya ada pada kapal tertentu, seperti kapal tanker pengangkut cairan atau kapal pengangkut barang curah (*bulk carrier atau ore carrier*). (Sanjaya D. D., 2017)

Sekat memanjang pada kapal tanker dan *bulk carrier* memiliki fungsi penting dalam meningkatkan keselamatan dan efisiensi operasional kapal. Selain berfungsi untuk memisahkan muatan antar kompartemen, sekat ini juga berperan dalam mengurangi luas permukaan bebas dan menambah kekuatan memanjang kapal. Pemasangan sekat memanjang dapat memperkecil luas permukaan bebas pada kapal yang mengangkut muatan cair, sehingga mengurangi efek *sloshing*—pergerakan muatan cair yang dapat mempengaruhi stabilitas kapal saat berlayar. Selain itu, sekat ini meningkatkan kekuatan struktural kapal dengan mendistribusikan beban secara lebih efisien di sepanjang badan kapal, sehingga mengurangi risiko deformasi atau kerusakan struktural selama operasi. Sekat memanjang tidak hanya berfungsi sebagai pemisah fisik antara muatan, tetapi juga memainkan peran krusial dalam meningkatkan stabilitas dan integritas struktural kapal yang harus dirancang dan dipasang dengan mempertimbangkan berbagai faktor teknik dan ekonomi untuk mencapai optimasi yang maksimal dalam operasional kapal. (Sanjaya D. D., 2017)

Pada kapal tanker, terdapat dua jenis sekat memanjang, yaitu sekat memanjang tunggal yang berada di garis tengah (*centerline*) dan sekat memanjang ganda yang dipasang di antara dua balok samping yang tegak lurus secara vertikal. Sekat longitudinal yang kedap minyak dapat diperkuat dengan metode konvensional atau menggunakan desain bergelombang (*corrugated*), di mana gelombang tersebut berjalan secara *horizontal*. Penguatan konvensional

diterapkan secara vertikal jika rangka samping bersifat vertikal, dan secara memanjang jika rangka samping bersifat *longitudinal*. *Web vertikal* dipasang pada sekat memanjang jika sekat tersebut memiliki desain bergelombang atau dilengkapi dengan rangka *longitudinal*. Penggunaan sekat memanjang bergelombang hanya diperbolehkan pada kapal dengan panjang kurang dari 200 meter. (Eyres & Bruce, 2012)

Konstruksi sekat memiliki susunan yang mirip dengan konstruksi lambung kapal. Pada lambung kapal digunakan gading-gading yang dipasang secara vertikal, maka sekat memanjang akan dilengkapi dengan penegar-penegar yang dipasang secara vertikal. Pada sistem konstruksi memanjang, diperlukan adanya pelintang sisi pada sekat yang terhubung dengan pelintang pada geladak dan pelintang sisi pada lambung kapal. Palang pengikat berfungsi untuk menghubungkan pelintang sisi pada lambung dengan pelintang sisi pada sekat (Sofi'i & Djaja, 2008). Susunan konstruksi sekat memanjang dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Penampang Tengah Kapal pada Sistem Konstruksi Memanjang
Sumber: Sofi'i & Djaja, 2008

2.1.2. Perhitungan Struktur Sekat Memanjang

Analisis kekuatan konstruksi sekat memanjang kapal tanker terbagi menjadi beberapa langkah, yakni perhitungan variasi model yang terdiri atas variasi ketebalan sekat memanjang dan variasi penegar memanjang. Pada penelitian ini menggunakan dasar teori perhitungan struktur berdasarkan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia Tahun 2022. Oleh karena itu perhitungan struktur yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri atas perhitungan untuk menentukan variasi ketebalan pelat yang akan digunakan dan perhitungan modulus penampang profil penegar serta perhitungan berat konstruksi untuk menentukan variasi profil yang akan digunakan. Dalam hal ini kesamaan nilai berat struktur dengan variasi tebal pelat dan penegar digunakan sebagai penentu untuk menentukan variasi penegar serta tebal pelat yang akan digunakan. Perhitungan variasi tebal dan penegar pada sekat memanjang pada penelitian dapat dilihat sebagai berikut.

- **Perhitungan Tebal Pelat Sekat Memanjang**

Berdasarkan Biro Klasifikasi Indonesia Tahun 2022 Bab 12 B.2 nilai minimum tebal pelat sekat memanjang kapal tidak boleh kurang dari:

$$t_1 = 1.1 \cdot a \cdot \sqrt{p \cdot k} + t_k \quad (2.1)$$

$$t_2 = 0.9 \cdot a \cdot \sqrt{p_2 \cdot k} + t_k \quad (2.2)$$

Dimana :

- a = Jarak antar penegar memanjang (m)
- p = Beban p_1 atau p_D dipilih yang terbesar [kN/m^2]
- p_2 = Beban statis maksimum [kN/m^2]
- k = Faktor bahan
- t_k = Penambahan korosi

- **Persyaratan Minimum Modulus Penegar Horizontal**

Berdasarkan Biro Klasifikasi Indonesia Tahun 2022 Bab 12 B.3 menyatakan bahwa nilai modulus penampang penegar dan penumpu dengan tumpuan jepit pada ujung-ujungnya, tidak boleh kurang dari:

$$W_1 = 0,55 \cdot m \cdot a \cdot \ell^2 \cdot p \cdot k \quad (2.3)$$

$$W_2 = 0,44 \cdot m \cdot a \cdot \ell^2 \cdot p_2 \cdot k \quad (2.4)$$

Dimana :

- m = Nilai koefisien
- a = Jarak antar penegar memanjang (m)
- ℓ = Panjang penegar (span length) antara penumpu (m)
- p = Beban p_1 atau p_D dipilih yang terbesar [kN/m^2]
- p_2 = Beban statis maksimum [kN/m^2]
- k = Faktor bahan

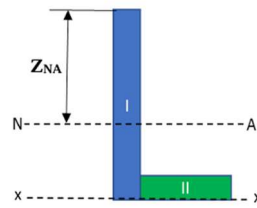
- **Perhitungan Modulus Penampang**

Terkait dengan variasi untuk model salah satunya ialah variasi pada penegar, sehingga untuk mendapatkan variasinya dengan modulus yang sama diperlukan perhitungan modulus. Rumus perhitungan modulus adalah sebagai berikut.

$$\text{Modulus (w)} = \frac{\text{Momen Inersia (I}_{NA})}{Z_{NA}} \quad (2.5)$$

Perhitungan inersia biasanya dilakukan dengan menggunakan persamaan dasar sebagai berikut. Namun perhitungan momen inersia dilakukan dalam bentuk tabulasi seperti diperlihatkan pada Tabel 2.1, sedangkan visualisasi untuk menghitung momen inersia dapat dilihat pada Gambar 2.2

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \quad (2.6)$$



Gambar 2.2 Gambar Penampang Profil

Sumber : Sanjaya & Dwi, 2017

Tabel 2.1 Tabulasi Perhitungan Momen Inersia

No.	Nama Bagian	Lebar	Tinggi	Sudut Thdp	Luas Total	Tb. Thdp	Momen	Momen	Momen Inersia Individu		
				Sb. Horizontal		Base	Luas	Inersia	$I_x \cos^2 a$	$I_y \sin^2 a$	I_o
		(cm)	(cm)	(derajat)	(cm ²)	(cm)	(cm ³)	(cm ⁴)			
		[b]	[h]	[a]	[AT]	[Z]	[AT x z]	[AT x z ²]	$[I_x = 1/12 \times b \times h^3]$	$[I_y = 1/12 \times h \times b^3]$	$[I_x \cos^2 a + I_y \sin^2 a]$
1	Web										
2	Face										
$\Sigma =$					Σ_1		Σ_2	Σ_3	Σ_4		

$$Z_{NA} = \text{Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)}$$

$$= \Sigma_2 / \Sigma_1 \quad (2.7)$$

$$I_{xx} = \text{Momen Inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)}$$

$$= \Sigma_3 + \Sigma_4 \quad (2.8)$$

$$I_{NA} = \text{Momen Inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)}$$

$$= I_{xx} - \Sigma_1 \cdot Z_{NA}^2 \quad (2.9)$$

$$W = \text{Modulus Penampang Profil}$$

$$= I_{NA} / Z_{NA} \quad (2.10)$$

Berdasarkan tabulasi di atas, diperoleh nilai modulus yang sama meskipun menggunakan bentuk profil penegar yang berbeda. Profil tersebut kemudian dijadikan sebagai variasi dalam hal ini. (Sanjaya & Dwi, 2017).

2.1.3. Momen Lentur

Momen lentur pada kapal dalam pengertiannya merupakan kondisi melengkungnya badan kapal yang dilihat menurut penampang memanjangnya atau dengan kata lain menurut bidang vertikal memanjang (Mubarak, Sitepu, & Alie, 2018). Momen lentur terjadi ketika gaya diterapkan pada suatu struktur dari titik acuan tertentu hingga menyebabkan efek lentur (*bending*) pada struktur tersebut. Jika struktur tidak tertahan maka akan menyebabkan struktur berputar pada titik tertentu. (Siagian, Zakki, & Iqbal, 2020). Pada kapal, momen lentur sendiri

disebabkan oleh muatan yang tidak terdistribusi secara merata sepanjang badan kapal. Dalam kedudukannya di air, kapal mengalami momen lentur akibat beban statis yang berasal dari muatan maupun gelombang yang dilalui.

Momen lentur pada kapal terbagi menjadi 2 yaitu momen lentur pada air tenang dan momen lentur akibat gelombang. Momen lentur air tenang (M_{sw}) merupakan momen lentur yang dipengaruhi oleh penempatan muatan sepanjang badan kapal, sedangkan momen lentur akibat gelombang (M_{wv}) merupakan momen lentur yang terjadi pada saat kapal beroperasi pada kondisi normal di laut sehingga terdapat beban gelombang yang memengaruhi kekuatan memanjang kapal. Kedua kondisi momen lentur tersebut dapat menimbulkan dua kondisi deformasi pada struktur kapal, yaitu kondisi *hogging* dan *sagging*. Kedua kondisi deformasi tersebut memiliki karakteristik pembebebanan yang berbeda serta memberikan pengaruh terhadap distribusi tegangan disepanjang badan kapal. Perhitungan momen lentur dikedua kondisi tersebut dapat dihitung berdasarkan *Common Structural Rules* (CSR) tahun 2024. Pada kondisi air tenang, momen lentur terbagi menjadi 2 kondisi yaitu kondisi *hogging* dan kondisi *sagging*. Perhitungan momen lentur air tenang pada kedua kondisi tersebut adalah sebagai berikut.

$$M_{sw-h} = f_{sw} \cdot (0.171 \cdot C_W \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0.7) \cdot 10^{-3} - M_{wv-h} \quad (2.11)$$

$$M_{sw-h} = -0.85 \cdot f_{sw} \cdot (0.171 \cdot C_W \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0.7) \cdot 10^{-3} - M_{wv-h} \quad (2.12)$$

Sedangkan perhitungan untuk momen lentur akibat gelombang vertikal terhadap posisi memanjang kapal juga terbagi menjadi 2 kondisi, yaitu kondisi *hogging* dan kondisi *sagging*. Perhitungan momen lentur akibat gelombang vertikal pada kedua kondisi tersebut adalah sebagai berikut.

$$M_{wv-h} = 0.19 \cdot f_{nf-vh} \cdot f_m \cdot f_p \cdot C_W \cdot L^2 \cdot B \cdot C_B \quad (2.13)$$

$$M_{wv-h} = 0.19 \cdot f_{nf-vh} \cdot f_m \cdot f_p \cdot C_W \cdot L^2 \cdot B \cdot C_B \quad (2.14)$$

Dimana:

M_{wv-h} = Momen lentur gelombang vertikal *hogging* dan *sagging* [kNm]

M_{sw-h} = Momen lentur air tenang *hogging* dan *sagging* [kNm]

f_{sw} = Faktor distribusi sepanjang panjang kapal

C_W = Koefisien gelombang

C_B = Koefisien blok

f_{nl-h} = Koefisien yang mempertimbangkan efek nonlinier yang diterapkan pada *hogging*, dimana bernilai 1 untuk analisis kekuatan

f_{nl-s}	= Koefisien yang mempertimbangkan efek nonlinier yang diterapkan pada <i>sagging</i> , dimana bernilai $0.58 (C_B + 0.7/C_B)$; untuk analisis kekuatan
f_m	= Faktor distribusi untuk momen lentur gelombang vertikal sepanjang kapal 0.0 untuk $x \leq 0$ 1.0 untuk $0.4 L \leq x \leq 0.65 L$ 0.0 untuk $x \geq L$
f_p	= Koefisien diambil sebagai f_{ps} untuk analisis kekuatan
L	= Panjang kapal (m)
B	= Lebar kapal (m)

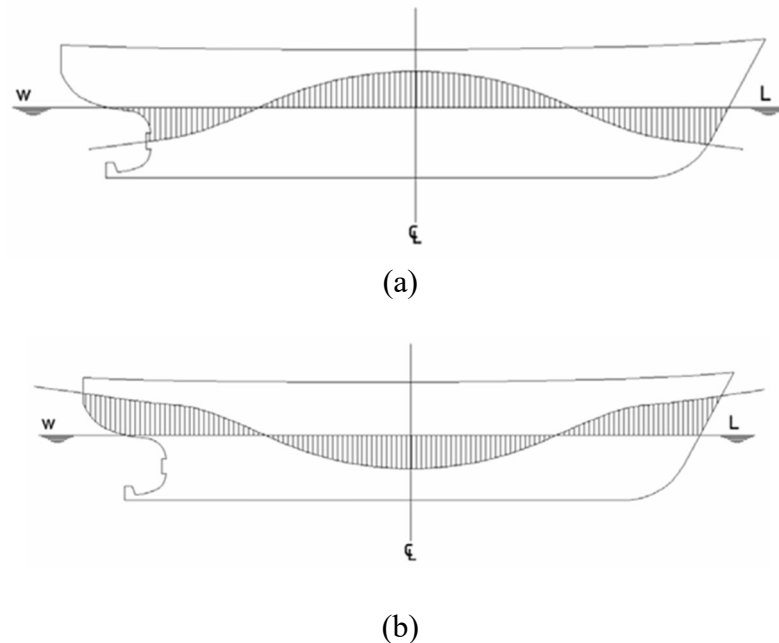
Bending moment dapat menyebabkan tegangan pada struktur kapal, yang berisiko mengakibatkan kerusakan. Kerusakan ini terjadi ketika tegangan yang dialami oleh struktur melebihi batas ambang yang diizinkan. Batasan tegangan yang diperbolehkan untuk suatu kapal telah ditetapkan dalam klasifikasi, sehingga penting untuk mematuhi standar tersebut guna menjaga integritas dan keselamatan kapal (Arianto, Sulisetyono, & Putranto, 2016).

2.1.4. *Hogging dan Sagging*

Beban – beban pada kapal yang memiliki pengaruh pada konstruksi kapal secara menyeluruh disebut dengan *structural load*. Salah satu beban yang termasuk dalam *structural load* adalah beban lengkung *longitudinal* yang bekerja pada kapal, termasuk *hogging* dan *sagging*. Beban lengkung *longitudinal* atau bisa disebut dengan *longitudinal bending* memiliki keterkaitan terhadap konstruksi dan kekuatan kapal dalam hal kelengkungan badan kapal yang dilihat menurut penampang memanjang kapal. Dalam hal ini sebuah kapal diibaratkan seperti sebuah balok panjang yang ditumpu dibagian tengahnya dan kedua ujungnya dibiarkan bebas. Maka yang terjadi adalah balok tersebut akan melengkung dan timbul tegangan tekan (*Tension*) dan tegangan tarik (*Compression*), serta memiliki tekanan maksimum yang berada dibagian atas dan bernilai nol yang disebut dengan sumbu netral. Disekitar sumbu netral ini terdapat tegangan geser dengan nilai maksimum, dimana hal tersebut disebut dengan kondisi *hogging* pada kapal.

Sedangkan kondisi *sagging* kapal terjadi jika tumpuan terletak dibagian tengah kapal dan kedua ujungnya dibiarkan bebas. Hal ini menyebabkan kapal akan melengkung dan memiliki tegangan tekan yang terbesar dibagian atas kapal sedangkan tegangan tarik terbesar

berada dibagian bawah. Ilustrasi dari kondisi *hogging* dan *sagging* kapal dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.3 (a) Kondisi *Hogging* dan (b) Kondisi *Sagging* pada Kapal
 Sumber: Sofi'i & Djaja, 2008

Kondisi *hogging* dan *sagging* pada kapal ini merupakan kelengkungan umum yang terjadi pada badan kapal (*General longitudinal bending of the hull or ship*), sedangkan tegangan yang timbul akibat kelengkungan tersebut disebut dengan tegangan memanjang kapal (*Longitudinal bending stresses*) yang selanjutnya akan menghasilkan momen lengkung memanjang (*Longitudinal bending moment*). Kapal mengalami *hogging* dan *sagging* diakibatkan karena muatan maupun beban statis yang ada serta gelombang air laut. Distribusi beban yang tidak merata sepanjang kapal menyebabkan kapal mengalami lengkung memanjang. Di air tenang (*still water*) lengkungan memanjang kapal dilihat dari arah lengkungan dan dipengaruhi oleh penempatan muatan pada kapal. *Hogging* terjadi jika massa muatan pada ujung kapal lebih besar dibandingkan dibagian tengah kapal, sedangkan *sagging* sebaliknya. (Sofi'i & Djaja, 2008)

2.1.5. Tegangan

Tegangan adalah gaya yang bekerja pada luasan pada sebuah potongan, dan dapat terdiri dari berbagai besaran serta arah. Dalam konteks ini, tegangan memiliki dua pengertian utama yaitu sebagai gaya per satuan luas atau disebut dengan intensitas tegangan yang biasanya dinyatakan dalam satuan tegangan (Pa). Selain itu dapat disebut juga sebagai gaya total yang bekerja pada suatu batang tunggal, yang sering disebut sebagai tegangan total (Kristiana, 2020).

Pada umumnya, dalam analisis struktur, tegangan dianggap terdistribusi secara merata di seluruh penampang atau potongan material. Pada suatu bidang yang terdapat gaya yang bekerja terdapat dua jenis tegangan yang mempengaruhi bidang tersebut, yaitu:

1. Tegangan Normal

Tegangan normal merupakan tegangan yang tegak lurus terhadap permukaan benda yang timbul akibat gaya aksial dan momen lentur. Secara matematis tegangan normal dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.15)$$

Dimana:

F	= Gaya	[N]
A	= Luas penampang	[mm ²]
σ	= Tegangan	[N/mm ²]

2. Tegangan Geser

Tegangan geser adalah tegangan yang bekerja sejajar dengan bidang beban yang terjadi ketika dua gaya berlawanan arah diterapkan pada suatu benda, sejajar dengan sumbu batang, tetapi tidak segaris. Meskipun gaya-gaya tersebut tidak berada dalam garis yang sama, tidak ada momen yang dihasilkan pada penampang benda. Secara matematis tegangan geser dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (2.16)$$

Dimana:

τ	= Tegangan geser	[N/mm ²]
V	= Komponen gaya yang sejajar dengan bidang elemen	[N]
A	= Luas penampang	[mm ²].

2.1.6. Tegangan Izin

Gaya yang diperlukan untuk mencapai batas maksimum suatu bahan dalam menahan beban eksternal hingga mengalami kerusakan disebut beban *ultimate* atau *ultimate load*. Dengan membagi beban *ultimate* ini dengan luas penampang, kekuatan *ultimate* dapat dihitung yang juga dikenal sebagai *ultimate strength* atau tegangan ultimate. Dalam desain struktur, tingkat tegangan yang digunakan disebut tegangan izin (*allowable stress*), dan nilai ini harus ditetapkan jauh lebih rendah daripada kekuatan *ultimate* yang diperoleh dari pengujian statis. Besar gaya yang akan bekerja pada suatu bangunan yang dirancang sering kali tidak dapat dipastikan dengan tepat. Oleh karena itu, tegangan izin dapat diubah menjadi bentuk gaya atau

beban yang diizinkan, serta nilai *ultimate* yang dapat ditahan oleh sebuah batang, dengan menggunakan rumus bahwa tegangan dikalikan luas sama dengan gaya. (Sanjaya & Dwi, 2017).

Pada peraturan Biro Klasifikasi Indonesia Tahun 2022 Bab 24 B-2.3 mengenai tegangan izin pada kapal tangki minyak. Karena pemodelan terbatas hanya pada satu kompartemen sekat memanjang tanpa memodelkan keseluruhan struktur geladak dan dasar kapal, maka kriteria tegangan izin yang digunakan untuk struktur sekat memanjang adalah sebagai berikut

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \tau^2} \leq 230/k \quad [N/mm^2] \quad (2.17)$$

Sebagaimana ditentukan dalam bagian 2.3.2 aturan Biro Klasifikasi Indonesia untuk konstruksi memanjang. Dimana nilai k merupakan faktor material yang besaran nilainya dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut.

ReH [N/mm ²]	k
315	0,78
355	0,72
390	0,66
	Jika penilaian kelelahan struktur dilakukan untuk memverifikasi pemenuhan dengan persyaratan BKI
	0,6 Dalam kasus lain

Gambar 2.4 Faktor Material (k)

Sumber : Biro Klasifikasi Indonesia Tahun 2022

2.1.7. Bending Stress

Ketika balok mengalami pembengkokan, serat yang terjauh dari sumbu netral (*neutral axis*) mengalami kondisi yang berbeda. Dalam kasus *hogging*, misalnya, bagian atas balok mengalami tarik, sementara bagian bawah mengalami tekan. Di antara kedua posisi ini terdapat sumbu netral, yaitu daerah di mana tidak ada tegangan tarik maupun tekan. Pada sumbu netral ini juga terletak pusat gravitasi dari penampang melintang balok. Momen inersia (I) berfungsi sebagai pembagi dalam persamaan yang menggambarkan tegangan tekuk (*bending stress*). Semakin besar nilai momen inersia, semakin kecil tegangan tekuk yang terjadi. Momen inersia bergantung pada tinggi kuadrat penampang. Oleh karena itu, peningkatan sedikit pada tinggi penampang dapat secara signifikan mengurangi tegangan tekuk (Eyres & Bruce, 2012). Dari *classic bending theory* menurut Eyres (2007) diketahui harga tegangan tekuk (*bending stress*) (σ) pada titik manapun pada sebuah balok adalah:

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot y \quad (2.18)$$

Di mana:

M = Momen bending yang diaplikasikan
y = Jarak yang diinginkan, dihitung dari neutral axis
I = Momen inersia

Dimana modulus penampang (Z) didefinisikan sebagai rasio antara momen inersia dan jarak terjauh dari sumbu netral, sehingga dapat dituliskan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$I/y = Z \quad (2.19)$$

Dengan demikian maka tegangan *bending* dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

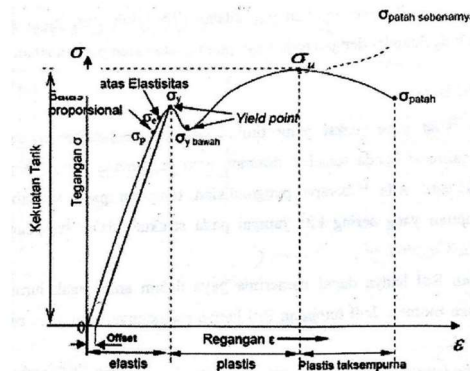
$$\sigma = \frac{M}{Z} \quad (2.20)$$

2.1.8. Sifat Material

Sifat material merupakan karakteristik mekanik, fisik, termal, dan kimia pada suatu material serta menggambarkan perilaku material di berbagai kondisi. Pada industri perkapalan khususnya pada struktur kapal, baja karbon merupakan material yang umum digunakan, bahkan menjadi material utama sebagian besar konstruksi kapal. Baja karbon atau *carbon steel* adalah paduan antara besi (Fe) dan karbon (C) dimana unsur karbon sangat menentukan sifat materialnya. Material baja karbon terdiri atas beberapa jenis antara lain baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi. Pada struktur kapal, baja karbon yang umum digunakan adalah baja karbon rendah. Hal ini dikarenakan baja karbon memiliki sifat yang mampu menahan kekuatan yang tinggi serta beban yang besar. Salah satu material baja karbon rendah yang umum digunakan adalah A36 yang merupakan salah satu jenis baja karbon rendah yang memiliki kandungan karbon kurang dari 0,30 %. (Muchammad, Jokosisworo, & Santosa, 2024)

Sifat material yang terdapat pada baja antara lain adalah sifat plastis dan elastis. Elastisitas merupakan sifat material yang menyebabkan material kembali ke bentuk awal setelah diberikan beban dan mengalami perubahan bentuk lalu beban dihilangkan, sedangkan plastisitas merupakan sifat material yang menyebabkan material mengalami perubahan bentuk akibat diberi beban lalu tetap mengalami perubahan bentuk (*deformasi*) setelah beban dihilangkan. (SALIM, 2018). Dalam melakukan analisis dan desain struktural, penentuan sifat material penting dilakukan, karena perilaku suatu struktur ditentukan sepenuhnya oleh bagaimana material penyusunnya merespon beban, lingkungan maupun deformasi. Salah satu

bagian dari sifat material adalah sifat mekanik material yang merupakan penggambaran respon material gaya mekanis, seperti tarik, tekan, lentur, dan geser. Karakteristik mekanik dari material struktural biasanya diperoleh melalui uji tarik terhadap spesimen dengan bentuk dan ukuran tertentu, yang dibebani secara monotonik sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Kurva Tegangan - Regangan Material

Sumber: Agung, 2009

Berdasarkan gambar tersebut, sifat mekanik material dapat dicirikan menggunakan parameter – parameter sebagai berikut :

a. Modulus Elastisitas, E

Modulus elastisitas atau sering disebut dengan modulus Young merupakan parameter yang menggambarkan tingkat kekakuan material, yaitu seberapa besar kecenderungan suatu material mengalami peregangan maupun penyusutan ketika diberikan beban tarik atau tekan. Dalam daerah elastis linier hubungan antara tegangan dan regangan bersifat linear sehingga material akan kembali ke bentuk semula setelah beban dihilangkan. Secara matematis, hubungan tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan matematis sebagai berikut. (Agung, 2009)

$$\sigma \propto \varepsilon \rightarrow \sigma = E \cdot \varepsilon \rightarrow E = \varepsilon / \sigma \quad (2.21)$$

Dimana :

σ = Tegangan

ε = Regangan

E = Modulus Elastisitas

Dengan demikian, modulus elastisitas didefinisikan sebagai kemiringan kurva tegangan-regangan pada daerah elastis linier, yang menunjukkan nilai tegangan berbanding lurus dengan regangan.

b. Rasio Poisson, ν

Rasio poisson merupakan nilai konstan yang menunjukkan rasio antara regangan lateral dan regangan linear suatu material ketika mengalami tegangan pada daerah elastis. Nilai rasio poisson menunjukkan bahwa ketika suatu material dikenai beban tarik dalam satu arah, material tersebut akan menyusut secara proporsional searah tegak lurus.

c. Batas Proporsional, σ_p

Batas proporsional merupakan nilai tegangan maksimum yang di mana material masih dalam perilaku elastis dan belum memasuki tahap deformasi plastis. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.5 batas proporsional berupa garis lurus dari titik 0 hingga titik batas proporsional, yaitu tepat sebelum terjadi leleh awal (*yielding*). Pada kondisi ini regangan material tidak sebanding dengan tegangan, sehingga sebagai penanda material akan mengalami deformasi permanen setelah beban dihilangkan.

d. Kekuatan Luluh, σ_y dan *yield strain*, ϵ_y

Batas luluh merupakan titik pada kurva tegangan – regangan yang menandai awal terjadinya deformasi permanen pada suatu material. Titik ini ditandai oleh tegangan luluh dan regangan luluh yang merupakan nilai tegangan dan regangan saat material mulai memasuki fase plastis dan tidak dapat kembali ke bentuk awal setelah beban dilepaskan. Batas luluh terbagi menjadi luluh atas dan luluh bawah seperti yang terlihat pada Gambar 2.5 yang dicirikan oleh penurunan beban mendadak yang diikuti perpanjangan dan kenaikan beban kembali. Kondisi tersebut dinamakan meluluhnya material, dimana kekuatan luluh suatu material ditentukan oleh nilai tegangan luluh yang menunjukkan ketahanan material terhadap deformasi plastis setelah melewati fase elastis.

e. Penguatan Regangan, ϵ_h

Penguatan regangan atau bisa disebut juga dengan *strain hardening* adalah kondisi suatu material yang mengalami peningkatan kekuatan setelah melewati batas luluh (*yield point*) meskipun beban tetap diberikan. Dalam kondisi ini, regangan mengalami pertambahan dan material tampak menguat hingga mencapai tegangan maksimum sebelum material mengalami kegagalan (patah). (Isworo, 2018)

f. Kekuatan *Ultimate*, σ_u

Kekuatan *ultimate* merupakan tegangan maksimum yang mampu ditahan material sebelum mengalami kegagalan struktural dan biasanya dicapai pada puncak kurva tegangan – regangan. Meskipun bentuk kurva tegangan – regangan untuk kondisi tarik dan tekan seringkali serupa, nilai tegangan ultimate pada kondisi tekan umumnya lebih

tinggi dibandingkan kondisi tarik (Isworo, 2018). Setelah material melewati batas elastis dan mengalami regangan pengerasan (ϵ_h) tegangan akan terus meningkat melebihi tegangan luluh akibat pengerasan regangan (*strain hardening*). Kondisi ini berlangsung hingga tegangan mencapai titik maksimum, atau bisa disebut dengan kekuatan tarik atau tekan maksimum.

2.1.9. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan sebuah metode yang menggunakan teknik numerik untuk menyelesaikan persoalan mekanika pada struktur dengan geometri kompleks. Keunggulan metode ini terletak pada efisiensinya secara komputasi, kemampuan memberikan solusi akurat untuk masalah rumit, dan sering kali menjadi satu-satunya metode yang dapat digunakan untuk masalah tertentu. Pada awal simulasi elemen hingga, geometri struktur dibagi menjadi elemen-elemen kecil yang disebut sebagai *mesh*, yang terdiri dari titik-titik nodal. Kepadatan elemen dalam *mesh* dikenal sebagai *mesh density*, yang menunjukkan jumlah elemen per satuan panjang atau area. Pada analisis statik mekanika benda padat, perpindahan (*displacement*) pada setiap titik nodal dihitung terlebih dahulu yang kemudian memungkinkan penentuan tegangan, regangan, serta gaya dalam dan luar, biasanya dibantu dengan penggunaan perangkat lunak (*software*). Akurasi metode ini dapat ditingkatkan dengan menyempurnakan *mesh* model melalui penambahan elemen dan *nodes*.

Analisis elemen hingga adalah pendekatan numerik, sehingga hasil yang diperoleh bukanlah hasil analitis atau tepat. Ada perbedaan atau error antara hasil simulasi dan hasil yang sebenarnya, namun terdapat batas toleransi yang memungkinkan hasil tersebut dianggap valid. Saat ini, penggunaan program komputer untuk melakukan analisis dengan metode elemen hingga, yang dikenal sebagai FEA (*Finite Element Analysis*), sangat memungkinkan. Metode ini memungkinkan analisis menyeluruh terhadap struktur badan kapal secara keseluruhan. Tujuan utama dari penerapan metode elemen hingga adalah untuk memperoleh perhitungan yang akurat mengenai respon tegangan pada kapal. (Pramono, Imron, & Misbah, 2016).

Metode elemen hingga dapat digunakan dengan langkah – langkah sebagai berikut :

1. Diskritisasi dan Pemilihan Elemen.
2. Pemilihan Model atau Fungsi Pendekatan.
3. Penentuan Hubungan Regangan–Perpindahan dan Tegangan–Regangan.
4. Penurunan Persamaan Elemen.
5. Penyelesaian Sistem Persamaan Global.
6. Penentuan Besaran Sekunder.

Setelah variabel utama ditemukan, besaran turunan, seperti tegangan, regangan, dan gaya internal, dihitung berdasarkan nilai perpindahan.

7. Interpretasi dan Analisis Hasil.

Langkah terakhir adalah menganalisis hasil perhitungan untuk mengevaluasi kinerja struktur sesuai dengan parameter desain yang ditentukan. (Ardianus, 2017).

2.1.10. *Graphical User Interface*

Antarmuka pengguna (*User Interface* - UI) merupakan sebuah jembatan untuk memungkinkan nya adanya interaksi antara manusia yang berperan sebagai pengguna dengan perangkat sistem komputer, perangkat lunak (*software*) maupun perangkat lainnya. *User interface* bertujuan untuk mengoptimalkan kegunaan dan interaksi antara pengguna dengan sistem. Sedangkan antarmuka pengguna grafis (*Graphical User Interface* - GUI) sendiri merupakan sebuah tampilan antarmuka komputer yang memungkinkan pengguna berinteraksi dengan perangkat maupun sistem komputer menggunakan elemen grafis seperti menu, tombol, teks, ukuran, ikon, konten dan elemen grafis yang lainnya. (Prihastomo & Winanti, 2024)

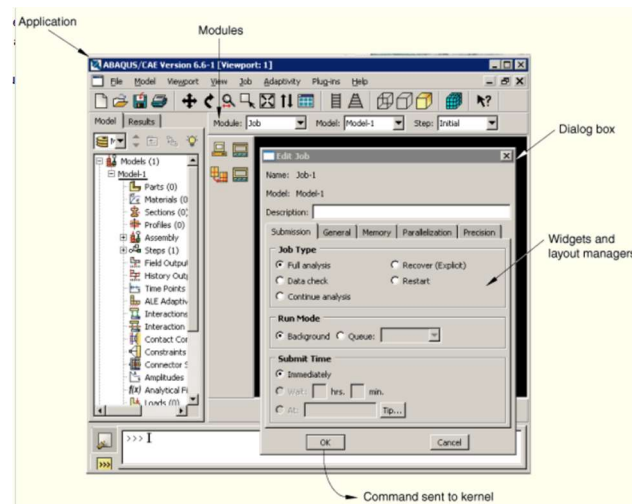
Antarmuka pengguna grafis terdiri atas beberapa karakteristik yang saling mendefinisikan. Hal ini mencakup tampilan visual yang canggih dan kompleks, interaksi berbasis pilih-dan-klik, berbagai pilihan antarmuka yang terbatas, visualisasi, orientasi objek, pemanfaatan memori pengenalan individu, serta pelaksanaan fungsi secara bersamaan. Presentasi visual dalam sistem grafis merujuk pada tampilan antarmuka yang terlihat oleh pengguna di layar, mencakup elemen seperti jendela (utama, sekunder, atau kotak dialog), menu (bilah menu, tarik-turun, *pop-up*), ikon untuk mewakili objek seperti program atau file, kontrol berbasis layar (kotak teks, daftar, kombinasi, pengaturan, bilah gulir, dan tombol), serta perangkat penunjuk seperti mouse dan kursor. Hal ini bertujuan untuk menciptakan representasi visual dunia nyata pengguna yang realistis, bermakna, dan jelas.

Antarmuka pengguna grafis merupakan elemen utama yang memungkinkan interaksi pengguna dengan perangkat lunak maupun sistem komputer, sehingga kecepatan dalam memproses permintaan pengguna sangat mempengaruhi kinerja elemen tersebut. Selain itu antarmuka pengguna grafis memiliki beberapa keunggulan seperti mengurangi kebutuhan memori yang digunakan, meningkatkan pemrosesan informasi sehingga pemecahan masalah lebih cepat dan lebih efektif berkat representasi visual, dan mengurangi waktu belajar sistem berkat representasi visual dan penggunaan simbol untuk instruksi. (Galitz, 2007).

2.1.11. *ABAQUS SOFTWARE*

ABAQUS adalah perangkat lunak yang digunakan untuk analisis elemen hingga (FEA) dan rekayasa berbantuan komputer (CAE), yang pertama kali diluncurkan pada tahun 1978. Program ini dirancang untuk menyelesaikan pemodelan elemen hingga, baik dalam konteks

linear maupun *non-linear* (Ardianus, 2017). Selain itu ABAQUS biasanya digunakan untuk memodelkan, menganalisis komponen, dan merakit struktur mekanis serta memvisualisasikan hasil analisis elemen hingga. Menurut Helwany (2007), perangkat lunak ini sangat populer di kalangan akademisi dan peneliti di bidang teknik karena kemampuan pemodelan materialnya yang sangat luas. Selain itu, ABAQUS menawarkan fleksibilitas tinggi, memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan model material yang diinginkan agar dapat disimulasikan dalam perangkat lunak tersebut. (Tata, Kusrandi, B, & Darwis, 2022)



Gambar 2.6 Contoh Tampilan GUI pada ABAQUS Software
 Sumber: *classes.engineering.wustl.edu*, diakses pada 10 Desember 2024

ABAQUS *software* adalah perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yang digunakan untuk simulasi dan rekayasa, mampu menangani masalah struktural dari analisis *linier* sederhana hingga simulasi nonlinier kompleks. *Software* ini mendukung pemodelan berbagai geometri dan material, serta memungkinkan simulasi perilaku material yang beragam. ABAQUS memudahkan simulasi aplikasi *linier* dan *nonlinier* dengan kemampuan untuk memodelkan elemen-elemen dengan geometri dan material yang berbeda, serta mengatur interaksi antar elemen. Dalam analisis *nonlinier*, ABAQUS dapat menyesuaikan beban dan toleransi konvergensi secara dinamis untuk memastikan solusi yang akurat dan efisien. (Arini & Pradana, 2021)

2.2. Tinjauan Pustaka

Guna mendapatkan acuan dari penelitian yang sebelumnya, maka dibuatlah tinjauan pustaka dalam menyusun penelitian ini. Dengan meninjau penelitian sejenis diharapkan bisa didapatkan informasi dan data yang dapat digunakan dalam penelitian ini. Beberapa literatur yang menjadi acuan yaitu (Arly Masneti, 2022) yang melakukan penelitian berupa analisis

kekuatan variasi *longitudinal bulkhead* area ruang muat kapal SPOB Salra 115 dengan metode elemen hingga (FEM). Penelitian tersebut dilakukan pada bagian penguatan memanjang pada kapal sejenis tanker. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kekuatan dari kapal SPOB Salra 115 serta kekuatan dengan variasi *longitudinal bulkhead* pada konstruksi ruang muat dengan metode elemen hingga (FEM) menggunakan *software ansys*.

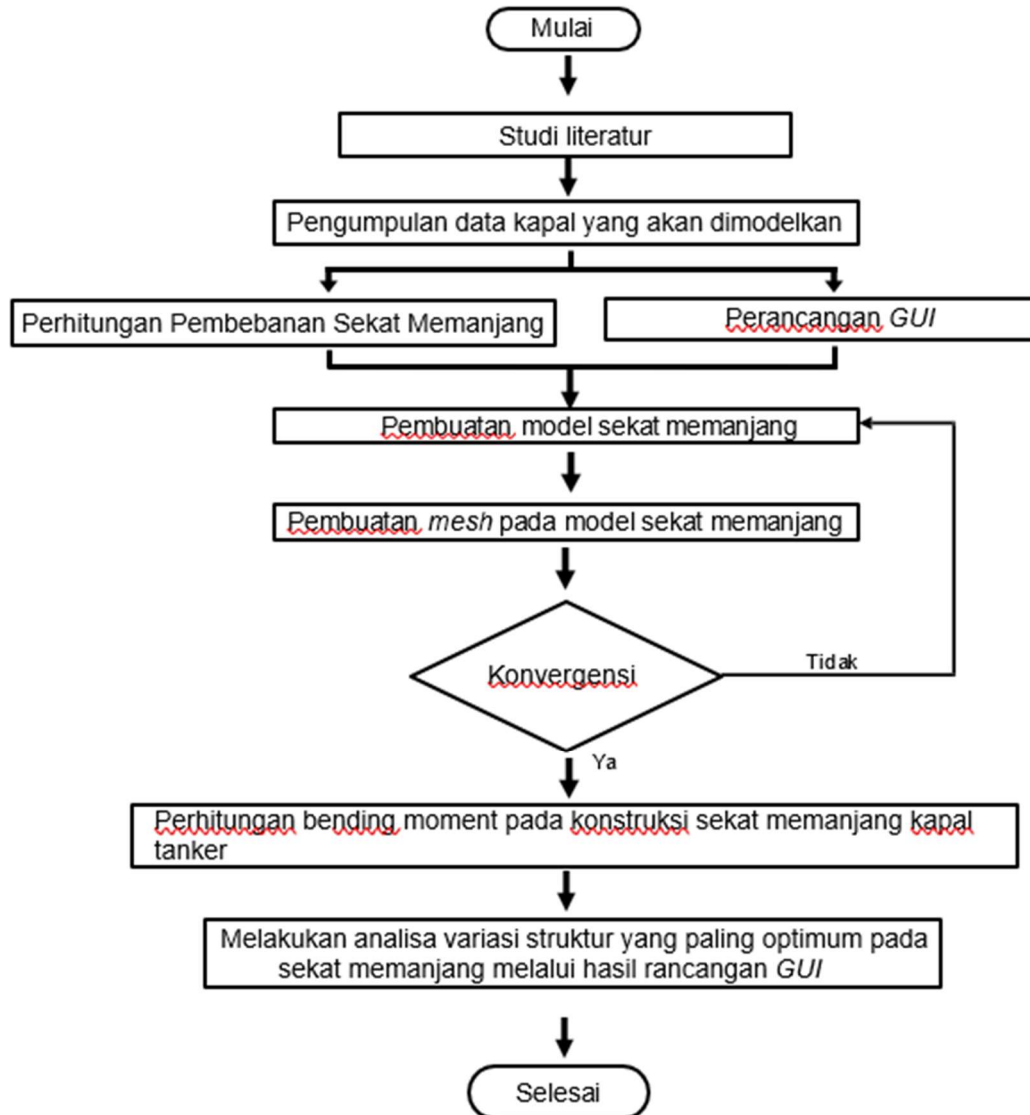
(Pradana, Zakk, Mulyatno, & Firdaus, 2022) melakukan penelitian mengenai respon struktur kapal *Oil Tanker* 6500 DWT. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respons struktur kapal tanker berkapasitas 6500 DWT terhadap beban tekuk, geser, dan puntir menggunakan metode elemen hingga (FEM). Studi ini dilakukan untuk mengetahui perilaku struktur kapal dalam menghadapi beban-beban tersebut serta memastikan kepatuhan terhadap regulasi Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Penelitian ini mengaplikasikan simulasi FEM untuk mengevaluasi kekuatan struktur dengan memanfaatkan perangkat lunak desain berbasis NURB dan analisis berbasis FEM seperti ABAQUS.

Penelitian yang dilakukan oleh (Sanjaya D. D., 2017) bertujuan untuk menganalisis kekuatan konstruksi *wing tank* pada kapal tanker menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method* – FEM). Analisis dilakukan untuk mengevaluasi distribusi tegangan, deformasi, dan kemampuan struktur *wing tank* dalam menahan berbagai kondisi pembebanan. Penelitian ini menggarisbawahi pentingnya metode FEM dalam mengevaluasi kekuatan struktural dan membantu meningkatkan keandalan desain kapal tanker.

BAB 3 METODOLOGI

3.1. Bagan Alir

Secara garis besar dijelaskan pada diagram alir pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2. Studi Literatur

Dalam Tugas Akhir ini akan dilakukan analisis kekuatan sekat memanjang kapal tanker sehingga membutuhkan referensi yang dapat membantu proses analisis tersebut. Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan berbagai referensi yang dibutuhkan dalam proses analisis kekuatan sekat memanjang kapal tanker. Referensi yang dikumpulkan berupa literatur-literatur

yang membahas tentang konstruksi sekat memanjang dan metode yang digunakan untuk menganalisis kekuatan konstruksi sekat akibat banding momen. Referensi dikumpulkan dari berbagai sumber yang dapat dipertanggungjawabkan

3.3. Pengumpulan Data

Pada proses ini dilakukan pengumpulan seluruh data yang berkaitan dengan konstruksi sekat memanjang kapal tanker yang akan dianalisis dalam Tugas Akhir ini. Proses pengumpulan data tidak dilakukan secara langsung, melainkan dari sumber lain yang dapat dipertanggungjawabkan sehingga data-data yang terkumpul merupakan data sekunder dari beberapa sumber. Data yang berkaitan dengan konstruksi sekat memanjang kapal tanker didapatkan berupa data ukuran utama kapal, gambar rencana umum kapal dan gambar penampang melintang.

3.3.1. Ukuran Utama Kapal

Kapal yang digunakan dalam proses analisis pada Tugas Akhir ini adalah kapal tanker 1000 MT. Data ukuran utama kapal diambil dari sebuah sumber yang memiliki data kapal yang dibutuhkan dalam lingkup pengerjaan Tugas Akhir ini. Kapal tanker tersebut mengangkut muatan berupa *Marine Fuel Oil* (MFO) dan *High Speed Diesel* (HSD). Ukuran utama kapal ditunjukkan pada Tabel 3.1

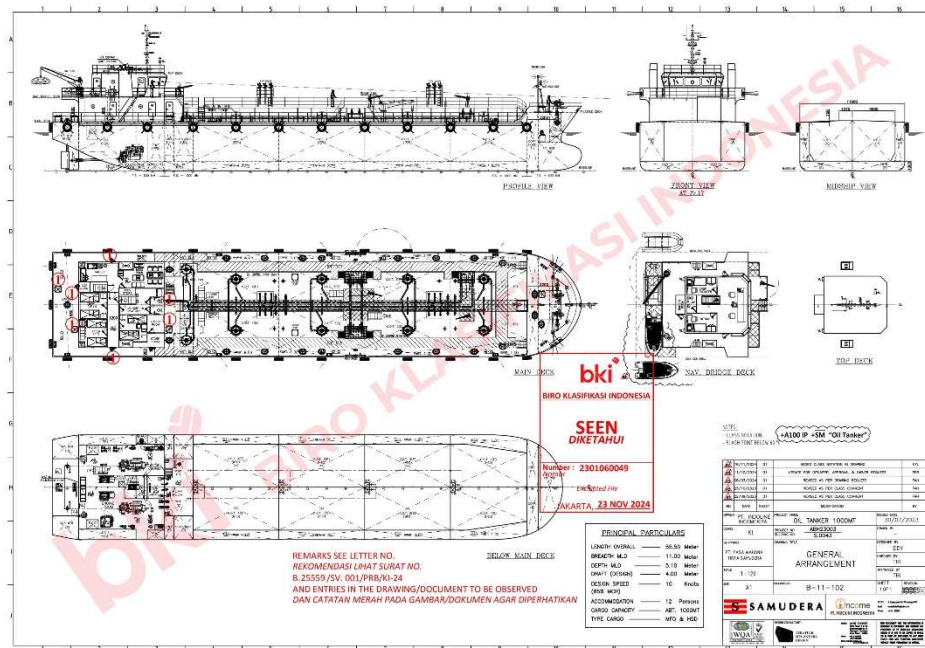
Tabel 3.1 Ukuran Utama Kapal Tanker 1000 MT

Ukuran Utama	
Panjang Keseluruhan (LOA)	55,50 m
Panjang Antara Tegak Lurus (LBP)	51,67 m
Lebaran Cetakan (B)	11 m
Tinggi <i>Moulded</i> (D)	5,10 m
Draf (T)	4 m
Kecepatan Dinas (Vs)	10 knots
Kapasitas Muatan	1000 MT

Sumber: PT XX, 2025

3.3.2. Rencana Umum

Gambar Rencana Umum kapal berguna untuk mengetahui gambaran secara umum tentang konstruksi kapal keseluruhan serta konstruksi tangki muat kapal. Dalam gambar rencana umum terlihat letak tangki muat, ukuran tangki muat, dan konstruksi lain di sekitar tangki muat. Gambar Rencana Umum kapal tanker yang digunakan sebagai acuan dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Rencana Umum Kapal Tanker 1000 MT

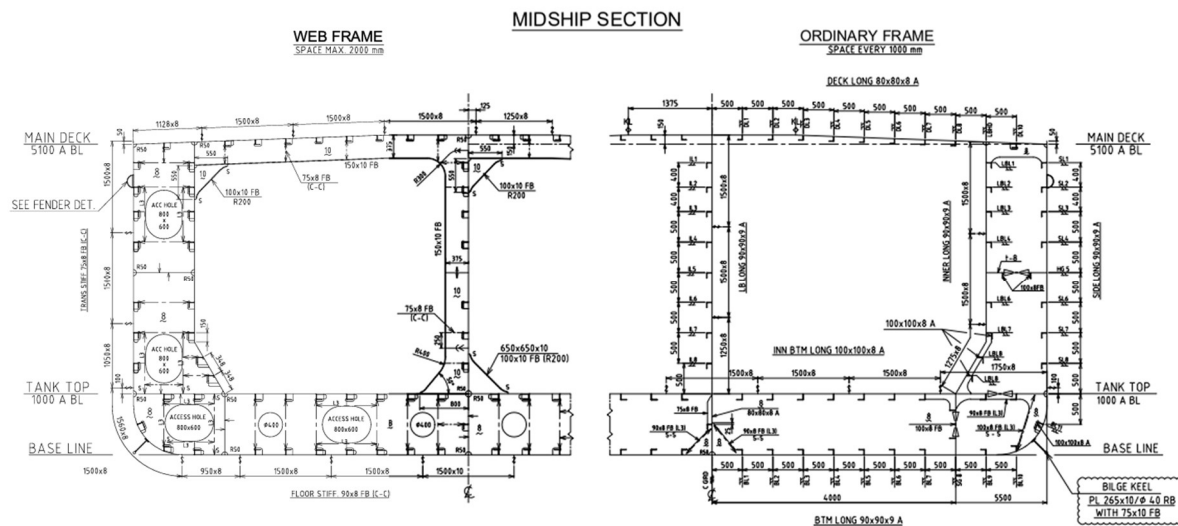
Pada Gambar 3.2 dapat dilihat bahwa kapal tanker memiliki tangki muat sebanyak 4 buah dengan 3 tangki di daerah *midship* memiliki ukuran yang sama dan satu tangki terdepan memiliki ukuran yang lebih kecil karena badan kapal bagian depan mengecil. Di bagian *centerline* terdapat sekat memanjang yang membagi tangki muat menjadi dua bagian yaitu *starboard side* dan *portside*. Kapal tersebut juga memiliki alas ganda (*double bottom*) dan lambung ganda (*double hull*) yang digunakan sebagai tangki air *ballast*. Tangki air *ballast* selain pada tangki alas ganda, dan *wing tank*, juga terdapat di bagian ceruk haluan dan ceruk beritan kapal

Seluruh sekat melintang yang ada di dalam tangki muat kapal memiliki ukuran yang sama karena terletak pada daerah *parallel middle body*. Ruang lingkup yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini mengambil kasus pembebanan pada sekat memanjang tangki muat di daerah *midship*. Sekat yang digunakan sebagai acuan adalah sekat memanjang *centerline* antara tangki munt No. 3 dan No. 4. Dimensi sekat yang digunakan sebagai acuan memiliki tinggi 4,25 m dan lebar 9 m.

3.3.3. Penampang Melintang Kapal

Penampang melintang kapal yang memperlihatkan detail bagian tangki ruang muat baik pada *web frame* maupun *ordinary frame* yang dapat dilihat pada Gambar 3.3. Dari gambar tersebut diperoleh informasi mengenai dimensi dan konfigurasi elemen – elemen struktur

penyusun bagian tangki ruang muat kapal. Berdasarkan gambar Rencana Umum kapal, diketahui bahwa dimensi dan lokasi sekat memanjang untuk setiap tangki muatan memiliki ukuran yang seragam. Oleh karena itu, gambar penampang melintang pada satu tangki dapat dijadikan acuan representatif dalam menentukan ukuran elemen struktural sekat memanjang secara keseluruhan.



Gambar 3.3 Penampang Melintang Ruang Muat Kapal Tanker 1000 MT

Sumber: PT. XX, 2025

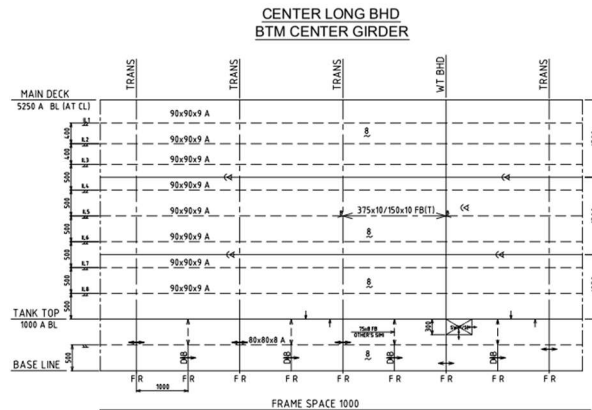
Gambar penampang melintang kapal tersebut menunjukkan bagian – bagian konstruksi yang berada pada tangki ruang muat pada bagian *web frame* dan *ordinary frame*, hal ini termasuk juga sistem konstruksi yang menyusun sekat memanjang kapal bagian *centerline*. Sistem konstruksi ini bertujuan memberikan kekuatan struktural, kestabilan, dan keselamatan pada bagian tengah kapal—khususnya dalam menahan beban muatan cair dan menjaga integritas struktur kapal selama operasi. Sistem konstruksi yang menyusun sekat memanjang kapal terdiri atas pelat, penegar vertikal, penegar *horizontal*, dan pembujur *horizontal*. Dimensi konstruksi yang menyusun sekat memanjang dirangkum dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Tabel Komponen Kontruksi Sekat Memanjang

Komponen Kontruksi	Dimensi
Panjang Pelat Sekat	9 m
Tinggi Pelat Sekat	4,25 m
Penegar <i>Horizontal</i>	90 x 90 x 9 mm
Penegar Vertikal	375 mm x FB 150 x 10 mm
Pembujur <i>Horizontal</i>	FB 375 x 10 mm x FB 150 x 10 mm

Sumber: PT. XXX, 2025

Selain memuat gambar penampang pelintang bagian tengah kapal juga memuat detail detail kontruksi yang menyusun ruang muat kapal. Salah satunya adalah gambar blok sekat memanjang kapal bagian *centerline*. Gambar blok kapal merupakan gambaran kontruksi secara keseluruhan yang ada dalam sebuah blok. Gambar blok sekat memanjang kapal dapat dilihat pada Gambar 3.4, pada gambar tersebut terdapat informasi mengenai elemen – elemen penyusun sekat memanjang kapal.



Gambar 3.4 Sekat Memanjang *Centerline* Kapal Tanker 1000 MT

Sedangkan untuk dimensi elemen – elemen yang menyusun sekat memanjang kapal dirangkum dalam Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Tabel Elemen Penyusun Sekat Memanjang Kapal Tanker 1000 MT

Komponen Elemen Sekat	Dimensi
Tebal Pelat Sekat	8 mm
Jarak Penegar Horizontal	400 – 500 mm
Jarak Gading	1000 mm
Jarak Penegar Vertikal	2000 mm
Jarak Pembujur Horizontal	2000 mm

Sumber: PT. XXX, 2025

Selain mendapatkan dimensi dari masing – masing kontruksi maupun elemen yang menyusun kapal, dari gambar pelintang kapal didapatkan jumlah masing – masing profil yang menyusun sekat memanjang. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.4 jumlah penegar horizontal yang tersusun pada sekat memanjang berjumlah 7 buah dengan jarak penegar yang bervariasi, dapat dilihat juga posisi dan jumlah pembujur *horizontal* yang tersusun ialah sebanyak 1 yang berada di ketinggian 2 m terhadap pelat alas ganda kapal. Selain mengetahui jumlah penegar maupun pembujur, berdasarkan Gambar 3.4 yang merupakan gambar blok sekat memanjang kapal sepanjang 1 kompartemen kapal dapat diketahui berapa dimensi

panjang pelat sekat memanjang maupun penegar vertikal yang menyusunnya. Dalam hal ini penegar vertikal diletakan setiap 2 kali jarak gading atau sebesar 2 m.

3.4. Penentuan Variasi

Penentuan variasi geometri struktur pada penelitian ini dilakukan melalui tahapan sistematis yang mencakup analisis kebutuhan minimum dimensi tebal pelat serta pengaruh variasi terhadap berat total struktur lokal. Fokus utama penelitian adalah pada struktur sekat memanjang yang bekerja menahan tegangan akibat momen lentur lokal (*hogging* dan *sagging*). Oleh karena itu, parameter variasi yang digunakan meliputi ketebalan pelat sekat dan dimensi penegar memanjang. Tahap awal dilakukan dengan menghitung tebal minimum pelat sekat berdasarkan ketentuan dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) tahun 2022, Bab 12 Bagian B.2-1. Perhitungan mempertimbangkan dimensi panel, tekanan desain, serta koefisien keselamatan yang relevan. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya, diperoleh nilai minimum tebal pelat sekat sebesar 8 mm. Nilai ini digunakan sebagai batas bawah variasi, dan ditambahkan dua ketebalan lain, yaitu 9 mm dan 10 mm, untuk melihat pengaruh terhadap performa struktural. Ketiga variasi tersebut dipilih tidak hanya berdasarkan syarat klasifikasi, tetapi juga mempertimbangkan ketersediaan material di pasaran dan praktik fabrikasi umum di industri galangan kapal.

Selain variasi tebal pelat, penelitian ini juga menganalisis pengaruh variasi profil penegar memanjang terhadap kekuatan dan kekakuan struktur sekat. Penegar yang digunakan adalah profil penegar memanjang tipe L (L-section) dengan tiga variasi dimensi, yaitu L 90×90×9 mm, L 100×75×8 mm, dan L 100×100×10 mm. Pemilihan dimensi profil penegar disesuaikan dengan variasi ketebalan pelat yang digunakan, selain itu juga mempertimbangkan aspek praktis yaitu ketersediaan material di pasaran. Variasi tebal maupun penegar tersebut menjadi acuan dalam proses simulasi dan memudahkan dalam memetakan hasil simulasi. Data hasil simulasi yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi kombinasi dimensi pelat dan penegar yang paling optimal dalam meningkatkan kinerja struktur sekat memanjang terhadap pembebanan momen lentur lokal, baik dalam kondisi hogging maupun sagging. Tabel 3.4 berikut menyajikan kombinasi variasi dimensi tebal pelat dan profil penegar memanjang sekat yang akan digunakan pada penelitian.

Tabel 3.4 Variasi Model Sekat Memanjang

No.	Tebal Pelat (mm)	Tipe Penegar (Profile-L)
1.	8	L 90 x 90 x 9 mm
2.		L 100 x 75 x 8 mm
3.		L 100 x 100 x 10 mm

No.	Tebal Pelat (mm)	Tipe Penegar (Profile-L)
4.	9	L 90 x 90 x 9 mm
5.		L 100 x 75 x 8 mm
6.		L 100 x 100 x 10 mm
7.	10	L 90 x 90 x 9 mm
8.		L 100 x 75 x 8 mm
9.		L 100 x 100 x 10 mm

3.5. Perhitungan *Bending Moment* Lokal Struktur Sekat

Untuk mengevaluasi respons struktur sekat memanjang kapal terhadap momen lentur *global* kapal diperlukan transformasi beban *global* ke dalam bentuk pembebanan lokal yang dapat diterapkan pada model elemen hingga. Dalam penelitian ini, parameter pembebanan yang digunakan adalah momen lentur *global midship* kapal pada kondisi *hogging* dan *sagging*. Momen lentur yang akan diaplikasikan diperoleh berdasarkan perhitungan menggunakan aturan *Common Structure Rules for Double Hull Oil Tanker Part 1 Chapter 4 Section 4* Tahun 2024. Nilai momen lentur *global* pada area *midship* pada kedua kondisi tersebut kemudian dikonversikan menjadi besaran rotasi yang akan diterapkan sebagai pembebanan pada model lokal sekat memanjang. Konversi dilakukan menggunakan pendekatan elastik berdasarkan teori balok lentur (*beam theory*) yang dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut (Amrinsyah, 2013).

$$\theta = \frac{M \cdot L}{2 \cdot E \cdot I} \quad (3.1)$$

Dimana :

- θ = Sudut rotasi (rad)
- M = Momen lentur *midship* (N·m),
- E = 200 MPa = $200 \cdot 10^6$ Pa
- I = Momen inersia

Besaran rotasi yang diperoleh dari perhitungan tersebut kemudian diaplikasikan pada *Refrence Point (RP)* yang diletakkan dikedua ujung model dalam simulasi numerik menggunakan perangkat lunak Abaqus. Rotasi tersebut diterapkan dalam arah UR2, yaitu mewakili efek momen lentur *global* terhadap struktur lokal sekat memanjang. Simulasi dilakukan dalam dua tahap pembebanan yaitu sebagai berikut

- Pembebanan I – *Sagging*, rotasi diterapkan positif pada RP1 dan negatif pada RP 2 untuk mensimulasikan kondisi geladak dalam tekanan dan alas kapal dalam tarik.
- Pembebanan II – *Hogging*, rotasi diterapkan negatif pada RP1 dan positif pada RP 2 untuk mensimulasikan kondisi alas dalam tekanan dan geladak kapal dalam tarik.

Untuk mengetahui momen lentur lokal akibat momen lentur *global midship* digunakan pendekatan skala berdasarkan perbandingan geometri dan kekakuan antara struktur global dan lokal. Persamaan yang digunakan untuk menghitung momen lentur lokal adalah sebagai berikut

$$M_{\text{lokal}} = M_{\text{global}} \cdot \left(\frac{I_{\text{lokal}}}{I_{\text{global}}} \cdot \frac{L_{\text{lokal}}}{L_{\text{global}}} \right) \quad (3.2)$$

Rekapitulasi hasil perhitungan yang akan diaplikasikan pada model simulasi sekat memanjang seperti yang terlihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Tabel Perhitungan Momen Lokal

Parameter	<i>Hogging</i>	<i>Sagging</i>
Momen <i>Global</i> (kN.m)	39.091,88	-37.007,98
Momen Inersia Global (m^4)	1,978	1,978
Momen Inersia Lokal (m^4)	0,053	0.0534
Panjang Lokal (m)	9	9
Panjang <i>Global</i> (m)	20,668	20,67
Momen Lokal Prediksi (kN.m)	459,858	-435,332

Kemudian dari nilai momen lokal prediksi yang telah dihitung digunakan untuk menemukan nilai rotasi sudut untuk menghasilkan momen reaksi pada simulasi yang mendekati nilai perhitungan. Sehingga didapatkan nilai rotasi yang akan diaplikasikan pada model seperti yang terlihat pada tabel Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Perhitungan Sudut Rotasi

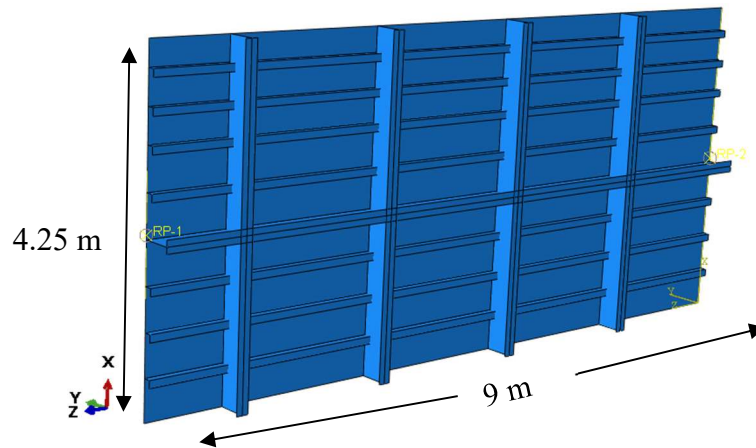
Parameter	<i>Hogging</i>	<i>Sagging</i>
Rotasi UR2 (Rad)	0,0001334	0,0001263
Momen Lokal Simulasi (kN.m)S	459,827	-435,348
Selisih (%)	0,006768%	0,00359%

Dari hasil perhitungan dan simulasi dapat disimpulkan bahwa prediksi momen lentur lokal menunjukkan akurasi yang baik terhadap simulasi numerik, yaitu dengan selisih kurang dari 1%/. Nilai rotasi UR2 tersebut diterapkan pada *reference point* (RP) yang dikaitkan ke ujung pelat melalui *constraint coupling*, dengan pengaktifan derajat kebebasan rotasi UR2. Arah rotasi disesuaikan terhadap sumbu – y lokal pelat, yaitu sumbu rotasi yang tegak lurus terhadap arah tinggi (sumbu – x) dari pelat sekat memanjang.

3.6. Pembuatan Geometri Model Sekat Memanjang

Pemodelan kontruksi kapal tanker dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Finite Element Analysis* (FEA) yaitu ABAQUS 2020. Pemodelan yang dilakukan yaitu berupa model sekat memanjang kapal dengan menerapkan variasi dimensi pelat dan profil penegar memanjang sesuai dengan skenario analisis. Variasi tersebut mencakup dimensi pelat, profil penegar memanjang, dan pembebanan momen lentur lokal pada kondisi *hogging* dan *sagging*. Proses pemodelan ini dilakukan secara efisien dengan memanfaatkan

fitur *Macro Manager* pada Abaqus yang merekam seluruh tahapan pemodelan secara otomatis dan menghasilkan *script* dalam format *Phyton*. *Script phyton* ini yang berperan penting dalam pembuatan *graphical user interface* nantinya, dimana *script* tersebut dimodifikasi terlebih dahulu untuk memungkinkan perubahan nilai dimensi terhadap variasi sesuai dengan skenario analisis yang akan digunakan .



Gambar 3.5 Pembuatan Model Sekat
Sumber: Penulis, 2025

Gambar 3.5 menunjukkan model sekat memanjang yang terdapat pada *cargo hold* 3, model sekat yang dibuat memiliki dimensi panjang 9 m dengan tinggi 4.25 m. Koordinat model perlu diperhatikan untuk didapatkan analisis yang sesuai. Penelitian ini menggunakan sumbu x sebagai koordinat meninggi dari sekat, sumbu y sebagai koordinat samping dari sekat serta sumbu z sebagai koordinat memanjang dari sekat. Koordinat ini berpengaruh terhadap penentuan *boundary condition* serta pembebanan yang akan dianalisis nantinya.

3.7. Pembuatan Mesh

Dalam analisis numerik menggunakan perangkat lunak ABAQUS, *mesh* digunakan sebagai representasi geometri struktur secara diskrit dengan membaginya menjadi elemen – elemen kecil yang saling terhubung melalui *node*. Elemen – elemen ini mempermudah proses analisis numerik terhadap domain yang kompleks. Pada simulasi ini dilakukan proses pembuatan *mesh* pada model tiga dimensi dengan mengikuti bentuk geometri sekat memanjang yang akan dianalisis. Pembuatan *mesh* disesuaikan dengan karakteristik model agar mampu merepresentasikan perilaku struktural khususnya pada area – area kritis yang berpotensi mengalami konsentrasi tegangan.

Untuk memperoleh hasil simulasi yang stabil, dilakukan studi konvergensi dengan melakukan variasi ukuran *mesh*. Proses ini bertujuan untuk menentukan ukuran *mesh* optimal

yang dapat memberikan hasil simulasi tanpa membebani kinerja komputasi secara berlebihan. Jika hasil simulasi belum menunjukkan konvergensi, maka ukuran *mesh* perlu disesuaikan kembali hingga diperoleh hasil yang lebih konsisten.

3.8. Pemodelan *Graphical User Interface* Sekat Memanjang

Pembuatan *Graphical User Interface* (GUI) dalam penelitian ini bertujuan untuk memudahkan pemodelan struktur sekat memanjang di ABAQUS tanpa harus melakukan pembuatan model secara manual berulang kali sesuai dengan skenario variasi yang telah direncanakan. Antarmuka grafis ini dirancang agar pengguna dapat langsung memasukan variasi parameter, seperti tebal pelat, dimensi profil penegar memanjang serta nilai pembebanan untuk kondisi *hogging* ataupun *sagging* melalui *script python* yang telah dibuat sebelumnya. Kemudian sistem akan secara otomatis membentuk model struktur sekat memanjang berdasarkan input yang telah dimasukan tersebut.

GUI dibuat menggunakan bahasa pemrograman *python*, yang merupakan bahasa yang kompatibel dengan perangkat lunak ABAQUS untuk membantu otomatisasi proses pemodelan. Pembuatan antarmuka grafis ini diawali dengan penggunaan fitur *macro manager* untuk merekam keseluruhan proses pemodelan dasar. Rekaman ini kemudian menghasilkan file *script python* yang berisi perintah – perintah terkait dengan pembuatan model. Gambar 3.6 dibawah ini merupakan contoh cuplikan *script python* hasil perekaman menggunakan fitur *macro manager*. *Script* ini lah yang nantinya akan dimodifikasi untuk dikembangkan menjadi program antarmuka grafis yang lebih fleksibel, sehingga pengguna hanya perlu mengisi nilai parameter yang diinginkan melalui tampilann antarmuka.

Antarmuka yang dirancang memiliki beberapa komponen utama, yaitu antara lain penginputan parameter, penginputan kondisi pembebanan dan tombol proses atau *generate* yang digunakan untuk mengeksekusi perintah dan menghasilkan model sesuai dengan input. Dengan adanya antarmuka grafis ini proses pemodelan menjadi lebih cepat, mampu meminimalkan kesalahan dalam input data serta memungkinkan pemodelan variasi dengan jumlah cukup banyak secara sistematis dan efisien. Penggunaan GUI ini juga membantu dalam meningkatkan efisiensi kerja, terutama ketika menghadapi skenario pemodelan dengan jumlah variasi yang cukup banyak. Dengan hanya melakukan input pada kolom yang tersedia, pengguna tidak perlu lagi melakukan pengulangan langkah secara manual untuk setiap skenario yang tentunya memakan waktu dan rentan terhadap kesalahan. Visualisasi tampilan antarmuka grafis yang telah dirancang ditunjukkan pada Gambar 3.6 berikut.

Model Sekat Memanjang		Variasi Penegar Horizontal		Penegar Transversal	
Nama Model:	Model Sekat	Web:	0.09	Web:	0.375
Panjang Pelat:	9	Face:	0.09	Face:	0.15
Tinggi Pelat:	4.1	Tebal:	0.009	Tebal:	0.01
Tebal Pelat:	0.01				

Material Properties		Mesh		Pembebanan	
Modulus Young:	2E+11	Ukuran Mesh:	0.03125	Beban:	0.0200627
Poisson Ratio:	0.3				
Density:	7850				

Buttons: OK, Cancel

Gambar 3.6 Tampilan GUI untuk Struktur Sekat Memanjang
Sumber : Penulis, 2025

Gambar di atas menunjukkan tampilan antarmuka grafis (GUI) yang telah dirancang sebelumnya untuk memungkinkan proses input data dalam memodelkan sekat memanjang kapal. Antarmuka ini terdiri atas beberapa bagian input, yaitu parameter model sekat memanjang seperti nama model, panjang, tinggi dan tebal pelat sekat. Selain itu juga terdapat variasi dimensi penegar memanjang, penegar melintang serta properti material seperti modulus young, rasio poisson dan massa jenis material. Terdapat juga pengaturan ukuran *mesh* dan nilai pembebanan yang akan diterapkan pada model. Setelah seluruh parameter di inputkan, tombol “OK” dapat ditekan untuk memulai proses pembuatan model secara otomatis. Tampilan antarmuka ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi dalam penyusunan model berbasis metode elemen hingga.

3.9. Studi Konvergensi

Dalam analisis elemen hingga, tingkat keakuratan hasil perhitungan dipengaruhi oleh jumlah penggunaan elemen dalam pemodelan. Semakin banyak elemen yang digunakan, maka solusi numerik semakin mendekati nilai eksak. Disisi lain peningkatan jumlah elemen juga akan berbanding lurus dengan waktu komputasi dan sumber daya yang dibutuhkan . Oleh karena itu studi konvergensi penting dilakukan untuk menemukan ukuran *mesh* yang optimal agar tetap memberikan hasil yang akurat tanpa membebani proses simulasi secara berlebihan.

Studi konvergensi dilakukan dengan memvariasikan ukuran *mesh* dan membandingkan hasil simulasi seperti tegangan maksimum. Konvergensi dikatakan tercapai jika perbedaan hasil antar variasi *mesh* dibawah ambang toleransi yaitu 5%. Jika belum mencapai hasil toleransi

tersebut maka simulasi harus diulang dengan menggunakan ukuran *mesh* yang lebih halus. Pembuatan grafik konvergensi bertujuan untuk memvisualisasikan hubungan antara jumlah elemen dengan hasil simulasi antar varian *mesh*. Grafik yang mendekati *linier* atau mendatar menunjukkan bahwa hasil stabil dan dikatakan konvergen. Ukuran *mesh* yang menghasilkan grafik tersebut dipilih sebagai *mesh* optimal untuk simulasi analisis.

3.10. Pemilihan Lokasi Evaluasi dan Elemen Kritis

Penentuan lokasi evaluasi dilakukan pada titik – titik pada struktur yang diperkirakan mengalami konsentrasi tegangan dan deformasi tertinggi akibat pembebanan lentur. Titik evaluasi utama ditetapkan pada elemen kritis seperti titik tengah (*centroid*) pelat, pertemuan pelat dan penegar, serta area ujung atas dan bawah struktur yang berpotensi mengalami gaya tekan atau tarik maksimum pada kondisi *hogging* maupun *sagging*. Pemilihan elemen – elemen ini dilakukan secara konsisten untuk semua variasi model guna mendukung perbandingan yang objektif dan terstruktur.

3.11. Validasi Model

Model yang digunakan dalam penelitian ini divalidasi dengan membandingkan hasil simulasi model eksisting terhadap data teoritis dari studi maupun literatur yang relevan. Parameter yang divalidasi meliputi nilai besarnya momen reaksi. Validasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa pendekatan pemodelan, *meshing*, pembebanan dan kondisi batas telah merepresentasikan kondisi struktur secara aktual.

3.12. Kriteria Penentuan Desain Optimum

Evaluasi terhadap desain optimum dilakukan berdasarkan evaluasi terhadap seluruh variasi model. Adapun kriteria utama yang akan dievaluasi meliputi nilai tegangan maksimum harus berada dibawah tegangan izin, deformasi maksimum dengan nilai seminimal mungkin, berat struktur serendah mungkin untuk efisiensi massa, serta momen reaksi dengan nilai mendekati atau melebihi model eksisting sebagai indikator kekakuan. Desain yang memenuhi seluruh kriteria dengan performa paling seimbang dinyatakan sebagai desain optimum.

BAB 4

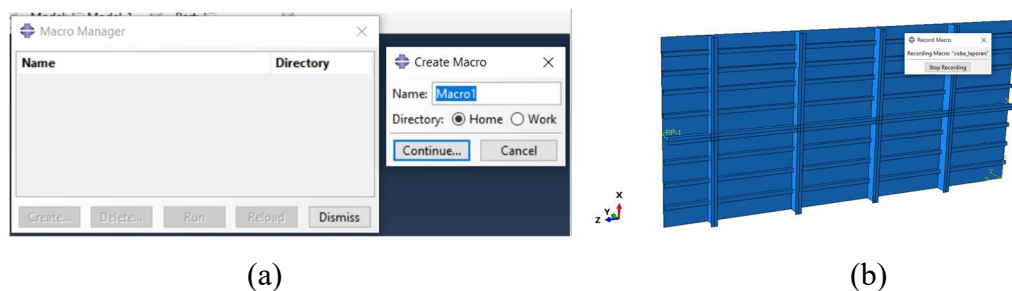
PERANCANGAN GRAPHICAL USER INTERFACE

4.1. Pemodelan dan Perancangan GUI Sekat Memanjang Kapal

Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perilaku struktural sekat memanjang pada kapal tanker akibat pengaruh momen lentur, baik dalam kondisi *hogging* maupun *sagging*. Pemodelan sekat memanjang dilakukan menggunakan perangkat lunak *finite element analysis* (FEA), yaitu ABAQUS CAE 2020. Tahapan pemodelan merupakan langkah awal sebelum analisis dilakukan. Selama proses ini, seluruh tahapan pemodelan direkam secara otomatis menggunakan fitur *macro manager* seperti yang telah dijelaskan sebelumnya secara otomatis dalam bentuk kode *script*, yang selanjutnya akan digunakan sebagai dasar dalam pengembangan antarmuka pengguna grafis (GUI) untuk pemodelan otomatis. Adapun langkah – langkah pemodelan struktur sekat memanjang dilakukan secara sistematis sebagai berikut.

4.1.1. Macro Manager

Dalam rangka mendukung perancangan *graphical user interface* (GUI) yang mampu menghasilkan model secara otomatis, digunakan fitur *macro manager* yang tersedia pada perangkat lunak ABAQUS CAE. *Macro manager* merupakan alat bantu yang berfungsi untuk merekam seluruh aktivitas pengguna selama proses pemodelan dan menyimpannya dalam bentuk file *script* berbasis bahasa pemrograman *python*. File *script* ini dapat dimodifikasi lebih lanjut dan dijalankan ulang untuk menghasilkan model yang sama maupun dikembangkan menjadi sistem antarmuka otomatis untuk berbagai variasi model. Proses perekaman dilakukan dengan mengaktifkan fitur *macro manager* melalui menu *File > Macro Manager > Directory*, kemudian memilih opsi *start recording* sebelum memulai proses pemodelan seperti yang terlihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Fitur *Macro Manager* pada ABAQUS, (a) Pengaktifan *Macro*, (b) Contoh Proses Perekaman

Keseluruhan langkah yang dilakukan mulai dari pembuatan *part*, pengaturan material, pengaturan *section part*, *assembly*, pengaplikasian kondisi batas hingga pemberian beban dan pembuatan *job* akan direkam dalam bentuk perintah *python* yang terstruktur. Setelah seluruh tahapan pemodelan selesai, perekaman dihentikan dengan memilih opsi *Stop Recording*. File *script* hasil rekaman kemudian disimpan dengan nama sesuai keinginan dan memiliki ekstensi *python (.py)* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 berikut.

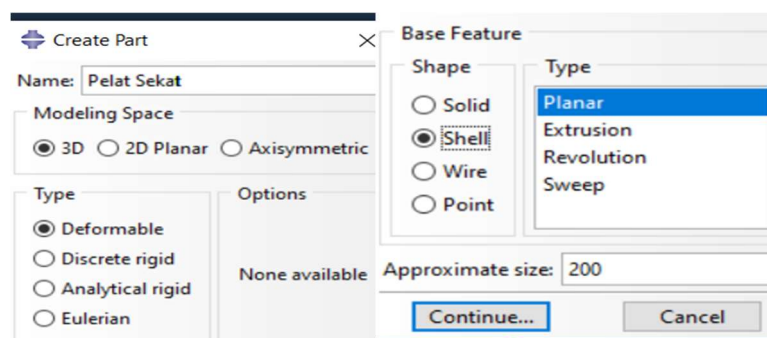
Nama	Tanggal di...	Jenis	Ukuran
 abaqusMacros	09/04/202...	File PY	4 KB
 abaqusMacros	09/04/202...	File PYC	6 KB

Gambar 4.2 File Hasil Rekaman *Macro Manager*

File tersebut kemudian akan digunakan sebagai dasar pengembangan *graphical user interface*. Keuntungan utama dari penggunaan fitur *macro manager* adalah efisiensi waktu dan konsistensi model terutama saat melakukan analisis dengan banyak variasi geometri maupun parameter sehingga mempercepat proses analisis.

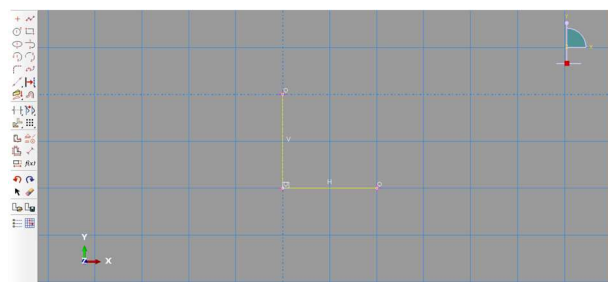
4.1.2. Part

Tahap awal dalam pemodelan struktur sekat memanjang kapal adalah pembuatan *part* yang berfungsi sebagai representasi masing – masing elemen penyusun struktur. Pembuatan *part* dilakukan dalam modul *Part* dengan terlebih dahulu memilih jenis ruang pemodelan (*modelling space*) sebagai 3D *deformable*. Pemilihan tersebut karena struktur yang akan dianalisis bersifat mampu mengalami deformasi akibat pembebanan. Langkah selanjutnya adalah pemilihan jenis bentuk (*shape*) yang digunakan, pada penelitian ini bentuk yang dipilih untuk pemodelan struktur adalah *shell*. Hal ini dikarenakan sesuai dengan karakteristik elemen struktur kapal yang umumnya berupa pelat tipis. Setelah itu dilakukan pemilihan metode dasar pembuatannya (*base feature*) yaitu menggunakan *extrusion*. Proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.3 Proses Pemilihan Tipe *Part* berikut.

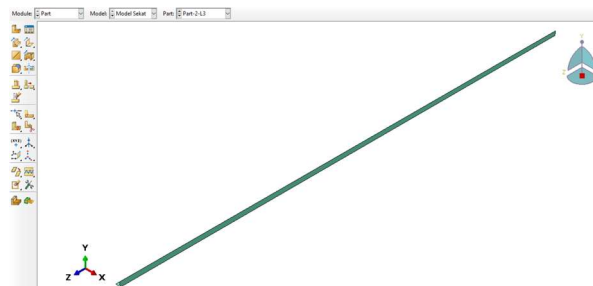


Gambar 4.3 Proses Pemilihan Tipe *Part*

Metode *extrusion* dipilih karena bentuk struktur kapal umumnya memiliki penampang 2D yang seragam sepanjang arah tertentu, sehingga dapat dimodelkan secara efisien dengan mengekstrusi sketsa bidang dua dimensi. Sketsa dibuat berdasarkan data geometrik yang tersedia. Proses sketsa dimulai dengan mendefinisikan titik – titik kunci (*keypoints*) kemudian dihubungkan menjadi garis – garis (*lines*) lalu membentuk bidang tertutup (*areas*). Setelah terbentuk, bidang – bidang tersebut yang akan diekstrusi untuk menghasilkan *part* 3D yang terdiri atas pelat sekat, profil L sebagai penegar memanjang, dan profil T sebagai pembujur sekaligus penegar melintang. Contoh hasil sketsa dan hasil ekstrusi salah satu *part* yaitu *profile* L sebagai penegar memanjang ditunjukkan pada Gambar 4.4.



(a)



(b)

Gambar 4.4 Proses Pembuatan *Part*, (a) *Sketch Part*, (b) Hasil Ekstruksi *Sketch Part*

Berikut merupakan contoh *coding* hasil perekaman selama pembuatan *part* profil L berlangsung. Sedangkan penjelasan terkait dengan *coding* pembuatan *part* dapat dilihat pada

```
# Membuat profile L1
#membuat set model L1
s1 = mdb.models[nama_model].ConstrainedSketch(name='__profile__',
sheetSize=1.0)
g, v, d, c = s1.geometry, s1.vertices, s1.dimensions, s1.constraints
s1.setPrimaryObject(option=STANDALONE)

#membuat Profile L1
s1.Line(point1=(0.0, 0.0), point2=(0.0, -panjang_web_L))
s1.VerticalConstraint(entity=g[2], addUndoState=False)
s1.Line(point1=(0.0, -panjang_web_L), point2=(-panjang_web_L, -
panjang_face_L))
s1.HorizontalConstraint(entity=g[3], addUndoState=False)
s1.PerpendicularConstraint(entity1=g[2], entity2=g[3], addUndoState=False)
p = mdb.models[nama_model].Part(name='Part-2-L1', dimensionality=THREE_D,
```

```

type=DEFORMABLE_BODY)
p = mdb.models[nama_model].parts['Part-2-L1']
p.BaseShellExtrude(sketch=s1, depth=panjang_pelat)
s1.unsetPrimaryObject()
p = mdb.models[nama_model].parts['Part-2-L1']
session.viewports['Viewport: 1'].setValues(displayedObject=p)
del mdb.models[nama_model].sketches['__profile__']

```

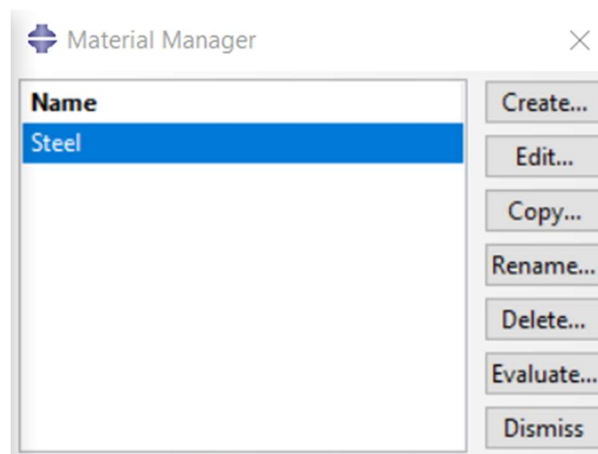
Tabel 4.1 Script Code Pembuatan Part

Coding Script	Penjelasan
<pre> s1=mdb.models[nama_model].ConstrainedSketch(name='__profile__', sheetSize=1.0) g, v, d, c = s1.geometry, s1.vertices, s1.dimensions, s1.constraints s1.setPrimaryObject(option=STANDALONE) </pre>	Menginisialisasi pembuatan <i>sketch</i> dua dimensi untuk membuat geometri awal pada model yang ditentukan oleh [nama_model]. <i>Sketch</i> diberi ukuran lembar kerja default 1.0 dan ditetapkan sebagai objek aktif. Beberapa elemen pada <i>sketch</i> seperti geometri (g), titik (v), dimensi (d) dan batasan (c) diinisialisasi untuk mempermudah proses pemodelan
<pre> s1=mdb.models[nama_model].ConstrainedSketch(name='__profile__', sheetSize=1.0) g, v, d, c = s1.geometry, s1.vertices, s1.dimensions, s1.constraints s1.setPrimaryObject(option=STANDALONE) </pre>	Membuat dua garis pada <i>sketch</i>, yaitu garis vertikal dari titik (0,0) ke bawah sejauh panjang_web_L dan garis <i>horizontal</i> ke kiri sejauh kombinasi panjang_web_L dan panjang_face_L. Kedua garis tersebut diberi batasan vertikal dan <i>horizontal</i> serta saling dipertegas dengan <i>constraint</i> tegak lurus.
<pre> s1.Line(point1=(0.0, 0.0), point2=(0.0, -panjang_web_L)) s1.VerticalConstraint(entity=g[2], addUndoState=False) s1.Line(point1=(0.0, - panjang_web_L), point2=(- panjang_web_L, -panjang_face_L)) s1.HorizontalConstraint(entity=g[3], addUndoState=False) s1.PerpendicularConstraint(entity 1=g[2], entity2=g[3], addUndoState=False) </pre>	Membuat seluruh part tiga dimensi baru bernama 'Part-2-L1' dengan jenis <i>deformable body</i>, lalu mengekstrusi <i>sketch</i> yang telah dibuat sejauh panjang_pelat untuk membuat geometri <i>shell</i> 3D dari profil – L.
<pre> p = mdb.models[nama_model].Part(name= 'Part-2-L1', dimensionality=THREE_D, type=DEFORMABLE_BODY) p = mdb.models[nama_model].parts['Part-2-L1'] p.BaseShellExtrude(sketch=s1, depth=panjang_pelat) </pre>	Mengakhiri penggunaan <i>sketch</i> sebagai objek aktif, menampilkan part hasil ekstruksi pada <i>viewport</i> ABAQUS agar dapat divisualisasikan serta menghapus <i>sketch</i> sementara.

Coding Script	Penjelasan
<pre>s1.unsetPrimaryObject() p mdb.models[nama_model].parts['Part-2-L1'] session.viewports['Viewport: 1'].setValues(displayedObject=p) del mdb.models[nama_model].sketches['_profile_']</pre>	Mengakhiri penggunaan <i>sketch</i> sebagai objek aktif, menampilkan <i>part</i> hasil ekstruksi pada <i>viewport</i> ABAQUS agar dapat divisualisasikan serta menghapus <i>sketch</i> sementara.

4.1.3. Engineering Data

Sebelum pengaplikasian beban pada model, perlu dilakukan pendefinisian material yang akan digunakan untuk melakukan analisis pada struktur. Sifat mekanik dari material tersebut perlu didefinisikan menggunakan fitur material yang ada pada perangkat lunak ABAQUS. Proses memasukkan properti material yaitu dengan memilih modul *Property>Material Manager>Create Material*. Gambar 4.5 merupakan fitur material yang ada pada ABAQUS, dalam hal ini jenis material yang digunakan pada penelitian ini merupakan material baja yaitu baja A36. Hal ini dikarenakan model sekat yang dianalisis terbuat dari baja.



Gambar 4.5 Penambahan Material *Steel*

Berikut merupakan contoh *coding* pendefinisian material, sedangkan penjelasan terkait dengan *coding* dapat dilihat pada Tabel 4.2.

```
# Membuat material Baja
session.viewports['Viewport: 1'].partDisplay.setValues(sectionAssignments=ON,
engineeringFeatures=ON)
session.viewports['Viewport: 1'].partDisplay.geometryOptions.setValues(
referenceRepresentation=OFF)
mdb.models[nama_model].Material(name='Steel')
```

Tabel 4.2 *Script Code* Penambahan Material *Steel*

Coding Script	Penjelasan
<pre>session.viewports['Viewport: 1'].partDisplay.setValues(sec tionAssignments=ON,engineerin gFeatures=ON) session.viewports['Viewport: 1'].partDisplay.geometryOptio ns.setValues(referenceReprese ntation=OFF)</pre>	Mengatur tampilan <i>part</i> di jendela <i>viewport</i> Abaqus dengan mengaktifkan tampilan penugasan penampang (<i>sectionAssignments</i>) dan fitur rekayasa (<i>engineeringFeatures</i>). Sedangkan tampilan referensi geometri dimatikan agar hanya bentuk asli model yang ditampilkan tanpa garis bantu.
<pre>mdb.models[nama_model].Materi al(name='Steel')</pre>	Mendefinisikan material baru dengan nama ' <i>Steel</i> ' pada model aktif (<i>nama_model</i>) yang akan digunakan untuk mendefinisikan sifat material komponen struktur

Terdapat beberapa pilihan sifat mekanik untuk beberapa material, pada penelitian ini digunakan sifat material *isotropic* yaitu memiliki sifat mekanik yang sama di semua arah. Sifat ini diaplikasikan untuk 2 perilaku fisik material yaitu perilaku *elastic* dan *plastic*. *material properties* yang akan digunakan mengacu pada data material baja A36 seperti yang terlihat pada Tabel 4.3 sebagai berikut. (Cowell, 1969)

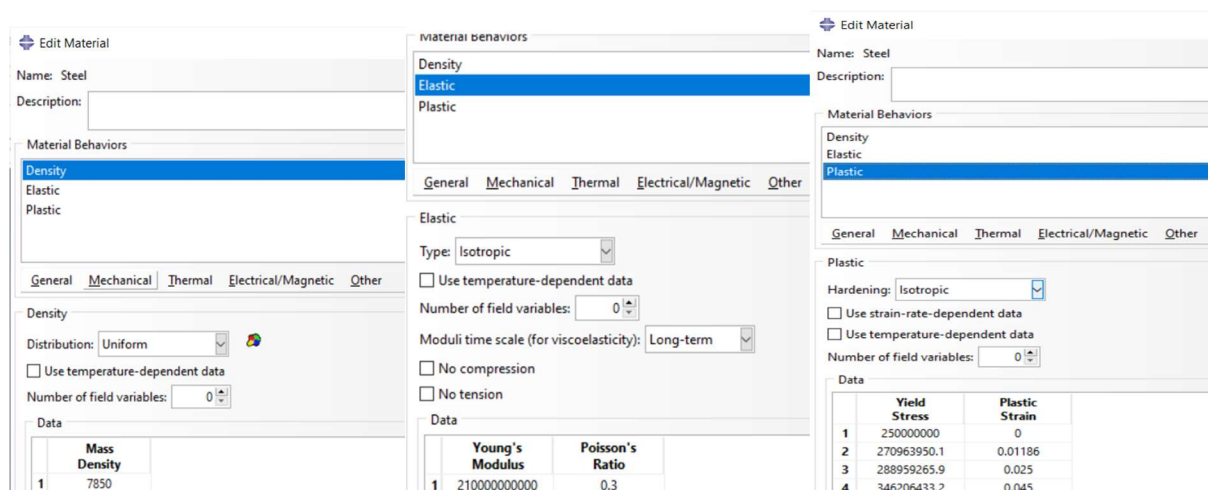
Tabel 4.3 Properti Material Baja A36

Properti Material Baja A36		
<i>Density</i>	7850	<i>Kg/m³</i>
<i>Young's Modulus</i>	200	GPa
<i>Poisson's Rastio</i>	0.33	
Plastic	<i>Yield Stress (Pa)</i>	<i>Plastic Strain</i>
	220632224	0.0000
	220632224	0.0059
	288959265.9	0.0250
	346206433.2	0.0450
	374995491.1	0.0650
	392373726.1	0.0850
	404101707.8	0.1050
	412637416.9	0.1250
	417908458.7	0.1450
	421235178.9	0.1650
	423638001.7	0.1850
	425341006.7	0.2050
	426292483.2	0.2250
	426475194.2	0.2450

Properti Material Baja A36		
	<i>Yield Stress (Pa)</i>	<i>Plastic Strain</i>
	425596112.7	0.2650
	422314208.4	0.2850
	417305167.4	0.3050
	409465828.7	0.3250
	395476366.8	0.3450
	374057804.1	0.3650
	344682691.9	0.3850

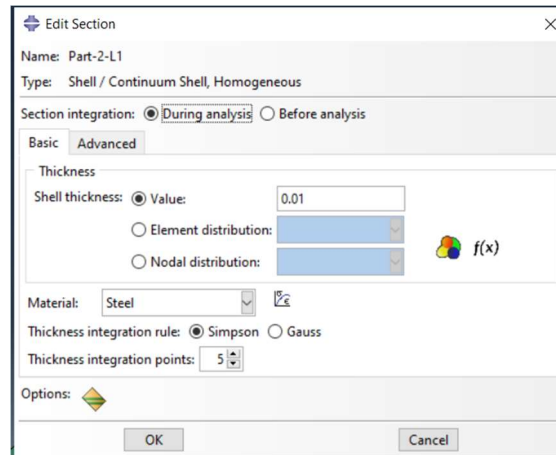
Sumber: *Sujita & Sutanto, 2022 dan Cowell, 1969*

Penggunaan baja A36 sebagai material karena merupakan salah satu baja struktural paling umum digunakan dalam kontruksi kapal. Selain itu, data sifat mekanik baja A36 tersedia secara lengkap baik sifat elastis maupun plastis sehingga mendukung akurasi dalam simulasi numerik yang akan dilakukan. Material behavior yang dimasukan ke model dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut.



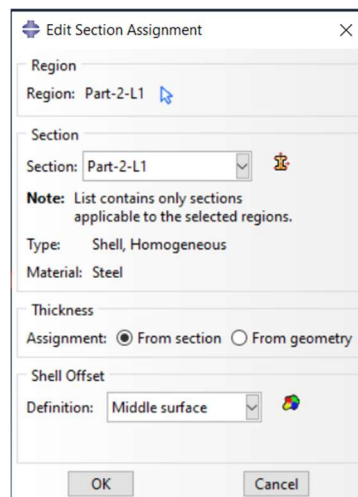
Gambar 4.6 Proses *Input* Properti Material ke ABAQUS

Dalam analisis ini digunakan model tiga dimensi, sehingga setiap *part* yang telah dibuat sebelumnya perlu diberikan nilai ketebalan. Terdapat tiga variasi ketebalan pelat yang digunakan yaitu 8 mm, 9 mm dan 10 mm. Penentuan ketebalan dilakukan melalui menu *Property>Create Seaction*, selanjutnya nilai ketebalan dimasukkan sesuai dengan kebutuhan masing masing variasi. Penentuan ketebalan pelat ini merupakan salah satu parameter utama yang akan divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekuatan dan kekakuan struktur sekat memanjang kapal. Pemilihan variasi tersebut mempertimbangkan batasan ketebalan yang umum digunakan, serta batas plastis dan elastis material yang dapat diterima dalam kondisi operasional. Tampilan proses penginputan nilai ketebalan dapat dilihat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Penentuan Ketebalan *Part*

Langkah selanjutnya adalah menetapkan *section* untuk mendefinisikan ketebalan masing – masing *part* dengan memilih menu *Property > Assign Section*. Kemudian dilanjutkan dengan memilih *section* yang telah dibuat sebelumnya seperti yang terlihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Proses *Assign Section*

Beikut ini merupakan contoh hasil *coding* dari keseluruhan proses diatas, sedangkan penjelasan terkait dengan *coding* dapat dilihat pada Tabel 4.4.

```
# For density (single value needs tuple with comma)
mdb.models[nama_model].materials['Steel'].Density(table=((density_value,)),)

# Membuat section untuk top plate, bottom plate dan profil
mdb.models[nama_model].HomogeneousShellSection(name='Bulkhead_Plate',preInt
egrate=OFF, material='Steel', thicknessType=UNIFORM, thickness=tebal_pelat,
thicknessField='', nodalThicknessField='',
idealization=NO_IDEALIZATION, poissonDefinition=DEFAULT,
thicknessModulus=None, temperature=GRADIENT, useDensity=OFF,
integrationRule=SIMPSON, numIntPts=5)

# Memasukkan tebal di plate
p = mdb.models[nama_model].parts['Bulkhead_Plate']
f = p.faces
```

```

faces = f.getSequenceFromMask(mask=('[#1 ]', ), )
region = p.Set(faces=faces, name='Bulkhead_Plate')
p = mdb.models[nama_model].parts['Bulkhead_Plate']
p.SectionAssignment(region=region, sectionName='Bulkhead_Plate',offset=0.0,
offsetType=MIDDLE_SURFACE, offsetField='',thicknessAssignment=FROM_SECTION)

```

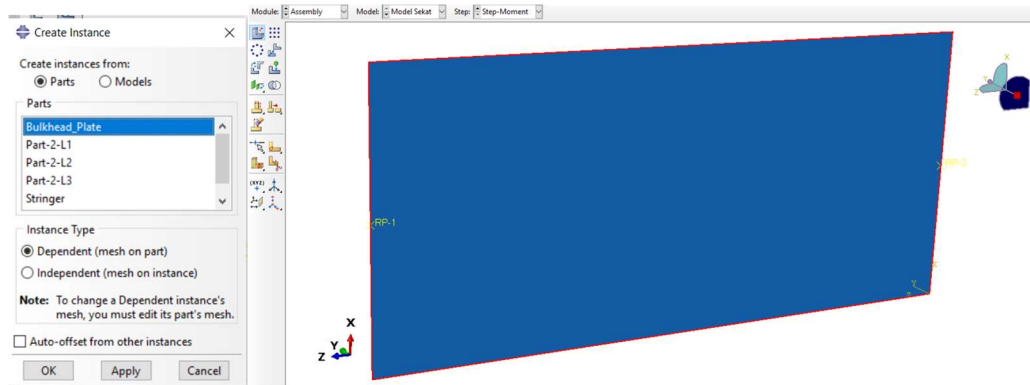
Tabel 4.4 *Script Code* Proses Pendefinisian Material hingga *Assign Section*

Coding Script	Penjelasan
<pre> mdb.models[nama_model].materials['Steel'].Density(table=((density_value,)),) </pre>	Mendefinisikan nilai massa jenis material 'Steel'
<pre> mdb.models[nama_model].HomogeneousShellSection(name='Bulkhead_Plate',preIntegrate=OFF, material='Steel', thicknessType=UNIFORM, thickness=tebal_pelat,thicknessField='', nodalThicknessField='', idealization=NO_IDEALIZATION, poissonDefinition=DEFAULT,thicknessModulus=None, temperature=GRADIENT, useDensity=OFF,integrationRule=SIMPLSON, numIntPts=5) </pre>	Membuat <i>section</i> dengan jenis <i>Homogeneous Shell</i> untuk <i>part</i> pelat dengan nama Bulkhead_Plate yang menggunakan material <i>Steel</i> . Ketebalan pelat ditentukan seragam (<i>thicknessType=UNIFORM</i>) dan diatur dengan nilai <i>tebal_pelat</i> . <i>Section</i> ini nantinya disesuaikan untuk masing – masing <i>part</i> .
<pre> P=mdb.models[nama_model].parts['Bulkhead_Plate'] f = p.faces faces=f.getSequenceFromMask(mask=('[#1]',),) region = p.Set(faces=faces, name='Bulkhead_Plate') p=mdb.models[nama_model].parts['Bulkhead_Plate'] p.SectionAssignment(region=region, sectionName='Bulkhead_Plate',offset=0.0,offsetType=MIDDLE_SURFACE, offsetField='',thicknessAssignment=FROM_SECTION) </pre>	Menentukan area (<i>region</i>) dari permukaan <i>part</i> yaitu pelat yang akan diberikan <i>section</i> , kemudian menerapkan <i>section</i> 'Bulkhead_Plate' ke daerah tersebut. Penempatan ketebalan dilakukan ditengah permukaan (<i>middle surface</i>) dengan <i>offset</i> nol

4.1.4. Assembly

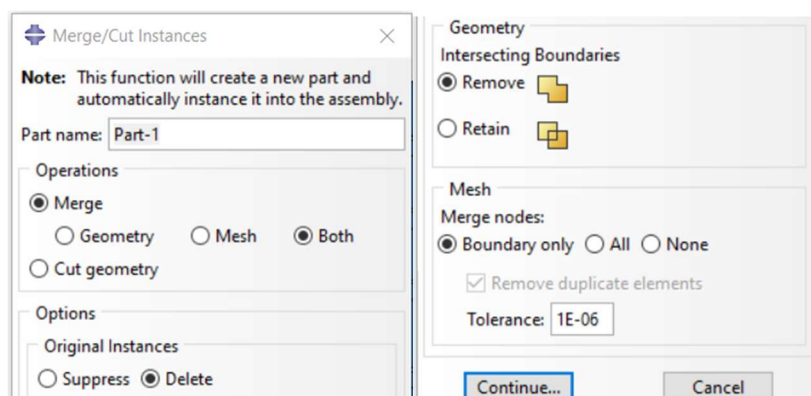
Tahapan *assembly* merupakan proses lanjutan setelah seluruh *part* selesai dimodelkan. Pada tahap ini semua *part* disusun menjadi satu kesatuan sistem struktur utuh yang nantinya akan dianalisis. Langkah awal pada tahap *assembly* adalah membuat *instance* dari masing – masing *part*. Tahap ini dilakukan melalui menu *Assembly > Create Instance >* pilih opsi *Part*, kemudian memilih tipe *instance dependent*. Penggunaan tipe *dependent* karena dapat

mempertahankan properti *mesh* dari *part* asal dan menghindari duplikasi saat dilakukan penggabungan atau analisis. Kemudian semua *part* yang telah dibuat sebelumnya dimasukkan sebagai *instance* kedalam tampilan *assembly*. Salah satu contoh proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.9 Proses *Input Part* ke Tampilan *Assembly*

Setelah *part* berhasil dimasukkan di jendela *assembly*, selanjutnya dilakukan penyesuaian posisi tiap *part* dengan menggunakan fitur transformasi seperti *translate*, *rotate* dan *pattern*. Penyesuaian ini bertujuan untuk memastikan semua elemen *part* tersusun sesuai konfigurasi geometris struktur sekat memanjang. Setelah semua *part* tersusun membentuk struktur utuh, dilakukan proses penggabungan dengan menggunakan fitur *merge instance* agar seluruh *part* menjadi satu entitas geometri. Langkah yang dilakukan adalah memilih menu *Assembly > Merge/Cut Instance > pilih Merge > opsi Both* kemudian mengaktifkan opsi *Delete Original Instance*, *Remove Geometry* dan *All Mesh*. Konfigurasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut.



Gambar 4.10 Pengaturan untuk *Merge Part*

Beikut ini merupakan contoh hasil *coding* dari keseluruhan proses diatas, sedangkan penjelasan terkait dengan *coding* dapat dilihat pada Tabel 4.5.

```
#Menggabungkan part dalam assembly
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
```

```

# Memasukkan part plate
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
a.DatumCsysByDefault(CARTESIAN)
p = mdb.models[nama_model].parts['Bulkhead_Plate']
a.Instance(name='Bulkhead_Plate-1', part=p, dependent=OFF)
# Menempatkan profile T Transverse pertama dan menempatkannya pada Bulkhead
Plate
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
p = mdb.models[nama_model].parts['T_Transverse']
a.Instance(name='T_Transverse-1', part=p, dependent=OFF)
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
a.rotate(instanceList=('T_Transverse-1', ), axisPoint=(0.0, 0.0, 0.0),
axisDirection=(0.0, 10.0, 0.0), angle=270.0)

# Memindahkan part Profile T Transverse ke posisi awal sesuai
jarak_profile_T
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
a.translate(instanceList=('T_Transverse-1', ), vector=(lebar_pelat, 0.0,
start_position_T))

# Menambahkan profile T dengan jarak yang ditentukan (mulai dari profil
kedua)
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
a.LinearInstancePattern(instanceList=('T_Transverse-1', ),
direction1=(0.0, 0.0, 1.0), direction2=(0.0, 1.0, 0.0),
number1=5 - 1, number2=1,
spacing1=2, spacing2=1.0)

# Tambahkan instance pattern ke list
for i in range(2, 5 + 1):
instance_name = 'T_Transverse-1-lin-{}'.format(i)
Transverse_instances.append(instance_name)

```

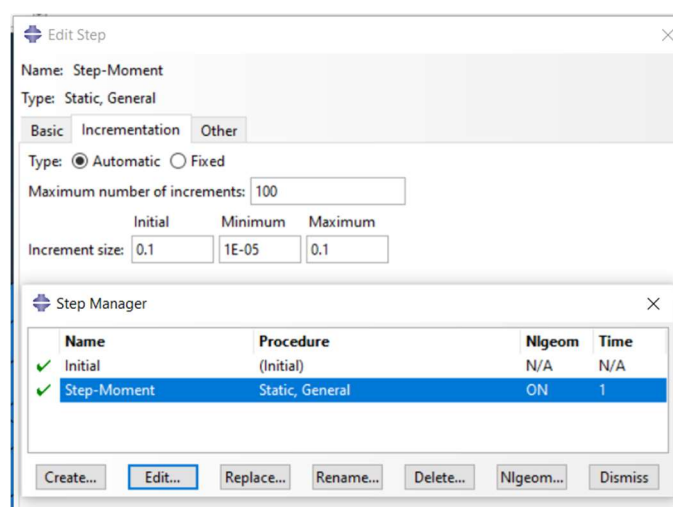
Tabel 4.5 Script Code Proses Assembly Model

Coding Script	Penjelasan
<code>a = mdb.models[nama_model].rootAssembly</code>	Mengakses dan menyiapkan <i>root assembly</i> sebagai wadah penggabungan <i>part</i>
<code>p=mdb.models[nama_model].parts['Bulkhead_Plate']</code> <code>a.Instance(name='Bulkhead_Plate-1', part=p, dependent=OFF)</code>	Menambahkan <i>part</i> Bulkhead_Plate ke dalam <i>assembly</i>
<code>p=mdb.models[nama_model].parts['T_Transverse']</code> <code>a.Instance(name='T_Transverse-1', part=p, dependent=OFF)</code>	Membuat <i>instance part</i> T_Transverse ke dalam <i>assembly</i>
<code>a.rotate(instanceList=('T_Transverse-1',), axisPoint=(0.0, 0.0, 0.0), axisDirection=(0.0, 10.0, 0.0), angle=270.0</code>	Mengatur orientasi dan posisi <i>instance</i> agar sesuai dengan desain

Coding Script	Penjelasan
<pre>a.translate(instanceList=('T_Transverse-1',), vector=(lebar_pelat, 0.0, start_position_T))</pre>	
<pre>a.LinearInstancePattern(instanceList=('T_Transverse-1',), direction1=(0.0, 0.0, 1.0), direction2=(0.0, 1.0, 0.0), number1=5 - 1, number2=1, spacing1=2, spacing2=1.0)</pre>	Membuat pola pengulangan <i>instance</i> (<i>linear array</i>), umum digunakan dalam struktur berulang seperti penegar dan penumpu
<pre>for i in range(2, 5 + 1): instance_name = 'T_Transverse-1-lin-{}-1'.format(i) Transverse_instances.append(instance_name)</pre>	Menyimpan nama – nama <i>instance</i> hasil duplikasi untuk keperluan refrensi selanjutnya, seperti penggabungan atau penugasan <i>load</i>

4.1.5. Step

Sebelum diterapkan *constrain* pada model, perlu didefinisikan step terlebih dahulu. Penambahan step ini berperan sebagai tahapan untuk mendefinisikan jenis dan urutan analisis yang dilakukan terhadap model geometri. Step ini digunakan untuk mengatur tahapam pemberian beban, batasan, serta jenis analisis yang diinginkan. Pada penelitian ini analisis yang digunakan adalah *static general step*, dimana dalam step tersebut mendefinisikan durasi waktu analisis, pembagian inkremen (*increments*) serta pengaturan konvergensi yang berperan penting dalam kestabilan perhitungan numerik akibat penerapan momen lentur nantinya. Penambahan step pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut ini.



Gambbar 4.11 Proses Penambahan *Step – Moment*

Gambar di atas menunjukkan step yang di gunakan pada penelitian ini, dalam hal ini metode yang di gunakan adalah *automatic incrementation* yang memungkinkan perangkat

lunak menyesuaikan ukuran inkremen secara otomatis selama proses analisis berlangsung. Parameter yang ditentukan meliputi *maximum number of increments* yaitu sebesar 1000, *initial increment size* sebesar 0.01, *minimum increment size* sebesar 1E-05 dan *maximum increments size* sebesar 0.01. Di sisi lain terdapat juga *initial step* yang berfungsi untuk mendefinisikan kondisi awal model.

Berikut ini merupakan contoh hasil *coding* dari proses penambahan step, sedangkan penjelasan terkait dengan *coding* dapat dilihat pada Tabel 4.6.

```
mdb.models[nama_model].StaticStep(name='Step-Moment', previous='Initial',
maxNumInc=1000, initialInc=0.01, maxInc=0.01, nlgeom=ON)
session.viewports['Viewport: 1'].assemblyDisplay.setValues(step='Step-
Moment')
session.viewports['Viewport: 1'].assemblyDisplay.setValues(interactions=ON,
constraints=ON, connectors=ON, engineeringFeatures=ON,
adaptiveMeshConstraints=OFF)
```

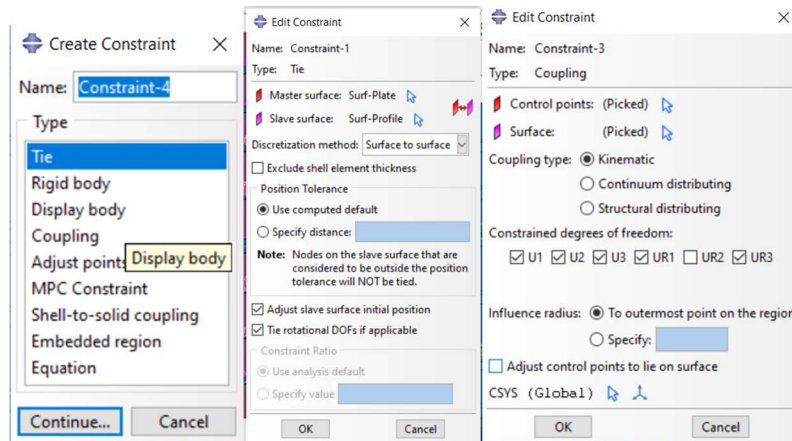
Tabel 4.6 Script Code Penambahan Step

Coding Script	Penjelasan
<pre>mdb.models[nama_model].StaticStep(name='Step-Moment', previous='Initial', maxNumInc=1000, initialInc=0.01, maxInc=0.01, nlgeom=ON)</pre>	Mendefinisikan tahapan analisis <i>Static General</i> bernama ' <i>Step-Moment</i> ' yang mengikuti kondisi awal, dengan pengaturan <i>increment</i> sebesar 0.01 dan mempertimbangkan <i>non – linearitas</i> geometri melalui opsi <i>nlgeom=ON</i>
<pre>session.viewports['Viewport: 1'].assemblyDisplay.setValues(s tep='Step-Moment')</pre>	Menampilkan model <i>viewport</i> ABAQUS dengan kondisi sesuai step bernama ' <i>Step-Moment</i> ', agar pengguna dapat melihat kondisi pembebanan dan pengaturan saat step tersebut aktif
<pre>session.viewports['Viewport: 1'].assemblyDisplay.setValues(i nteractions=ON, constraints=ON, connectors=ON, engineeringFeatures=ON, adaptiveMeshConstraints=OFF)</pre>	Mengaktifkan tampilan berbagai fitur penting di layar kerja ABAQUS selama ' <i>Step-Moment</i> ', seperti interaksi, <i>constraint</i> , konektor dan fitur teknik lainnya. Sementara fitur <i>adaptiveMeshConstraints</i> dimatikan agar <i>mesh</i> tidak berubah otomatis selama analisis

4.1.6. Interaction

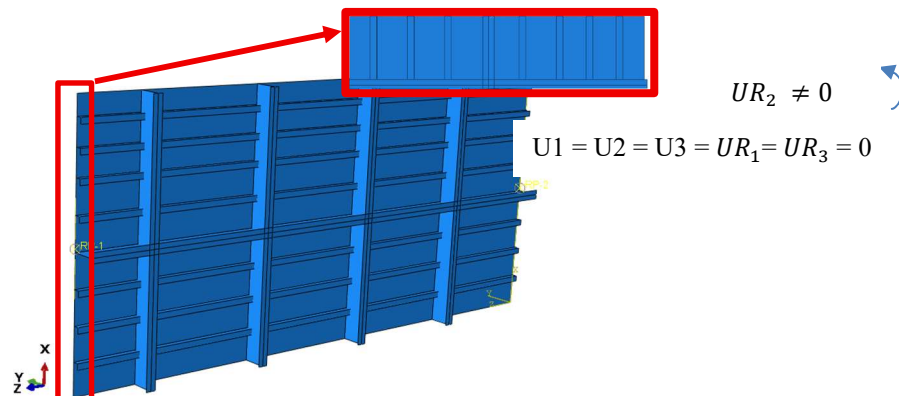
Setelah mendefinisikan step analisis pada model, langkah berikutnya adalah menetapkan batasan (*constraint*) untuk menggambarkan kondisi sambungan dan interaksi antar komponen pada struktur. Pemberian *constraint* penting untuk mencegah gerakan bebas yang tidak realistis

serta memastikan deformasi dan tegangan yang dihasilkan sesuai dengan kondisi nyata struktur kappal. Langkah – langkah menentukan *constraint* tersebut dapat dilakukan dengan *Create constraint* > pilih opsi *constraint tie/coupling* > kemudian pilih bagian yang akan di beri *constraint*, dapat berupa *surface* maupun *set*. Proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.12 berikut.



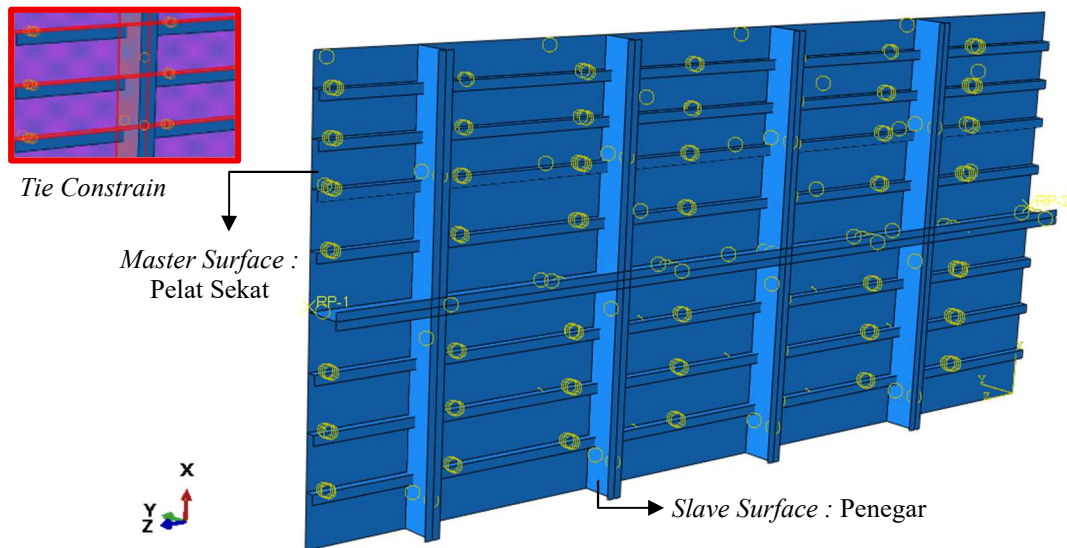
Gambar 4.12 Proses Penentuan *Constraint* yang digunakan pada Model

Pada model sekat memanjang *constraint* digunakan untuk merepresentasikan sambungan las antara pelat sekat dengan elemen struktur yang lain seperti penegar memanjang, penegar melintang dan pembujur. Selain itu diberikan *Refrence Point* (RP) yang digunakan untuk memberikan beban lentur secara terpusat. *Refrence point* dibuat dan diletakkan secara simestris di kedua sisi depan dan belakang pelat sekat, yaitu tepat di tengah tinggi pelat. Hal ini berfungsi sebagai titik aplikasi beban rotasi untuk mensimulasikan momen lentur akibat kondisi *hogging* maupun *sagging*. Masing – masing RP kemudian dikaitkan ke *edge* pada ujung pelat sekat menggunakan *coupling constraint* tipe *kinematic*, Penggunaan *kinematic coupling* ini untuk memastikan bahwa rotasi yang diberikan ke RP akan didistribusikan secara merata keseluruh *edge* pelat sekat untuk menghasilkan efek momen lentur. Konfigurasi pemberian *coupling constraint* ini ditunjukkan pada Gambar 4.13 berikut ini



Gambar 4.13 Pemberian *Coupling Constraint*

Selanjutnya digunakan *tie constraint* untuk merepresentasikan sambungan antar elemen struktural. Pada model sekat memanjang, permukaan penegar dan pembujur dihubungkan dengan permukaan pelat sekat menggunakan konfigurasi *tie surface – to – surface*. Konfigurasi ini permukaan *slave* yaitu penegar dan pembujur melekat sepenuhnya pada permukaan *master* yaitu pelat sekat. Hal ini bertujuan agar tidak terjadi slip maupun pemisahan antar komponen. Konfigurasi pemberian *tie constraint* ini ditunjukkan pada Gambar 4.14 berikut ini



Gambar 4.14 Visualisasi *Tie Constraint*

Berikut ini merupakan contoh hasil *coding* dari proses pemberian *coupling* dan *tie constraint* pada model, sedangkan penjelasan terkait dengan *coding* dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8.

```
#membuat Reference Point
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
    e1 = a.instances['Bulkhead_Plate-1'].edges
    a.ReferencePoint(point=a.instances['Bulkhead_Plate1'].InterestingPoint(e
dge=e1[0], rule=MIDDLE))
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
    e11 = a.instances['Bulkhead_Plate-1'].edges
    a.ReferencePoint(point=a.instances['Bulkhead_Plate1'].InterestingPoint(
edge=e11[2], rule=MIDDLE))
```

Tabel 4.7 Script Code Pembuatan Reference Point (RP)

Coding Script	Penjelasan
<code>a = mdb.models[nama_model].rootAssembly</code>	Mendefinisikan <i>root assembly</i> dari model aktif
<code>e1 = a.instances['Bulkhead_Plate-1'].edges</code>	Mengambil semua edge dari <i>instance</i> pelat sekat

<code>.ReferencePoint(point=a.instances['Bulkhead_Plate1'].InterestingPoint(edge=e1[0], rule=MIDDLE))</code>	Membuat <i>Reference Point (RP)</i> di titik tengah (rule=MIDDLE) dari salah satu <i>edge</i>
--	---

```
#Membuat Coupling Constrain di RP1
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
s1 = a.instances['Bulkhead_Plate-1'].edges
side1Edges1 = s1.getSequenceFromMask(mask=('[#1 ]', ), )
a.Surface(side1Edges=side1Edges1, name='Surf-RP1')
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
r1 = a.referencePoints
refPoints1=(r1[43], )
region1=regionToolset.Region(referencePoints=refPoints1)
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
region2=a-surfaces['Surf-RP1']
mdb.models[nama_model].Coupling(name='Constraint-2', controlPoint=region1,
surface=region2, influenceRadius=WHOLE_SURFACE, couplingType=KINEMATIC,
localCsys=None, u1=ON, u2=ON, u3=ON, ur1=ON, ur2=OFF, ur3=ON)
```

Tabel 4.8 Script Code Pembuatan Coupling Constraint

Coding Script	Penjelasan
<code>controlPoint=region1</code>	<i>Reference Point (RP)</i> yang akan menjadi pusat kendali gerakan
<code>surface=region2</code>	<i>Edge</i> atau <i>surface</i> yang dikendalikan oleh RP
<code>couplingType=KINEMATIC</code>	Gerakan <i>rigid</i> , yaitu semua DOF yang diaktifkan akan mengikuti RP
<code>u1=ON, u2=ON, u3=ON</code>	Translasi dikunci
<code>ur1=ON, ur2=OFF, ur3=ON</code>	Rotasi di UR2 dibebaskan sedangkan sumbu rotasi lainnya dikunci
<code>influenceRadius=WHOLE_SURFACE</code>	Seluruh permukaan <i>slave</i> terpengaruh oleh RP

```
#Membuat Tie Constrain
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
region1=a-surfaces['Surf-Plate']
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
region2=a-surfaces['Surf-Profile']
mdb.models[nama_model].Tie(name='Constraint-1', master=region1,
slave=region2, positionToleranceMethod=COMPUTED, adjust=ON, tieRotations=ON,
constraintEnforcement=SURFACE_TO_SURFACE, thickness=ON)
```

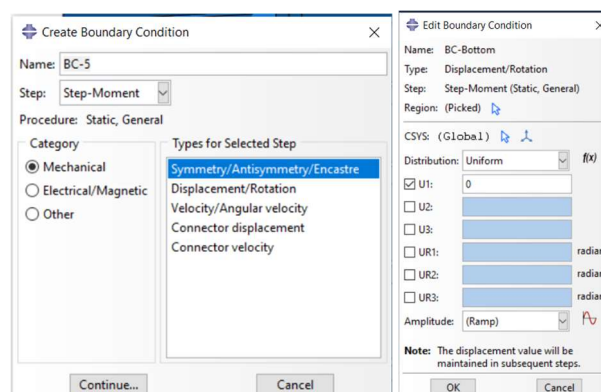
Tabel 4.9 Script Code Pembuatan Tie Constraint

Coding Script	Penjelasan
<code>a = mdb.models[nama_model].rootAssembly region1=a-surfaces['Surf-Plate']</code>	Didefinisikan sebagai <i>master surface</i> , biasanya permukaan pelat

<i>Coding Script</i>	Penjelasan
<code>a = mdb.models[nama_model].rootAssembly region2=a-surfaces['Surf-Profile']</code>	Sebagai <i>slave surface</i> , biasanya bagian profil penegar yang terhubung ke pelat
<code>mdb.models[nama_model].Tie(name='Constraint-1', master=region1, slave=region2</code>	Mendefinisikan nama <i>constraint</i> , <i>master</i> dan <i>slave surface</i>
<code>positionToleranceMethod=COMPUTED</code>	Penentuan jarak toleransi <i>master</i> dan <i>slave surface</i> secara otomatis
<code>adjust=ON</code>	Penyesuaian permukaan <i>master</i> dan <i>slave surface</i> agar sejajar
<code>tieRotations=ON</code>	Rotasi antar elemen disatukan
<code>constraintEnforcement=SURFACE_TO_SURFACE</code>	Hubungan <i>tie</i> antar permukaan (<i>surface</i>)
<code>thickness=ON</code>	Ketebalan elemen <i>shell</i> ikut dipertimbangkan dalam <i>constraint</i>

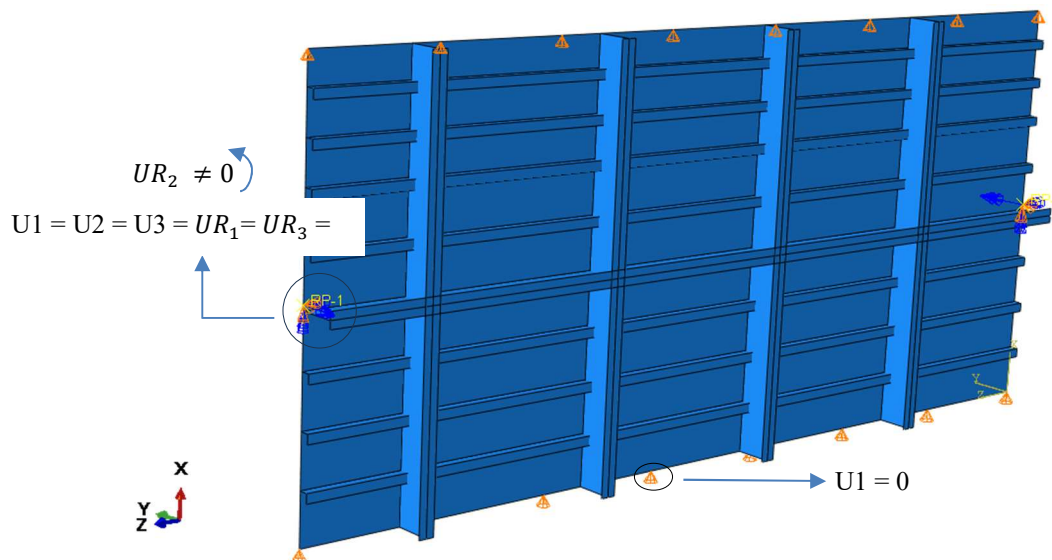
4.1.7. Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

Dalam simulasi ini digunakan koordinat global digunakan koordinat global yaitu sumbu x merepresentasikan tinggi sekat, sumbu y mewakili arah ketebalan sekat dan sumbu z mewakili arah memanjang kapal. Konvensi ini digunakan untuk mendefinisikan arah translasi dan rotasi pada tiap elemen dan *reference point*. Penerapan kondisi batas bertujuan untuk memastikan bahwa struktur tidak mengalami gerakan bebas yang tidak realistis sekaligus merepresentasikan kondisi penumpuan yang sesuai dengan struktur sebenarnya. Pada simulasi ini pembuatan kondisi batas yaitu dengan memilih menu *Create Boundary Condition*>memilih step> memilih tipe kondisi batas. Pada penelitian ini step yang digunakan pada kondisi batas yaitu *Step – Moment* yang telah dibuat sebelumnya. Tipe yang digunakan pada *Step – Moment* adalah *Displacement/Rotation*. Tipe ini dipilih karena dapat mengatur kondisi batas berupa translasi dan rotasi. Konfigurasi ini dapat dilihat pada Gambar 4.15 berikut



Gambar 4.15 Penentuan Kondisi Batas

Pada model ini kondisi batas diterapkan pada dua bagian utama. Pertama, yaitu pada *reference point* di sisi depan dan belakang sekat. Kondisi batas ini berupa penahanan penuh *translasi* pada semua arah, yaitu $U_1 = U_2 = U_3 = 0$, dan penahanan rotasi $UR_1 = UR_3 = 0$ sedangkan rotasi terhadap sumbu y yaitu UR_2 dibiarkan bebas. Hal ini memungkinkan momen lentur dapat disimulasikan melalui rotasi UR_2 terhadap sumbu ketebalan. Kedua, yaitu pada sisi atas (geladak) dan sisi bawah (alas) pelat sekat. Translasi pada arah sumbu – x yaitu U_1 ditahan sehingga $U_1 = 0$, sedangkan U_2 dan U_3 tetap bebas. Penahanan ini bertujuan untuk mengunci gerakan naik – turun pada bagian struktur yang tersambung dengan elemen struktural utama kapal, yaitu merepresentasikan efek kekangan dari sambungan terhadap geladak dan alas kapal.



Gambar 4.16 Visualisasi Kondisi Batas yang diterapkan

Berikut ini merupakan contoh hasil *coding* dari proses pemberian kondisi batas pada model, sedangkan penjelasan terkait dengan *coding* dapat dilihat pada Tabel 4.10.

```
#BC
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
e1 = a.instances['Bulkhead_Plate-1'].edges
edges1 = e1.getSequenceFromMask(mask=('[#8 ]', ), )
region = regionToolset.Region(edges=edges1)
mdb.models[nama_model].DisplacementBC(name='BC-Deck', createStepName='Step-
Moment', region=region, u1=0.0, u2=UNSET, u3=UNSET, ur1=UNSET, ur2=UNSET,
ur3=UNSET, amplitude=UNSET, fixed=OFF, distributionType=UNIFORM,
fieldName='', localCsys=None)

#Menambahkan Boundary Condition di RP1
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
r1 = a.referencePoints
refPoints1=(r1[43], )
region = regionToolset.Region(referencePoints=refPoints1)
mdb.models[nama_model].DisplacementBC(name='BC-RP1', createStepName='Step-
Moment', region=region, u1=0.0, u2=0.0, u3=0.0, ur1=0.0, ur2=load_value,
```

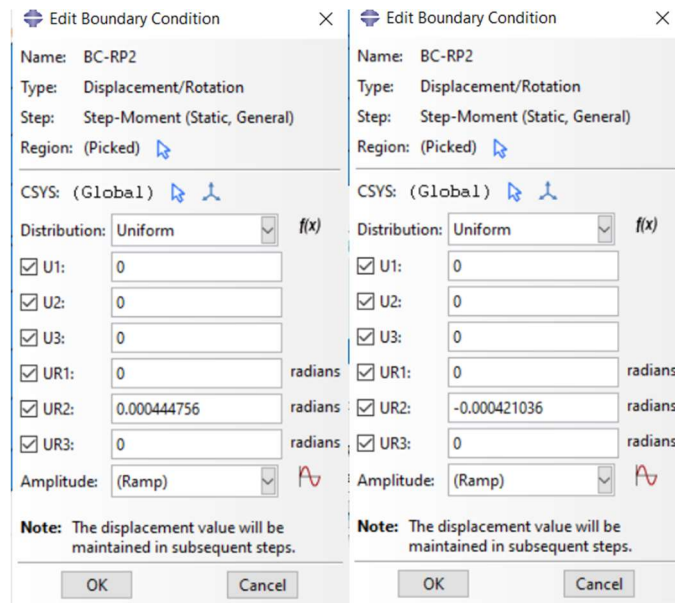
ur3=0.0, amplitude=UNSET, fixed=OFF, distributionType=UNIFORM, fieldName='', localCsys=None)

Tabel 4.10 Script Code Pemberian Kondisi Batas

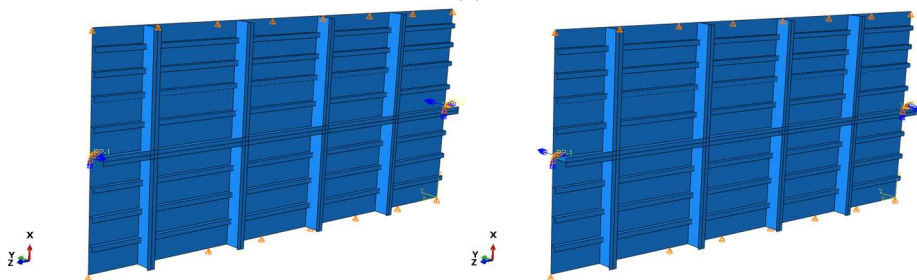
Coding Script	Penjelasan
<pre>e1 = a.instances['Bulkhead_Plate-1'].edges edges1=e1.getSequenceFromMask(mask=('#8'],),) region=regionToolset.Region(edges=edges1)</pre>	Mengakses <i>edge</i> tertentu dari <i>instance</i> pelat sekat. Region ini digunakan untuk menerapkan kondisi batas pada tepi pelat
<pre>mdb.models[nama_model].DisplacementBC(name='BC-Deck', createStepName='Step-Moment', ...)</pre>	Memberi kondisi batas dengan nama BC-Deck pada <i>edge</i> pelat. Translasi arah x dikunci sedangkan DOF lainnya bebas.
<pre>r1 = a.referencePoints refPoints1=(r1[43],) region =regionToolset.Region(referencePoints=refPoints1)</pre>	Mengakses <i>reference point</i> , lalu menjadikannya sebagai region penerapan kondisi batas
<pre>mdb.models[nama_model].DisplacementBC(name='BC-RP1',)</pre>	Memberi kondisi batas dengan nama 'BC-RP1 pada RP. Semua translasi dan rotasi dikunci selain UR2

4.1.8. Pemberian Beban

Pembebanan yang digunakan dalam simulasi ini adalah berupa rotasi terhadap sumbu – y, yaitu UR2 yang diterapkan pada kedua RP disisi depan dan belakang sekat. Pembebanan ini merepresentasikan efek deformasi akibat momen lentur global yang terjadi pada kondisi *hogging* dan *sagging*. Nilai rotasi ditentukan berdasarkan hasil perhitungan momen lentur *midship* yang telah dikonversi menjadi rotasi sesuai dengan panjang model. Nilai rotasi ini diterapkan pada masing – masing RP, dengan demikian pelat akan mengalami deformasi menyerupai bentuk lengkungan akibat momen lentur. Pembebanan didistribusikan keseluruhan *edge* pelat melalui *coupling constraint* yang telah dibuat sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa semua node pada *edge* akan bergerak mengikuti rotasi yang diterapkan pada *reference point*, sehingga deformasi yang terjadi dapat mewakili kondisi lentur global secara lebih realistis. Proses penentuan lokasi *reference point* dan pemberian *coupling constraint* menjadi langkah penting agar distribusi pembebanan merata dan sesuai dengan arah sumbu dominan deformasi. Berikut merupakan penerapan beban seperti yang terlihat pada Gambar 4.17.



(a)



(b)

Gambar 4.17 Pemberian Beban Sudut Rotasi (UR2), (a) Nilai Beban untuk Kondisi *Hogging* dan *Sagging*, (b) Visualisasi arah beban rotasi

Beikut ini merupakan contoh hasil *coding* dari proses pemberian beban pada model, sedangkan penjelasan terkait dengan *coding* dapat dilihat pada Tabel 4.11.

```
Menambahkan Boundary Condition di RP1
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
r1 = a.referencePoints
refPoints1=(r1[43], )
region = regionToolset.Region(referencePoints=refPoints1)
mdb.models[nama_model].DisplacementBC(name='BC-RP1', createStepName='Step-
Moment',
region=region, u1=0.0, u2=0.0, u3=0.0, ur1=0.0, ur2=load_value, ur3=0.0,
amplitude=UNSET, fixed=OFF, distributionType=UNIFORM, fieldName='',
localCsys=None)
```

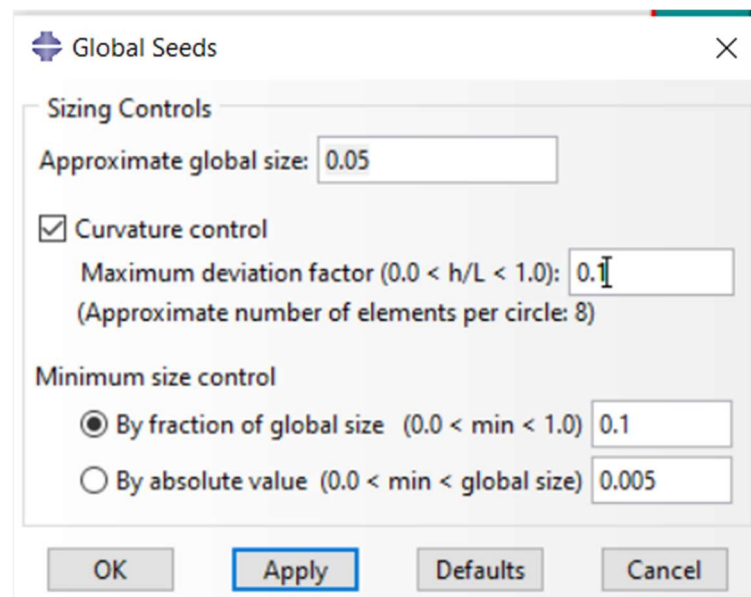
Tabel 4.11 *Script Code* Pemberian Beban Sudut Rotasi (UR2)

<i>Coding Script</i>	Penjelasan
<pre>a = mdb.models[nama_model].rootAssembly r1 = a.referencePoints</pre>	Akses <i>root assembly</i> model. Mengambil semua RP di <i>assembly</i>
<pre>refPoints1=(r1[43],)</pre>	Memilih <i>reference point</i>

<code>region = regionToolset.Region(referencePoint s=refPoints1)</code>	Membuat region di RP yang dipilih
<code>mdb.models[nama_model].Displacement BC(name='BC-RP1, ...</code>	Menerapkan kondisi batas untuk mensimulasikan momen lentur

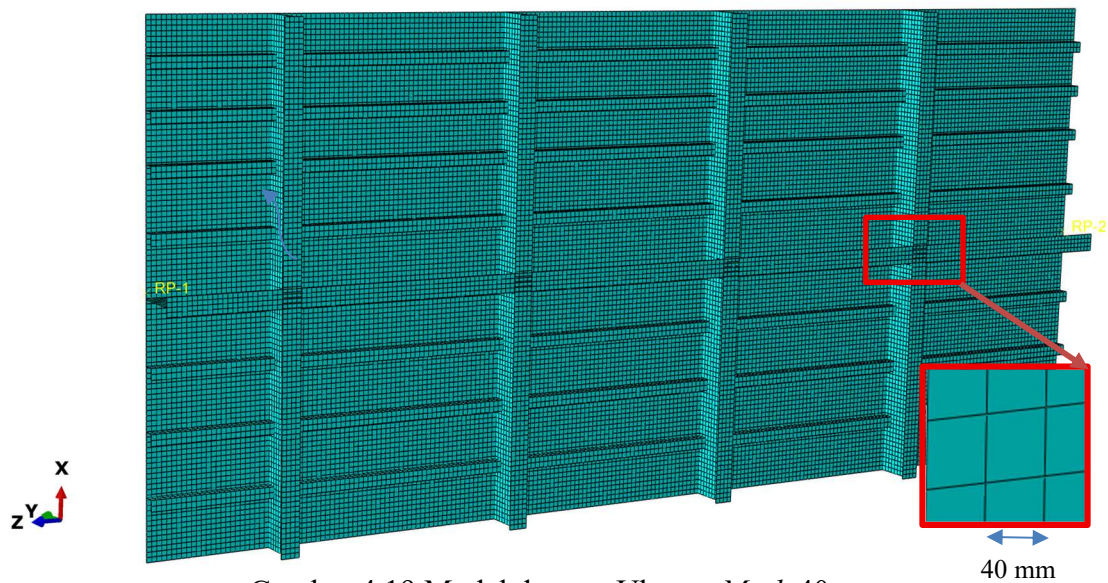
4.1.9. Mesh

Langkah selanjutnya dalam proses simulasi momen lentur adalah pembuatan *mesh*, dimana model dibagi menjadi elemen – elemen kecil untuk memungkinkan perhitungan numerik yang lebih presisi. Keakuratan hasil simulasi sangat bergantung terhadap pemilihan ukuran *mesh* yang sesuai. Oleh karena itu, dilakukan analisis konvergensi untuk menentukan ukuran *mesh* yang optimal. Pada pemodelan ini, digunakan elemen dengan bentuk *quadrilateral* yang memberikan keseimbangan antara kecepatan komputasi dan ketelitian hasil. Pengaturan ukuran *mesh* dilakukan melalui pengaturan *approximate global size* pada *sizing control* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Penentuan Ukuran *Mesh* untuk Model

Ukuran *mesh* yang digunakan dalam seluruh variasi model pada simulasi momen lentur adalah hasil dari proses analisis konvergensi. Setelah dibandingkan dengan beberapa variasi ukuran *mesh* yang berbeda, diperoleh bahwa ukuran 40 mm memberikan hasil tegangan maksimum yang relatif stabil dan tidak berubah secara signifikan. Sehingga ukuran tersebut dianggap paling representatif untuk digunakan pada seluruh variasi model pada simulasi di penelitian ini. Gambar 4.19 berikut merupakan model sekat memanjang yang telah diterapkan *meshing* dengan ukuran 40 mm.



Gambar 4.19 Model dengan Ukuran *Mesh* 40 mm

Beikut ini merupakan contoh hasil *coding* dari proses pendefinisian *mesh* pada model, sedangkan penjelasan terkait dengan *coding* dapat dilihat pada Tabel 4.12.

```
# Generate mesh for all instances
a.seedPartInstance(regions=instances_to_mesh, size=ukuran_mesh,
deviationFactor=faktor_devi
asi,minSizeFactor=ukuran_mi
nimum)
a.generateMesh(regions=instances_to_mesh)
```

Tabel 4.12 *Script Code* Menentukan Ukuran *Mesh*

<i>Coding Script</i>	Penjelasan
<code>a.seedPartInstance(regions=instances_to_mesh, size=ukuran_mesh, deviationFactor=faktor_devi asi,minSizeFactor=ukuran_mi nimum)</code>	Menentukan ukuran <i>mesh</i> untuk setiap <i>instance</i> dengan parameter: <code>ukuran_mesh</code> sebagai ukuran elemen utama, <code>faktor_devi asi</code> untuk kontrol ketelitian dan sebagai batas <code>ukuran_minimum</code> ukuran <i>mesh</i> terkecil
<code>a.generateMesh(regions=instances_to_mesh)</code>	Memilih <i>reference point</i>

4.2. Perancangan *Graphical User Interface (GUI)*

Pembuatan antarmuka grafis (GUI) pada perangkat lunak ABAQUS dilakukan dengan memanfaatkan *Really Simple GUI (RSG) Builder*. *RSG Builder* merupakan alat bantu yang disederhanakan untuk membangun *plugin* dalam ABAQUS, yang memungkinkan pengguna membuat antarmuka grafis secara visual dan interaktif. Proses pembuatan GUI menggunakan *RSG Builder* dilakukan melalui dua tahapan utama, yaitu: (1) pendefinisian parameter yang akan digunakan pada GUI, dan (2) pembuatan elemen-elemen antarmuka seperti *pull-down* menu, tombol, tabel, serta jendela *kernel*.

4.2.1. Penyusunan *Script* dari *Macro Manager*

Setelah seluruh proses pemodelan struktur sekat memanjang selesai di rekam menggunakan fitur *macro manager*, sistem secara otomatis menghasilkan file *script* berformat *Phyyon (.py)* yang berisi seluruh intruksi pemodelan dari awal hingga akhir, File *script* ini tidak di gunakan secara langsung, melainkan perlu di susun ulang dan dikonversi menjadi sebuah fungsi *python*. Seluruh parameter geometris dan pembebanan yang sebelumnya bersifat tetap diubah menjadi variabel *input* agar dapat dikendalikan dari antarmuka GUI. Contoh hasil modifikasi awal struktur fungsi dapat dilihat pada Gambar 4.20

```
from abaqus import *
from abaqusConstants import *
import regionToolset
from datetime import datetime

def BulkheadLongitudinalFix(nama_model, panjang_pelat, lebar_pelat, tebal_pelat,
                             panjang_web_L, panjang_face_L, tebal_profile_L,
                             panjang_web_T, panjang_face_T, tebal_profile_T,
                             density_value, modulus_young, poisson_ratio,
                             ukuran_mesh, load_value):

    # Membuat nama model
    mdb.Model(name=nama_model, modelType=STANDARD_EXPLICIT)
```

Gambar 4.20 Visualisasi Parameter yang digunakan di Awal *Script*

Langkah awal dari penyusunan ulang *script* melibatkan proses identifikasi bagian penting dalam kode, seperti definisi model, pembuatan *part*, penetapan material, *section*, *mesh* hingga pemberian kondisi batas. Setiap bagian tersebut kemudian diubah menjadi bagian terpisah dalam struktur fungsi agar mudah diolah dan disesuaikan untuk berbagai variasi model. Cuplikan kode pada Gambar 4.20 memperlihatkan struktur awal dari fungsi *BulkheadLongitudinalFix*. Pada bagian awal fungsi, dilakukan pemanggilan pustaka penting dari ABAQUS seperti *abaqus*, *abaqusConstants*, dan *regionToolset* yang dibutuhkan untuk menjalankan perintah *scripting*. Struktur fungsi ini dirancang agar dapat digunakan berulang dengan berbagai variasi *input* sehingga proses pembuatan model sekat memanjang menjadi lebih efisien.

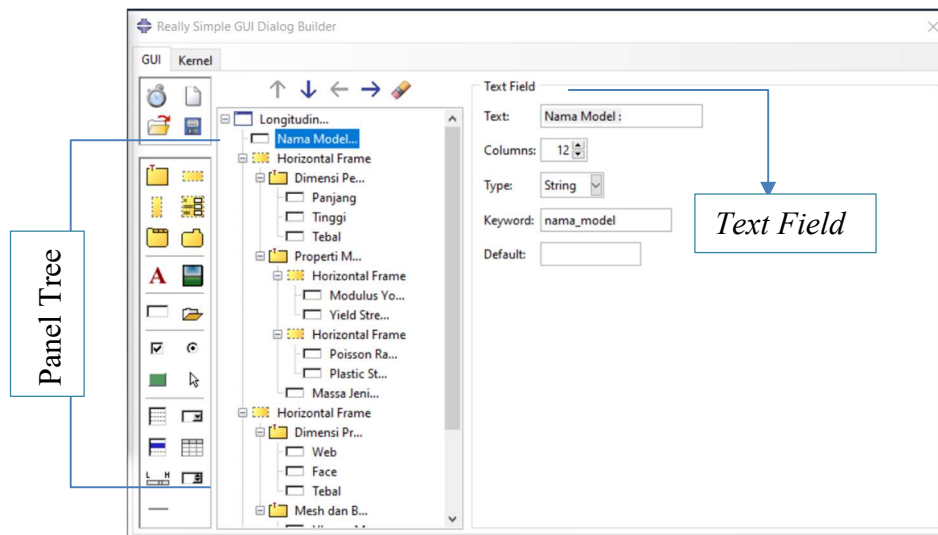
4.2.2. Perancangan Antarmuka – Grafis dengan *RSG Dialog Builder*

Setelah seluruh parameter pada *script* dimodifikasi menjadi variabel *input*, langkah selanjutnya adalah pembuatan *user interface* menggunakan *plug-in RSG Dialog Builder*. Desain antarmuka GUI disusun sedemikian rupa agar mencerminkan seluruh parameter yang digunakan dalam fungsi *python*, baik dari segi nama, fungsi maupun tipe data. Dalam *RSG Builder*, setiap parameter geometrik, properti material hingga nilai pembebanan yang sebelumnya tertanam langsung di dalam *script* diubah menjadi kolom – kolom isian (*field output*) yang dapat dimodifikasi langsung melalui tampilan GUI. Pendekatan ini memberikan

fleksibilitas lebih tinggi dalam melakukan modifikasi model tanpa harus melakukan perubahan manual terhadap *script*.

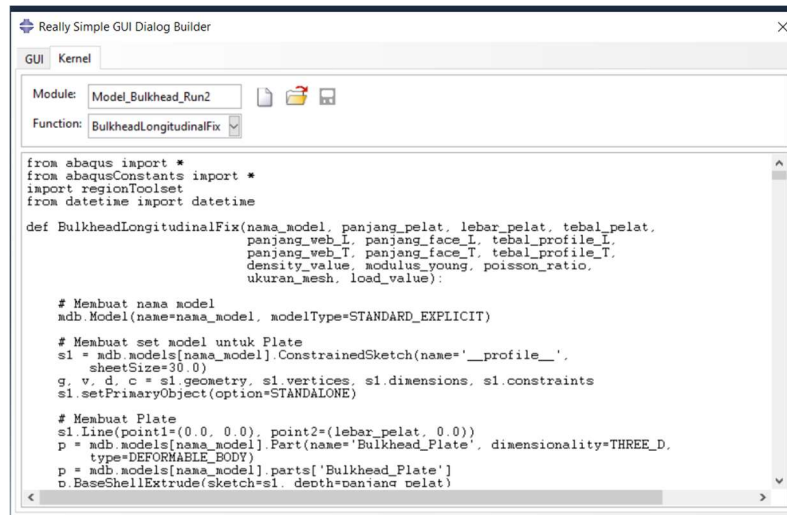
Antarmuka GUI yang dirancang mencakup beberapa elemen utama yang masing – masing merepresentasikan parameter – parameter yang telah didefinisikan sebelumnya pada *script*. Gambar 4.21 menunjukkan tampilan utama *RSG Builder* setelah elemen GUI didefinisikan. Komponen – komponen utama antarmuka meliputi :

- Kolom kiri (*Panel tree*), menampilkan struktur hierarki *input* yang terbagi dalam beberapa kategori seperti nama model, dimensi pelat, properti material, *mesh* dan beban
- *Text Field* (Panel kanan), menampilkan pengaturan dari elemen yang dipilih, dalam hal ini contohnya *Nama Model*. *Field* ini bertipe *string* yang digunakan untuk mendefinisikan nama model yang akan ditampilkan dan disimpan dalam sesi modelling Abaqus



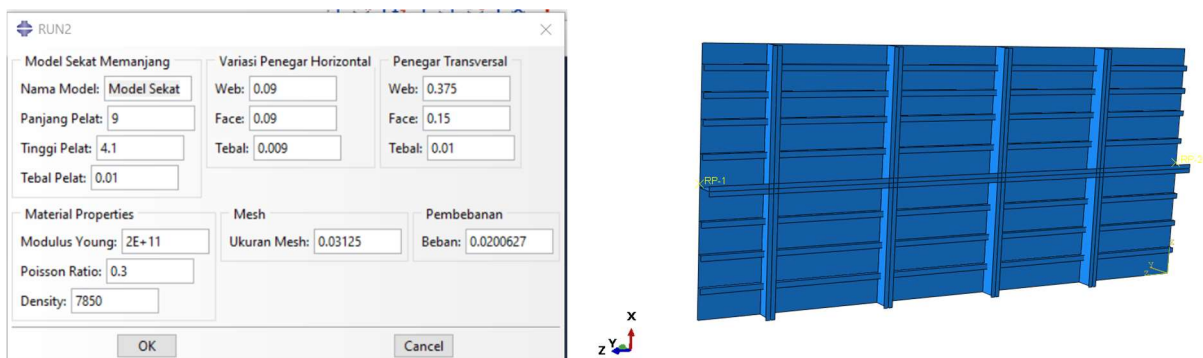
Gambar 4.21 Tampilan Utama Fitur *RSG Dialog Builder*

Setelah GUI selesai dirancang dan seluruh parameter berhasil didefinisikan sebagai *input*, langkah berikutnya adalah melakukan integrasi antara GUI dengan *script python* pada *tab Kernel* dalam *RSG Dialog Builder*. Integrasi ini dilakukan agar setiap nilai *input* yang dimasukkan dapat diteruskan secara otomatis kedalam fungsi *script* yang menjalankan pemodelan di ABAQUS. Penentuan nama *module* dan *function* utama harus ditentukan untuk menerima seluruh paramter input dari GUI. *Script* yang dimasukkan merupakan hasil modifikkasi perekaman sebelumnya, dengan demikian saat menekan tombol "OK" pada GUI nilai parameter *input* akan langsung dieksekusi oleh fungsi *BulkheadLongitudinalFix* untuk menghasilkan model lengkap di ABAQUS secara otomatis. Tampilan tab *kernel* dapat dilihat pada Gambar 4.22 berikut.



Gambar 4.22 Integrasi antara *Script* dengan GUI pada Tab Kernel

Setelah GUI selesai dirancang dan diintegrasikan dengan *script kernel*, tampilan akhir dari GUI untuk pemodelan struktur sekat memanjang ditunjukkan pada Gambar 4.23. Tombol "OK" digunakan untuk menjalankan fungsi *kernel* secara otomatis berdasarkan input yang diberikan, sedangkan tombol "Cancel" digunakan untuk keluar dari tampilan GUI tanpa mengeksekusi proses pemodelan. *RSG Dialog Builder* kemudian disimpan, nama GUI yang telah dibuat sebelumnya akan muncul di bagian *plug-in*. Dengan memilih judul GUI, maka akan muncul *user interface* berisi bagian – bagian yang harus diinput oleh *user*. Setelah bagian-bagian tersebut diisi, maka sistem akan otomatis melakukan *generate* model berdasarkan *input* dari *user*, sehingga menghasilkan model seperti yang tertera pada Gambar 4.23.

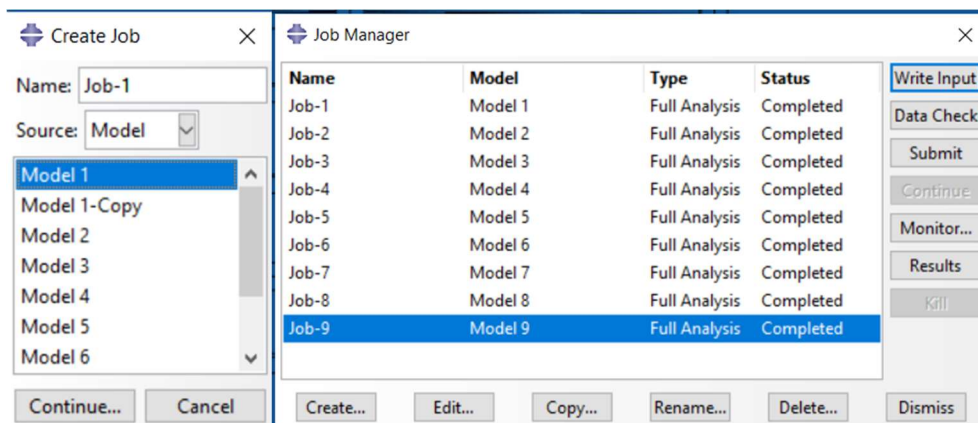


Gambar 4.23 Tampilan Akhir GUI dan Model Sekat Memanjang yang dihasilkan

Dengan adanya sistem antarmuka ini, pembuatan dan modifikasi model dilakukan secara efisien tanpa perlu memahami detail pemrograman sekaligus menjaga konsistensi struktur model. Dengan demikian, GUI tidak hanya mempermudah proses input tapi juga berperan sebagai jembatan antara kebutuhan analisis teknik dan efisiensi penggunaan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga.

4.3. Job

Pengaturan *job* merupakan tahap akhir dalam proses simulasi untuk analisis momen lentur pada struktur sekat memanjang. Langkah awal dalam proses ini adalah dengan memilih menu *Job > Create Job*, kemudian memilih model yang telah dibuat dan dikonfigurasi untuk dilakukan analisis pembebanan akibat momen lentur. Jenis *job* yang digunakan adalah *Full Analysis Job*, hal ini karena jenis *job* ini memungkinkan analisis dilakukan secara menyeluruh terhadap seluruh kondisi pembebanan dan kondisi batas. Setelah *job* berhasil dibuat, proses simulasi dijalankan dengan memilih *Job > Job Manager > Submit*.



Gambar 4.24 Pembuatan *Job*

Proses simulasi menghasilkan berbagai output berupa file visualisasi (.odb), file teks (.dat) dan file log (.msg, .sta) yang digunakan untuk memverifikasi keberhasilan simulasi dan memeriksa hasil yang diperoleh. Hasil simulasi nantinya akan digunakan untuk mengevaluasi kekuatan struktur pada berbagai variasi model dan kondisi pembebanan.

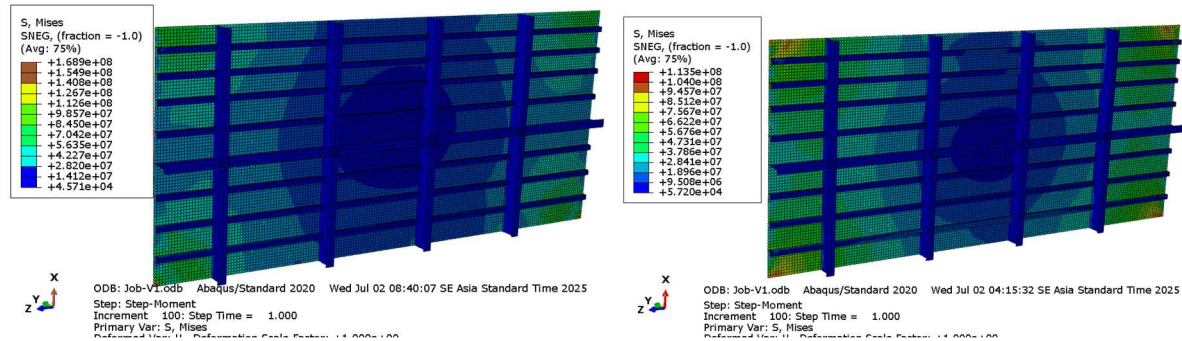
4.4. Simulasi Sekat Memanjang Kapal

Proses simulasi dilakukan untuk memperoleh respons struktur akibat pembebanan momen lentur, baik dalam kondisi *hogging* maupun *sagging*. Pembebanan diberikan dalam bentuk rotasi UR2 yang diterapkan melalui *reference point* dan didistribusikan ke tepi pelat melalui *coupling constraint*. Simulasi dilakukan untuk masing-masing variasi model dengan parameter berbeda. Hasil dari simulasi ini mencakup:

- Rotasi (UR2) dan momen reaksi (RM2) sebagai indikasi pembebanan
- Tegangan von Mises maksimum pada kondisi *sagging* dan *hogging*
- Evaluasi tegangan maksimum terhadap tegangan izin
- Evaluasi *deformasi* maksimum terhadap batas izin

Setelah proses *job submission* dan *completed*, hasil simulasi disimpan dan dapat dievaluasi dalam *Visualization Module*. Data yang penting seperti tegangan *von Mises* maksimum dan *deformasi* maksimum diambil untuk tiap variasi model, kemudian

dibandingkan terhadap tegangan izin untuk mengetahui *margin* keamanan struktur. Sebagai contoh hasil tegangan *von mises* pada model akibat kedua kondisi pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4.25 berikut



Gambar 4.25 Contoh Tegangan Von Mises dari Hasil Simulasi

4.5. Studi Konvergensi

Uji konvergensi merupakan salah satu metode penting dalam analisis elemen hingga (*finite element analysis*) yang digunakan untuk menentukan ukuran *mesh* optimum agar hasil simulasi yang diperoleh valid dan tidak terpengaruh secara signifikan terhadap perubahan ukuran *mesh*. Proses ini dilakukan dengan membandingkan hasil analisis tegangan maksimum *von mises* dari beberapa variasi ukuran *mesh*. Dalam penelitian ini uji konvergensi diterapkan pada model struktur sekat memanjang kapal yang mengalami pembebanan lentur. Parameter evaluasi yang digunakan meliputi tegangan maksimum *von mises* dan jumlah elemen yang terbentuk akibat pembagian *mesh*. Variasi ukuran *mesh* yang digunakan dimulai dari 640 mm hingga 40 mm dan dianalisis untuk dua kondisi pembebanan yaitu *hogging* dan *sagging*.

Pada kondisi *hogging*, hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum mengalami kenaikan seiring dengan semakin kecilnya ukuran *mesh*. Nilai tegangan maksimum *von mises* pada variasi ukuran *mesh* untuk kondisi *hogging* seperti yang terlihat pada Tabel 4.13

Tabel 4.13 Variasi Ukuran *Mesh* pada Kondisi Pembebanan *Hogging*

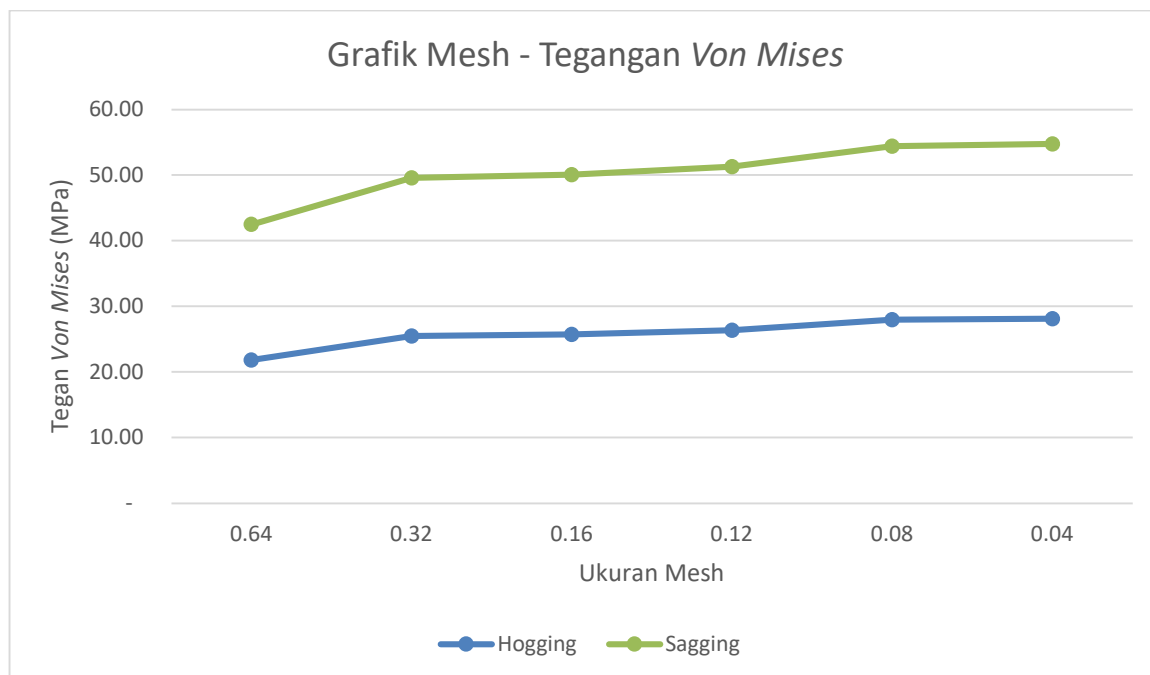
Mesh Size (m)	Jumlah Elemen	Selisih Elemen	Max Stress (Pa)	Max Stress (MPa)	Error (%)
0.64	394		2.18E+07	21.83	
0.32	996	602	2.55E+07	25.46	16.656%
0.16	2880	1884	2.57E+07	25.71	0.966%
0.12	4655	1775	2.63E+07	26.33	2.425%
0.08	9564	4909	2.79E+07	27.94	6.121%
0.04	37479	27915	2.81E+07	28.12	0.629%

Sedangkan nilai tegangan maksimum *von mises* pada variasi ukuran *mesh* untuk kondisi *sagging* seperti yang terlihat pada Tabel 4.14.

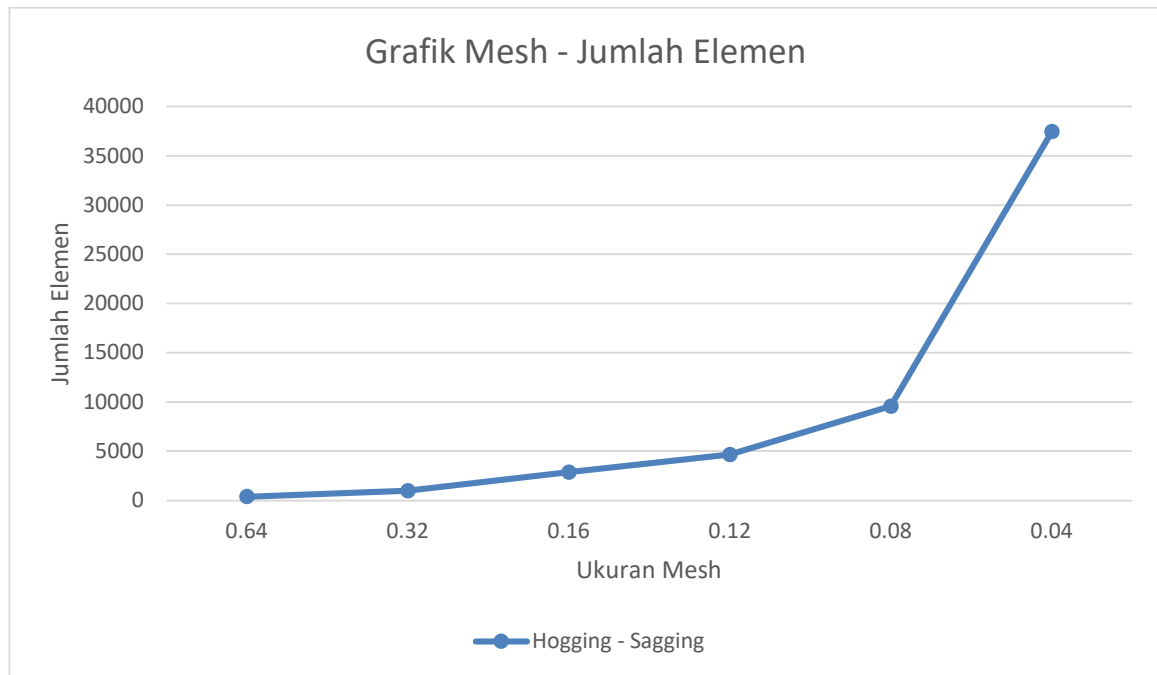
Tabel 4.14 Variasi Ukuran *Mesh* pada Kondisi Pembebanan *Sagging*

Mesh Size (m)	Jumlah Elemen	Selisih Elemen	Max Stress (Pa)	Max Stress (MPa)	Error (%)
0.64	394		2.07E+07	20.67	
0.32	996	602	2.41E+07	24.10	16.628%
0.16	2880	1884	2.43E+07	24.35	1.015%
0.12	4655	1775	2.49E+07	24.93	2.384%
0.08	9564	4909	2.65E+07	26.45	6.128%
0.04	37479	27915	2.66E+07	26.63	0.653%

Grafik hubungan antara ukuran *mesh* dengan tegangan maksimum terlihat mengalami peningkatan tajam pada ukuran *mesh* kasar lalu mulai melandai setelah ukuran *mesh* 160 mm. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan ukuran *mesh* yang terlalu besar (kasar) dapat menghasilkan hasil simulasi yang kurang akurat karena distribusi tegangan tidak terwakili dengan baik. Namun setelah ukuran *mesh* mencapai nilai yang lebih kecil, hasil simulasi menjadi lebih stabil dan menunjukkan kecenderungan konvergen. Seperti pada tabel diatas, nilai *error* relatif menurun sejak ukuran 320 mm, yaitu berada dibawah 5 mm. Namun terjadi peningkatan sedikit pada ukuran 80 mm dan kembali mengecil pada ukuran 40 mm. Hal ini mengindikasikan bahwa pemilihan ukuran *mesh* 40 mm sudah cukup akurat dan efisien digunakan untuk simulasi pada dua kondisi pembebanan. Grafik hubungan antara ukuran mesh dengan jumlah elemen maupun tegangan maksimum pada kedua kondisi pembebanan seperti yang terlihat pada Gambar 4.26. Grafik tersebut memperjelas kecenderungan penurunan *error* dan peningkatan jumlah elemen seiring semakin kecilnya ukuran *mesh* yang digunakan.



(a)



(b)

Gambar 4.26 Grafik Hubungan Antara, (a) Tegangan *Von Mises* dengan Ukuran *Mesh*, (b) Jumlah Elemen dengan Ukuran *Mesh*

BAB 5

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dilakukan untuk mengevaluasi perilaku struktur sekat memanjang kapal terhadap pembebanan momen lentur yang mewakili kondisi *hogging* dan *sagging*. Melalui simulasi yang dilakukan menggunakan perangkat lunak ABAQUS, beberapa parameter struktural seperti tegangan maksimum, rotasi serta momen reaksi dianalisis untuk menilai kapasitas lentur sekat memanjang. Pembahasan juga mencakup perbandingan antar model variasi untuk mengevaluasi pengaruh perubahan desain terhadap kekuatan struktural.

5.1. Analisis Tegangan Izin

Untuk memastikan bahwa struktur yang dianalisis tetap berada dalam kondisi aman selama beroperasi, hasil tegangan dari simulasi numerik perlu dibandingkan dengan nilai tegangan izin. Tegangan izin adalah batas maksimum tegangan yang diperbolehkan untuk suatu material berdasarkan standar atau badan klasifikasi agar tidak terjadi kegagalan pada struktur selama operasional. Tegangan izin dihitung berdasarkan aturan klas yang sesuai dengan data kapal yang digunakan yaitu BKI. Berdasarkan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia tahun 2022 Bab 24 B-2.3 mengenai tegangan izin pada kapal tangki minyak, persamaan tegangan izin yaitu sebagai berikut.

$$\sigma_{perm} = \frac{230}{k} \quad (5.1)$$

Dengan nilai k merupakan hasil interpolasi, nilai k untuk ReH 250 adalah 0.952. Berdasarkan persamaan diatas diperoleh nilai tegangan izin sebesar 241 MPa. Seluruh hasil tegangan *von mises* yang diperoleh dari simulasi akan dibandingkan dengan nilai tersebut untuk menentukan apakah struktur telah memenuhi kriteria kekuatan yang ditetapkan oleh badan klasifikasi.

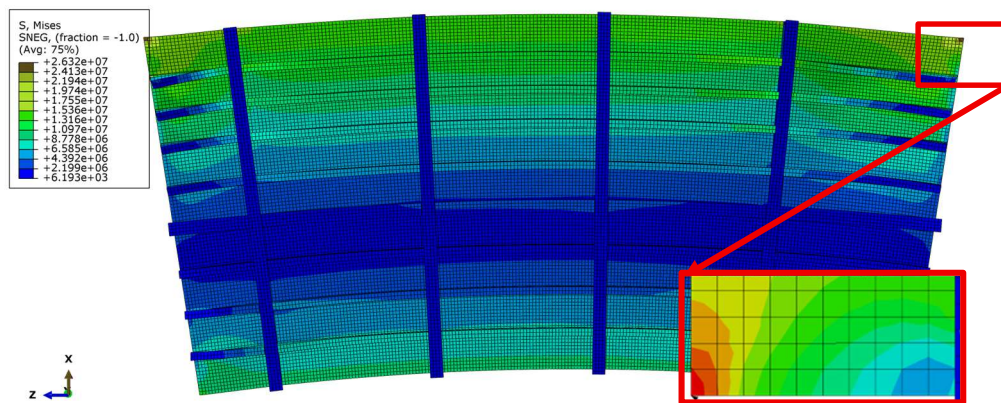
5.2. Kondisi Model Dasar

Sebelum melakukan analisis terhadap berbagai variasi desain struktur sekat memanjang, perlu dilakukan tahap validasi terhadap model dasar (*existing*) yang digunakan sebagai acuan untuk memastikan bahwa model yang digunakan telah merepresentasikan kondisi aktual. Model dasar ini berguna sebagai dasar pembanding untuk seluruh variasi model lainnya. Evaluasi dilakukan melalui grafik tegangan – regangan, analisis tegangan izin dan deformasi

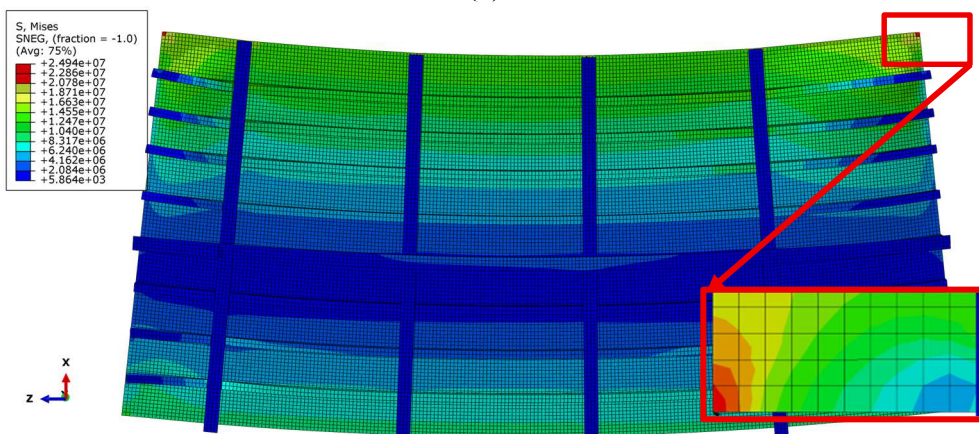
serta validasi hubungan rotasi – momen reaksi untuk meninjau keakuratan model dalam merespon momen lentur global.

5.2.1. Grafik Tegangan – Regangan

Pada tahap ini dilakukan analisis numerik terhadap respons struktur sekat memanjang akibat pembebanan momen lentur dalam dua kondisi pembebanan, yaitu *hogging* dan *sagging*. Proses evaluasi difokuskan pada dua parameter utama yaitu tegangan *von mises* sebagai representasi tegangan dan regangan atau deformasi sebagai indikator kekakuan dan kemampuan struktur menahan beban lentur. Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk visualisasi kontur warna pada model yang menunjukkan distribusi tegangan dan regangan pada seluruh bagian sekat (*full model*).



(a)



(b)

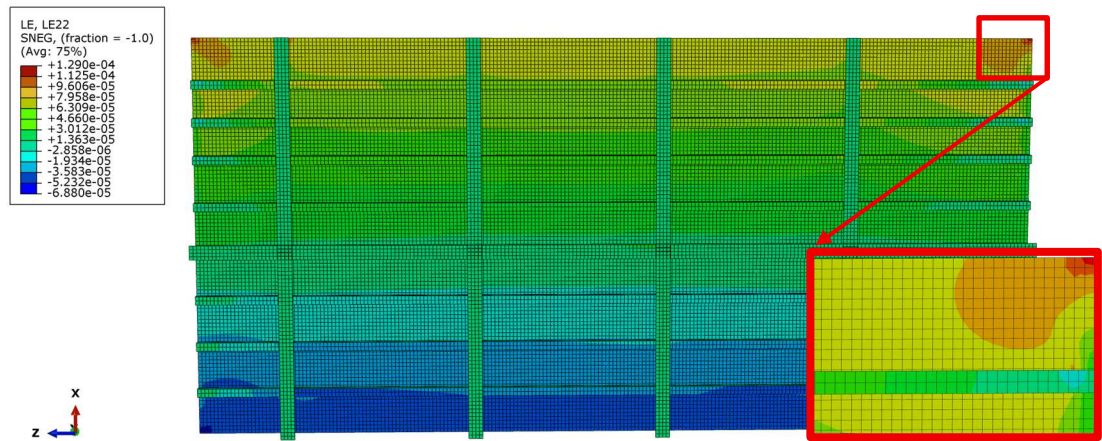
Gambar 5.1 Hasil Simulasi Tegangan Von Mises pada Model *Existing*; (a) Kondisi *Hogging*, (b) Kondisi *Sagging*

Pada Gambar 5.1 nilai tegangan tertinggi ditunjukkan dengan warna merah sementara warna biru menunjukkan area dengan tegangan terendah. Dari hasil simulasi tegangan *von mises* pada Gambar 5.1 dapat dilihat besaran tegangan *von mises* pada Tabel 5.1 berikut.

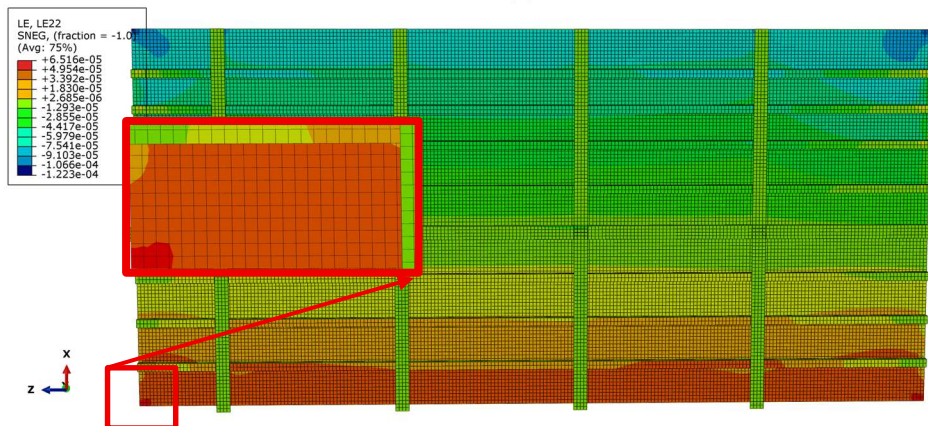
Tabel 5.1 Hasil Analisis Tegangan *Von Mises* pada Model Dasar (*Existing*)

Kondisi	Maksimum <i>Von Mises</i> Stress (MPa)	Permissible <i>Von Mises</i> Stress (MPa)
<i>Hogging</i>	26,32	241,7
<i>Sagging</i>	24,94	241,7

Simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum mencapai 26,32 MPa pada kondisi pembebanan *hogging* dan 24,94 MPa pada kondisi *sagging* yang terjadi pada sambungan antara sekat dengan alas, dengan tegangan izin material sebesar 241,7 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa dari titik tegangan tertinggi pada model termasuk dalam batas aman, karena nilai tegangan simulasi berada dibawah tegangan izin dari material.



(a)

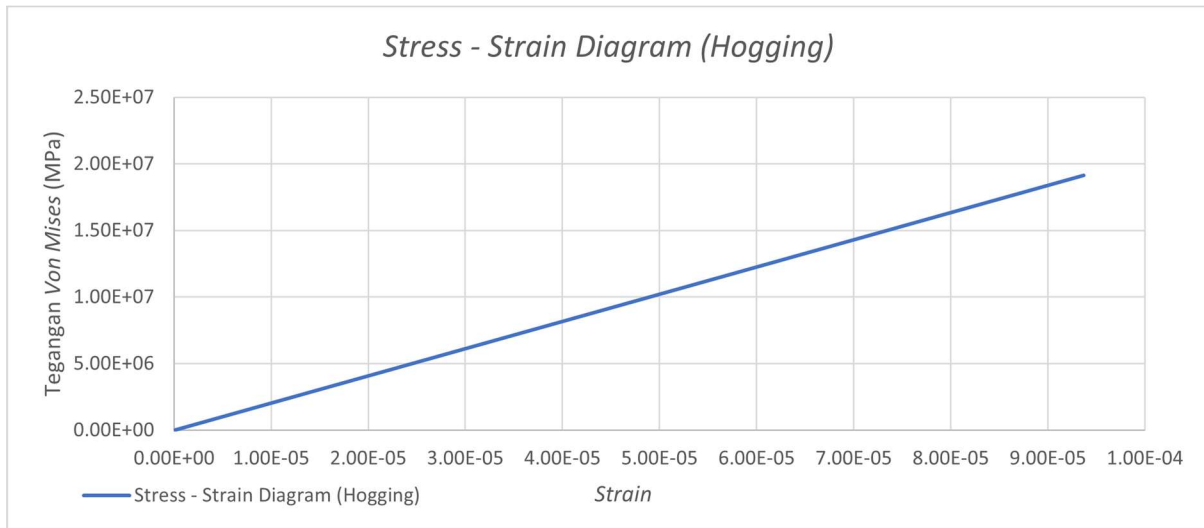


(b)

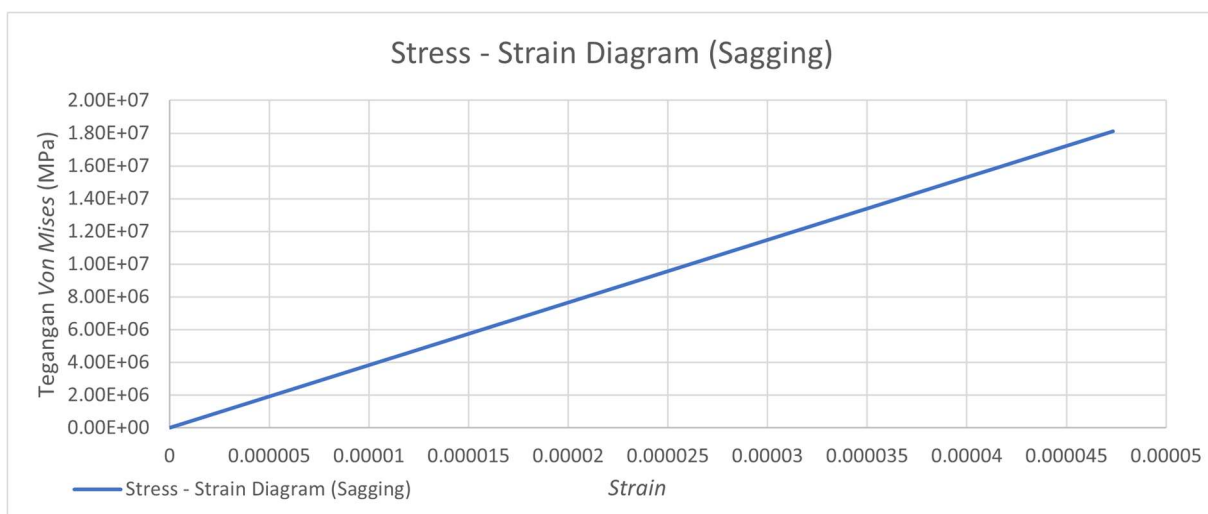
Gambar 5.2 Hasil Simulasi Regangan pada Model *Existing*; (a) Kondisi *Hogging*, (b) Kondisi *Sagging*

Pada Gambar 5.2, nilai regangan tertinggi ditunjukkan dengan warna merah sementara warna biru menunjukkan area dengan regangan terendah. Dari hasil simulasi regangan pada Gambar 5.2 dapat dilihat nilai regangan maksimum pada kondisi *hogging* sebesar 0,000094 dan

kondisi *sagging* sebesar 0.000047. Regangan maksimum ini menunjukkan bahwa struktur masih berada dalam kondisi elastis dan belum mencapai titik deformasi plastis. Oleh karena itu, tidak ditemukannya tanda – tanda kerusakan signifikan yang terjadi pada model di simulasi ini . Hubungan antara tegangan dan regangan dari hasil simulasi pada model untuk kondisi *hogging* dan *sagging* maka didapatkan grafik *stress – strain* yang dapat sebagai berikut.



(a)



(b)

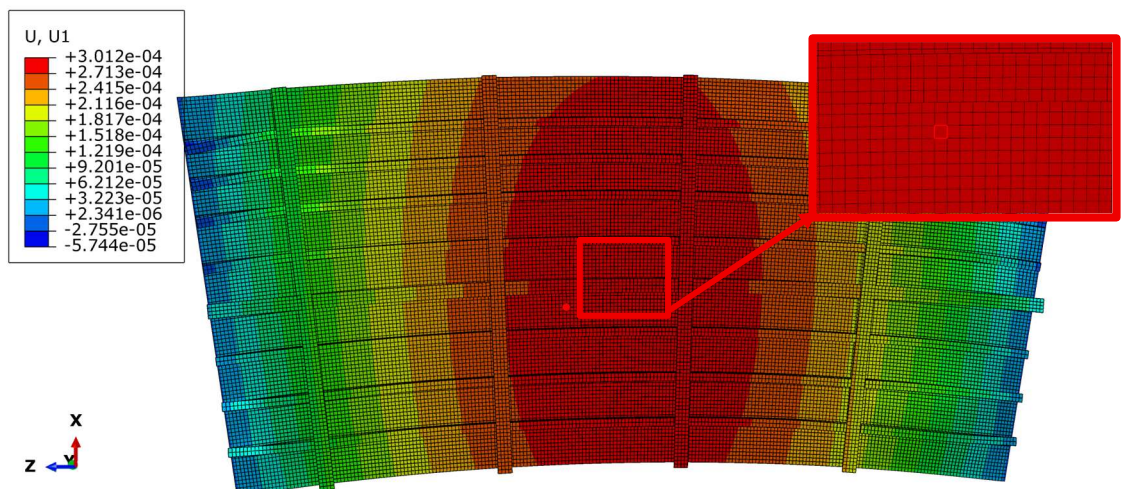
Gambar 5.3 *Stress – Strain Diagram*, (a) Kondisi *Hogging*, (b) Kondisi *Sagging*

Kedua grafik diatas menunjukkan pola linear hingga mencapai titik maksimum tegangan, yang mengidentifikasi bahwa struktur existing belum mencapai batas lelah material dan berada dalam kondisi elastis. Selain itu, *slope* kurva dapat dikaitkan dengan modulus elastisitas material, di mana pada kedua grafik tersebut memiliki kemiringan yang tetap dan tidak menunjukkan non – *linearitas*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pemodelan

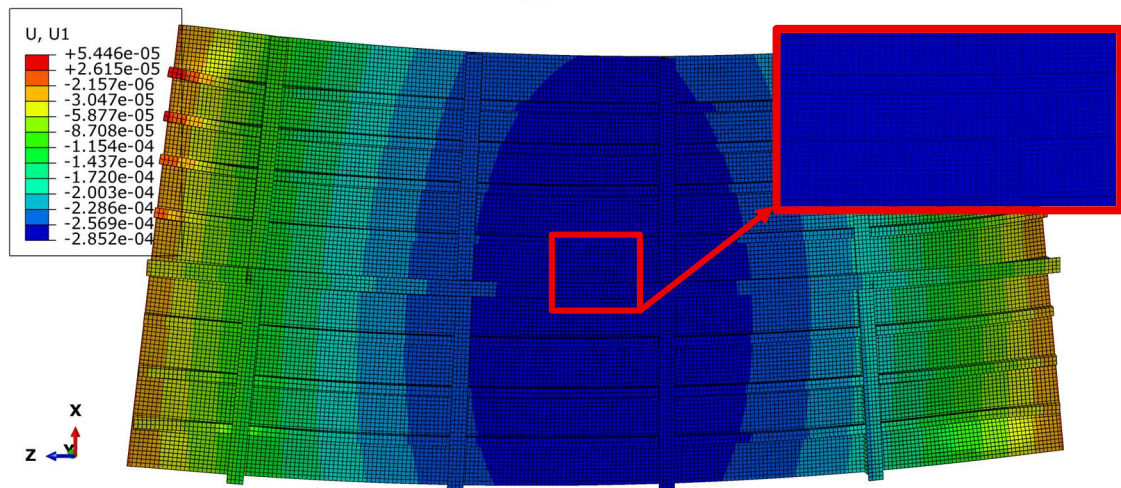
material dan kondisi pembebanan menghasilkan respons elastis yang valid dan cocok di jadikan dasar pembandingan untuk model variasi yang lain.

5.2.2. Evaluasi Deformasi pada Model Dasar

Evaluasi deformasi dilakukan untuk mengetahui sejauh mana struktur mengalami perubahan bentuk akibat pembebanan momen lentur. Hal ini penting karena meskipun suatu struktur mampu menahan beban secara tegangan, deformasi yang melebihi batas toleransi tetap dapat menyebabkan kerusakan fungsional maupun tegangan lokal.



(a)



(b)

Gambar 5.4 Deformasi Maksimum pada Kondisi, (a) *Hogging*, (b) *Sagging*

Gambar 5.4 menunjukkan nilai deformasi tertinggi pada kondisi *hogging* dengan warna merah sementara pada kondisi *sagging* ditandai dengan warna biru. Dari hasil simulasi deformasi maksimum pada Gambar 5.4 dapat dilihat besaran deformasi maksimum yang terjadi pada model *existing* akibat kedua pembebanan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Analisis Deformasi Maksimum pada Model *Existing*

Kondisi	<i>Hogging</i>	<i>Sagging</i>	<i>Permissible Deformation</i>
Deformasi Maksimum (mm)	0,3012	0,2852	8

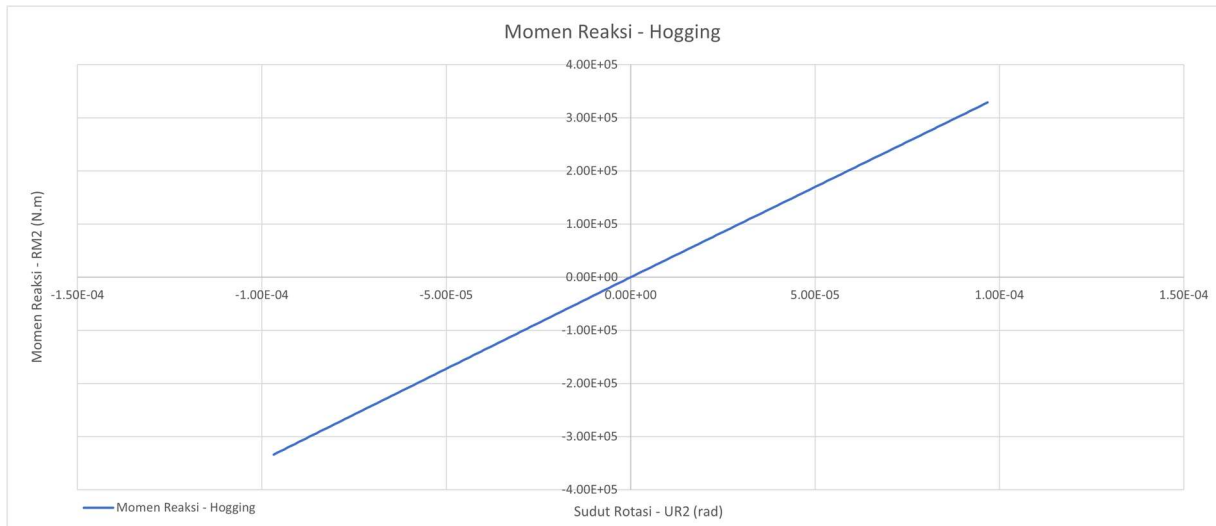
Simulasi menunjukkan bahwa deformasi maksimum mencapai 0,3012 mm pada kondisi pembebanan *hogging* yang mana lokasi deformasi maksimum ditunjukkan oleh warna merah tua yang berada di bagian tengah pelat menandakan area dengan perpindahan positif terbesar. Sementara itu pada kondisi *sagging* nilainya mencapai 0,2852 mm yang terlihat pada area dengan warna biru tua yang menandakan perpindahan negatif maksimu yang terletak pada bagian tengah pelat. Deformasi maksimum ini tidak boleh melebihi batas deformasi untuk sekat memanjang sesuai dengan IACSS No.47, yaitu sebesar 8 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa dari nilai deformasi tertinggi pada model termasuk dalam batas aman, karena nilai deformasi simulasi berada dibawah batas izin deformasi untuk struktur sekat memanjang.

5.2.3. Evaluasi Momen Lentur Model Dasar

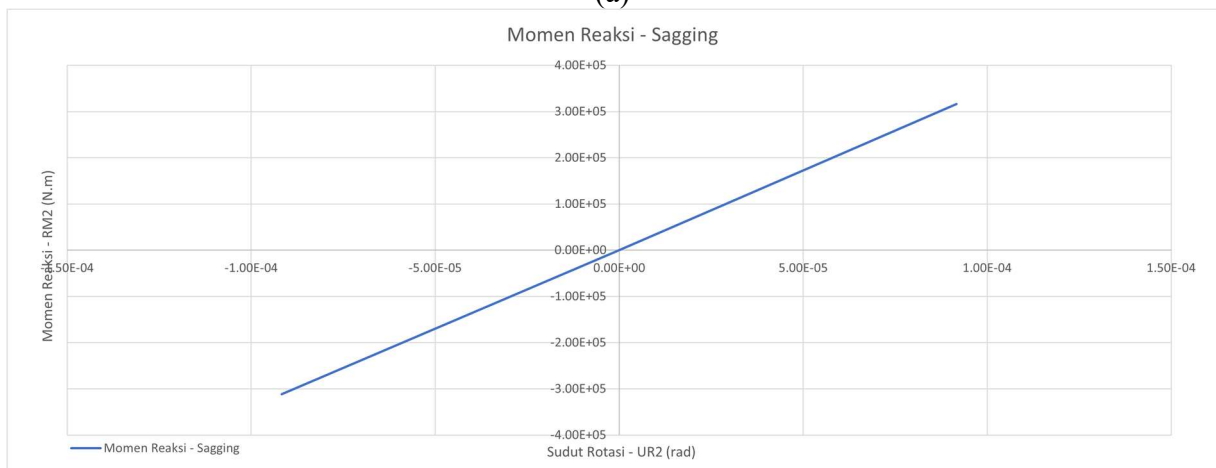
Langkah awal sebelum melakukan analisis utama terhadap variasi model adalah melakukan validasi terhadap model dasar (*existing*) yang telah dirancang. Validasi ini dilakukan untuk memastikan skema pemodelan dan pembebanan yang diterapkan menghasilkan respon struktur yang realistis dan konsisten terhadap momen lentur yang diberikan. Validasi ini dilakukan dengan mengevaluasi hubungan antara rotasi sudut yang diaplikasikan untuk kedua kondisi pembebanan, dengan momen reaksi sebagai respon utama struktur. Hubungan antara kedua parameter tersebut diplot dalam bentuk grafik untuk mengevaluasi tingkat kesesuaian terhadap perilaku teoritis struktur akibat beban lentur.

Pada Gambar 5.5 berikut ditampilkan hasil *plotting* antara rotasi sudut (UR2) terhadap momen reaksi (RM2) untuk dua kondisi pembebanan, yaitu *hogging* dan *sagging*. Terlihat bahwa grafik menunjukkan hubungan *linear* dikedua arah yang menandakan bahwa struktur berada dalam kondisi elastis. Nilai sudut rotasi yang digunakan telah diperhitungkan sebelumnya untuk menghasilkan momen reaksi yang mendekati nilai teoritis momen lentur. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya

- Untuk kondisi *hogging*, diperoleh nilai momen teoritis sebesar 459,858 kN.m, sedangkan hasil simulasi menunjukan nilai sebesar 459,827 kN.m dengan selisih sebesar 0,006768%.
- Untuk kondisi *sagging*, diperoleh nilai momen teoritis sebesar -435,332 kN.m, sedangkan hasil simulasi menunjukan nilai sebesar -435,348 kN.m dengan selisih sebesar 0,00585%.



(a)



(b)

Gambar 5.5 Grafik Momen Reaksi – Rotasi Model *Existing* pada kondisi, (a) *Hogging*, (b) *Sagging*

Tabel 5.3 berikut menampilkan hasil validasi momen reaksi model dasar terhadap dua kondisi pembebanan momen lentur.

Tabel 5.3 Hasil Analisis Momen Reaksi Simulasi pada Model *Existing*

Kondisi	Momen Teoritis (kN.m)	Momen Reaksi (kN.m)	Selisih (%)
<i>Hogging</i>	459,858	459,827	0.006768
<i>Sagging</i>	-435,332	-435,348	0,00585

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa selisih antara simulasi dengan perhitungan teoritis sangat kecil, yaitu dibawah 1%. Nilai ini menunjukkan bahwa model tervalidasi dengan baik sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam melakukan analisis variasi struktur.

5.2.4. Evaluasi Berat Struktur

Evaluasi berat struktur dilakukan untuk mengetahui berat total dari masing – masing elemen penyusun sekat memanjang pada model yang dianalisis. Analisis dilakukan pada model (*existing*) sebagai acuan perhitungan berat struktur. Komponen struktur sekat memanjang terdiri atas pelat utama, *stringer*, penegar memanjang dan penegar melintang. Masing – masing komponen memiliki dimensi dan jumlah *part* sesuai dengan data kapal pada sub bab 3.3.3. Perhitungan berat tiap komponen dilakukan berdasarkan volume total yang merupakan hasil perkalian antara volume dan jumlah *part* dalam satu model serta massa jenis baja sebesar 7850 kg/m^3 . Hasil evaluasi berat struktur untuk model dasar (*existing*) ditampilkan pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Evaluasi Berat Struktur Model 1 (*Existing*)

Komponen	Volume Total (m^3)	Masaa (kg)
Pelat	0.2952	2317.32
<i>Stringer Web</i>	0.0338	264.94
<i>Stringer Face</i>	0.0126	98.91
<i>Longitudinal Web</i>	0.0510	400.59
<i>Longitudinal Face</i>	0.0459	360.53
<i>Transverse Web</i>	0.0615	482.78
<i>Transverse Face</i>	0.0230	180.24
Total	0.5233	4105.29

Berdasarkan hasil perhitungan, total massa struktur sekat pada Model 1 adalah sebesar 4105,29 kg, yang mana pelat merupakan kontribusi berat terbesar dari total berat struktur. Selain perhitungan teoritis, berat total struktur dihitung menggunakan perangkat lunak ABAQUS melalui fitur *Query>Physical Properties* yang secara otomatis mengakumulasi massa dari seluruh *part* dalam model. Hasil dari pemodelan numerik menunjukkan total massa sebesar 4165,29 kg, sehingga selisih dengan perhitungan teoritis sebesar 60 kg atau sebesar 1.46% dibandingkan dengan perhitungan teoritis.

5.3. Efek Perubahan Tebal Pelat terhadap Kekuatan Panel

Variasi pertama yang dianalisis merupakan perubahan tebal pelat struktur sekat memanjang, dengan dimensi penegar memanjang tetap sebesar L 90 x 90 x 9 mm. Model yang dibandingkan pada analisis ini antara lain:

- Model 1, dengan tebal pelat 8 mm (model dasar)
- Model 4, dengan tebal pelat 9 mm
- Model 7, dengan tebal pelat 10 mm

Setiap model dievaluasi dalam dua kondisi pembebanan yaitu kondisi *hogging* dan *sagging* dengan tujuan untuk meninjau pengaruh ketebalan pelat terhadap kapasitas struktur dalam menahan beban lentur di kedua kondisi tersebut.

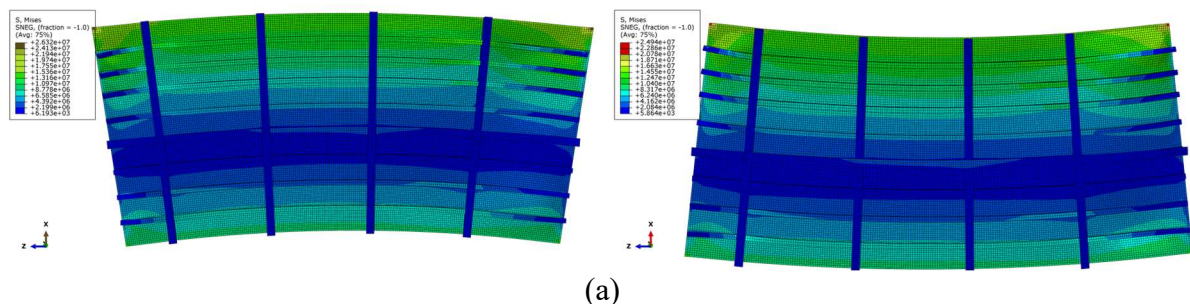
5.3.1. Evaluasi Tegangan Maksimum terhadap Tegangan Izin

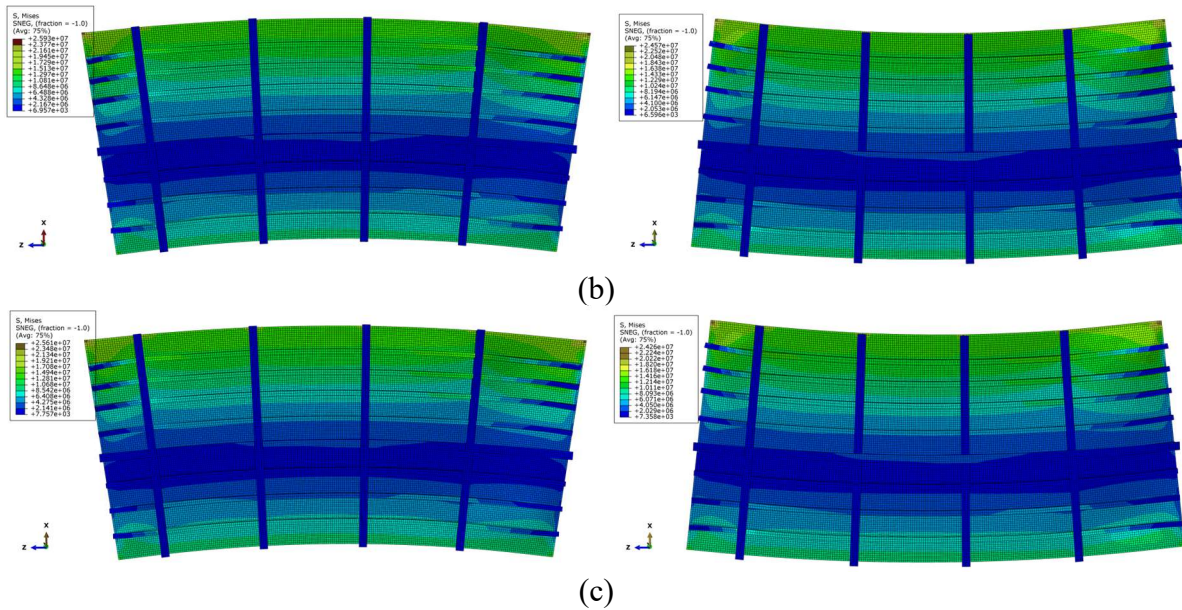
Langkah selanjutnya adalah dilakukan evaluasi yang berfokus pada nilai tegangan maksimum yang dihasilkan untuk setiap variasi ketebalan pelat. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah nilai tegangan maksimum masih berada dalam batas aman berdasarkan standar klasifikasi. Evaluasi ini menggunakan parameter berupa tegangan izin material yang telah dihitung sebelumnya yaitu 214.69 MPa yang merupakan tegangan izin material. Nilai – nilai tegangan maksimum diperoleh dari hasil simulasi numerik dalam dua kondisi pembebanan, tepatnya pada elemen yang mengalami beban tertinggi untuk masing – masing pembebanan yaitu elemen yang ditunjukkan dengan warna merah pada kontur tegangan *von mises*. Tabel 5.5 berikut merangkum nilai tegangan dan deformasi maksimum terhadap batas izin untuk variasi model ketebalan pelat.

Tabel 5.5 Hasil Simulasi Tegangan Maksimum *Von Mises* Variasi Tebal Pelat

Model	Tebal Pelat (mm)	σ Maks. (MPa) - <i>Hogging</i>	σ Maks. (MPa) - <i>Sagging</i>	Keterangan
1	8	26,320	24,940	Memenuhi
4	9	25,930	24,570	Memenuhi
7	10	25,610	24,260	Memenuhi

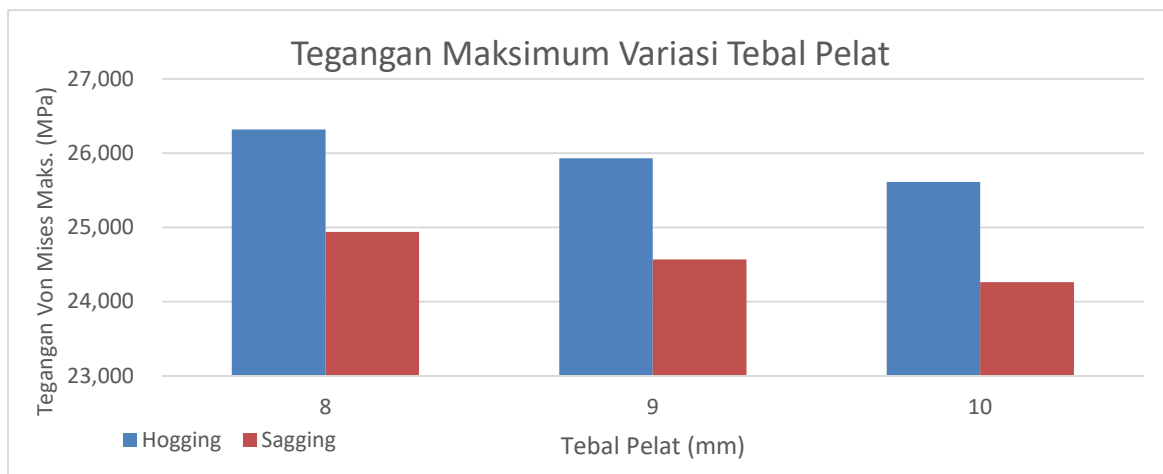
Hasil evaluasi menunjukkan bahwa seluruh model memiliki nilai tegangan maksimum yang jauh dibawah tegangan izin material, yakni berkisar 24 hingga 27 MPa, atau hanya sekitar 10 – 11% dari batas tegangan yang diizinkan. Untuk melengkapi evaluasi numerik, ditampilkan kontur *tegangan Von Mises* maksimum yang dapat dilihat pada Gambar 5.6. Visualisasi ini menunjukkan bahwa tegangan tertinggi terlokalisasi pada daerah sambungan antara pelat sekat dan alas (*bottom*). Hasil ini menunjukkan bahwa dari titik tegangan tertinggi pada model termasuk dalam batas aman, karena nilai tegangan simulasi berada di bawah tegangan izin dari material.





Gambar 5.6 Tegangan Maksimum Variasi Tebal Pelat pada Model, (a) Model 1, (b) Model 4, dan (c) Model 7

Untuk mempermudah pemahaman terhadap perbandingan tegangan maksimum akibat variasi ketebalan pelat, hasil simulasi di dua kondisi pembebanan divisualisasikan dalam bentuk grafik, Visualisasi tersebut ditampilkan pada Gambar 5.7 berikut.



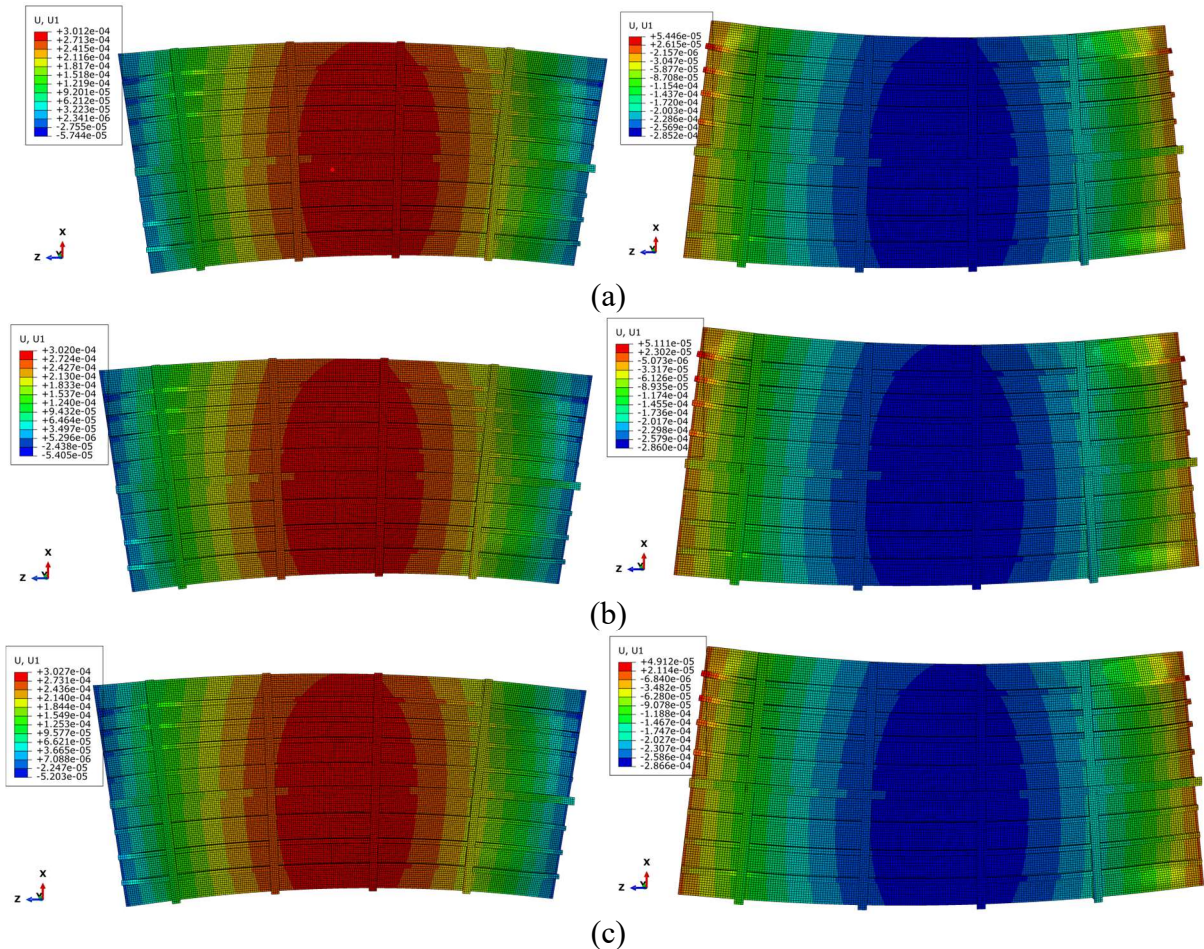
Gambar 5.7 Grafik Hubungan Variasi Tebal Pelat terhadap Tegangan *Von Mises* Maksimum

Grafik pada Gambar 5.7 menyajikan tegangan *Von Mises* dari variasi ketebalan pelat, dibawah kondisi *hogging* ditandai dengan garis biru sedangkan untuk kondisi *sagging* ditandai dengan garis merah. Pada grafik tersebut terlihat tegangan maksimum saat *hogging* konsisten lebih tinggi dibandingkan saat *sagging* di semua variasi ketebalan pelat. Peningkatan ketebalan pelat dari 8 mm menjadi 10 mm menyebabkan sedikit penurunan tegangan *hogging*, yaitu dari sekitar 26,3 MPa menjadi 25,6 MPa dan pada kondisi *sagging* dari 24,9 MPa menjadi 24,6 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan pelat secara umum dapat menurunkan

tegangan maksimum yang terjadi, dimana pengaruh yang lebih signifikan terlihat pada kondisi *hogging* dibandingkan *sagging*.

5.3.2. Evaluasi Deformasi terhadap Batas Izin

Evaluasi deformasi dilakukan untuk mengetahui sejauh mana struktur mengalami perubahan bentuk akibat pembebanan momen lentur. Hal ini penting karena meskipun suatu struktur mampu menahan beban secara tegangan, deformasi yang melebihi batas toleransi tetap dapat menyebabkan kerusakan fungsional maupun tegangan lokal.



Gambar 5.8 Deformasi Maksimum pada Kondisi, (a) Model 1, (b) Model 4, dan (c) Model 7

Gambar 5.8 menunjukkan nilai deformasi tertinggi ditunjukkan dengan warna merah sementara warna biru menunjukkan area dengan deformasi terendah. Dari hasil simulasi deformasi maksimum pada Gambar 5.8 dapat dilihat besaran deformasi maksimum yang terjadi pada model akibat kedua pembebanan.

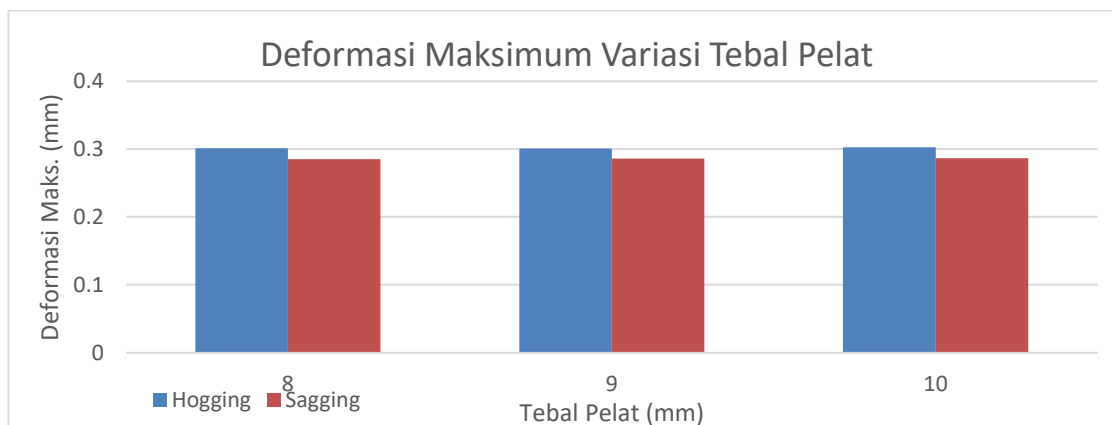
Tabel 5.6 Hasil Deformasi Maksimum Variasi Tebal Pelat

Model	Tebal Pelat (mm)	Deformasi Maks. (mm) - <i>Hogging</i>	Deformasi Maks. (mm) - <i>Sagging</i>	Keterangan
1	8	0,3012	0,2852	Memenuhi

Model	Tebal Pelat (mm)	Deformasi Maks. (mm) - <i>Hogging</i>	Deformasi Maks. (mm) - <i>Sagging</i>	Keterangan
4	9	0,3008	0,2860	Memenuhi
7	10	0,3027	0,2866	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 5.6, hasil simulasi menunjukkan bahwa deformasi maksimum mencapai 0,3027 mm pada kondisi pembebanan *hogging* yang terjadi pada penegar vertikal dibagian tengah alas, sedangkan pada kondisi *sagging* nilainya mencapai 0,2866 mm yang terjadi pada penegar vertikal dibagian tengah geladak. Deformasi maksimum ini tidak boleh melebihi batas deformasi untuk sekat memanjang sesuai dengan IACSS No.47, yaitu sebesar 8 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa dari nilai deformasi tertinggi pada model termasuk dalam batas aman, karena nilai deformasi simulasi berada dibawah batas izin deformasi untuk struktur sekat memanjang.

Untuk mempermudah pemahaman terhadap perbandingan tegangan maksimum akibat variasi ketebalan pelat, hasil simulasi di dua kondisi pembebanan divisualisasikan dalam bentuk grafik, Visualisasi tersebut ditampilkan pada Gambar 5.9 berikut



Gambar 5.9 Grafik Hubungan Variasi Tebal Pelat terhadap Deformasi Maksimum

Grafik pada Gambar 5.9 menyajikan besaran deformasi maksimum dari variasi ketebalan pelat, dibawah kondisi *hogging* ditandai dengan garis biru sedangkan untuk kondisi *sagging* ditandai dengan garis merah. Pada grafik tersebut terlihat bahwa grafik tidak terdapat tren yang konsisten antara peningkatan ketebalan pelat dengan deformasi yang terjadi. Sehingga dapat dikatakan bahwa perubahan ketebalan pelat dari 8 mm, 9 mm hingga 10 mm tidak memberikan pengaruh signifikan pada deformasi maksimum, baik dalam kondisi pembebanan *hogging* maupun *sagging*.

Hal ini mengindikasikan bahwa dalam kondisi beban yang diberikan seluruh model masih berada pada zona elastis awal, sehingga kekakuan struktur cukup besar untuk menahan deformasi tanpa menunjukkan perbedaan yang signifikan antar variasi ketebalan. Dapat

disimpulkan bahwa dalam skenario pembebanan rendah, ketebalan pelat belum menjadi faktor penentu utama terhadap deformasi struktur.

5.3.3. Evaluasi Momen Lentur Maksimum

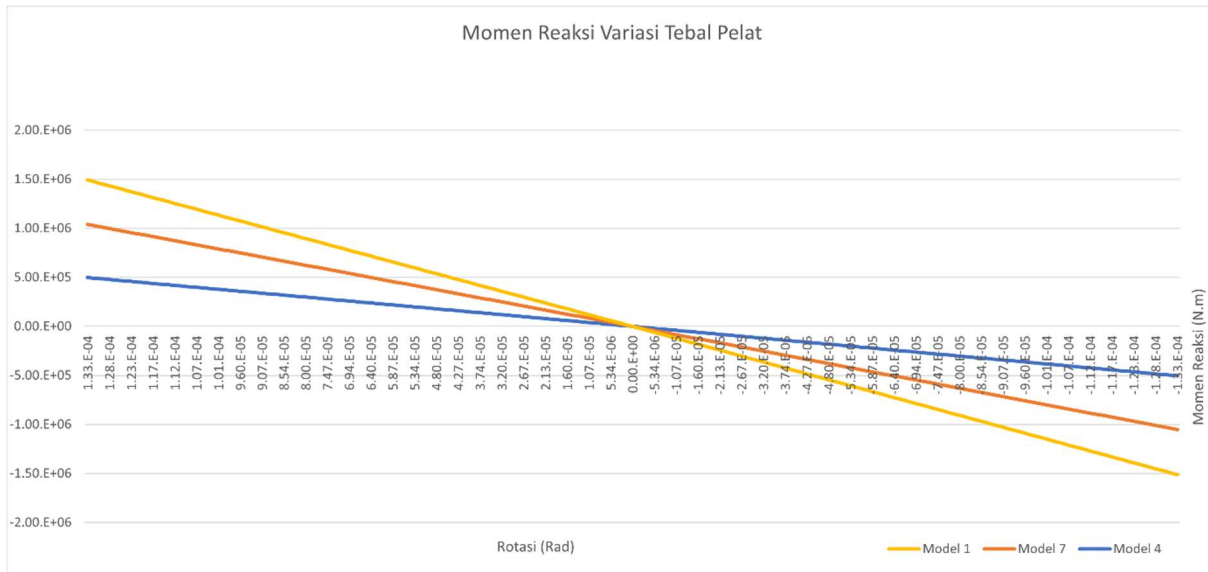
Evaluasi terhadap momen lentur maksimum dilakukan sebagai bagian dari analisis kekuatan struktur sekat memanjang terhadap variasi ketebalan pelat. Nilai momen lentur diambil dari reaksi momen yaitu RM2 dihasilkan melalui simulasi numerik pada dua kondisi pembebanan, yaitu *hogging* dan *sagging*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan peningkatan nilai momen lentur maksimum seiring dengan bertambahnya ketebalan pelat. Peningkatan ini mencerminkan bertambahnya kekakuan struktur secara keseluruhan yang mempengaruhi respons lentur terhadap rotasi yang dikenakan. Tabel 5.7 menyajikan perbandingan nilai momen reaksi maksimum untuk ketiga model variasi ketebalan pelat pada dua kondisi pembebanan.

Tabel 5.7 Hasil Simulasi Momen Reaksi (RM2) terhadap Variasi Tebal Pelat

Model	Tebal Pelat	Momen Reaksi (kN.m) - <i>Hogging</i>	Momen Reaksi (kN.m) - <i>Sagging</i>
1	8	459,827	-435,348
4	9	504,121	-477,292
7	10	548,323	-519,150

Analisis terhadap data pada Tabel 5.7 menunjukkan bahwa peningkatan tebal pelat dari 8 mm menjadi 10 mm menghasilkan peningkatan momen lentur maksimum sebesar 20% dengan rincian peningkatan dari tebal 8 ke 9 mm sebesar 10% dan pada kenaikan tebal 9 ke 10 mm sebesar 9% di kedua kondisi pembebanan. Hal ini sejalan dengan peningkatan kekakuan struktur akibat bertambahnya ketebalan pelat yang membuat struktur mampu menahan momen lentur yang lebih besar untuk besar rotasi yang sama. Hal ini mengindikasikan bahwa pelat yang lebih tebal meningkatkan kemampuan struktur untuk menahan beban lentur tanpa mengalami keruntuhan awal atau melebihi batas elastis material. Dengan demikian, struktur sekat memanjang yang dimodelkan menunjukkan peningkatan performa seiring dengan kenaikan tebal pelat, yang tidak hanya meningkatkan kapasitas momen lentur tetapi juga memperkecil risiko deformasi berlebih. Selain itu, peningkatan momen lentur reaksi dapat diartikan sebagai kemampuan struktur untuk menyalurkan gaya internal secara lebih efisien, yang penting untuk menjaga integritas global dari sistem struktur kapal.

Untuk mempermudah pemahaman terhadap perbandingan momen reaksi akibat variasi ketebalan pelat, hasil simulasi di dua kondisi pembebanan divisualisasikan dalam bentuk grafik, Visualisasi tersebut ditampilkan pada Gambar 5.10



Gambar 5.10 Grafik Momen Reaksi – Rotasi Variasi Tebal Pelat

Peningkatan nilai momen reaksi menunjukkan bahwa struktur dengan pelat lebih tebal memiliki kapasitas lentur yang lebih tinggi tanpa disertai dengan peningkatan tegangan maupun deformasi yang melebihi batas izin. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penambahan ketebalan pelat berkontribusi secara signifikan terhadap kekuatan lentur panel sekat memanjang.

5.3.4. Evaluasi Berat Struktur

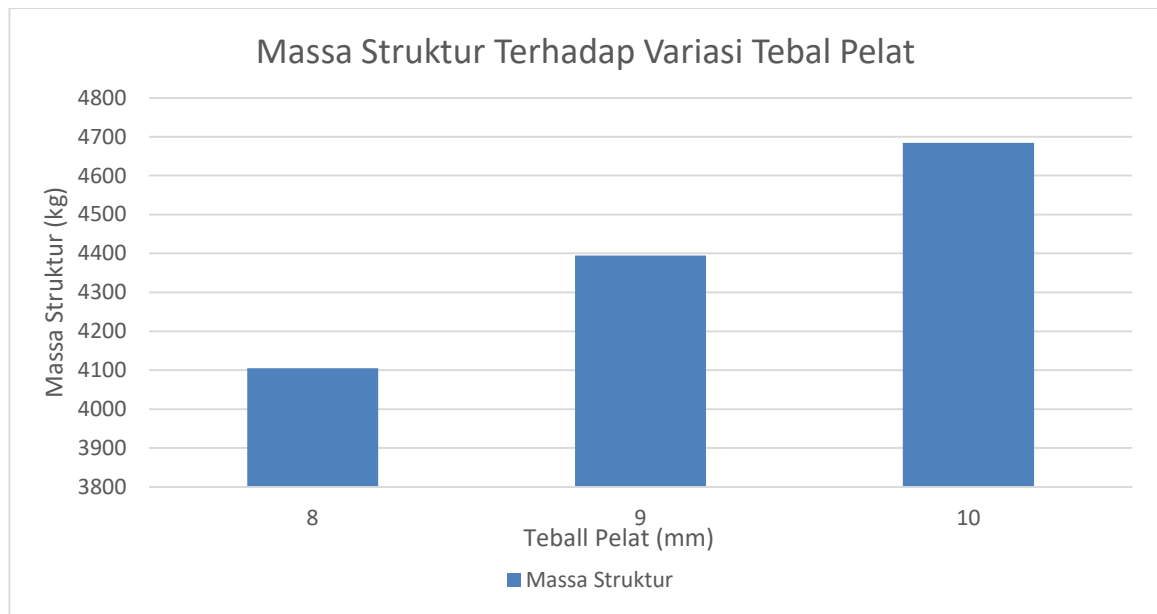
Evaluasi terhadap pengaruh ketebalan pelat dilakukan dengan membandingkan berat struktur dari Model 1, Model 4 dan Model 7. Rekapitulasi perbandingan massa struktur akibat variasi ketebalan pelat dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Pengaruh Variasi Ketebalan Pelat terhadap Berat Struktur

Model	Tebal Pelat (mm)	Massa (kg)	Presesntase Selisih (%)
1	8	4105,29	-
4	9	4394,96	4.35%
7	10	4684,23	14.11%

Berdasarkan Tabel 5.8 dapat dilihat bahwa peningkatan ketebalan pelat dari 8 mm menjadi 9 mm menghasilkan peningkatan massa sebesar 4.35%. Sementara itu, peningkatan tebal menjadi 10 mm menyebabkan pertambahan massa sebesar 14.11% dibandingkan dengan Model 1. Kenaikan berat terjadi secara *linear* terhadap pertambahan volume dari pelat utama yang merupakan komponen dengan kontribusi massa paling besar dalam keseluruhan struktur sekat memanjang. Seiring dengan bertambahnya ketebalan, volume pelat akan meningkat sehingga massa total struktur juga akan bertambah secara signifikan. Untuk mempermudah

pemahaman terhadap perbandingan massa struktur akibat variasi ketebalan pelat, divisualisasikan dalam bentuk grafik, Visualisasi tersebut ditampilkan pada Gambar 5.11



Gambar 5.11 Grafik Hubungan Massa Struktur terhadap Variasi Tebal Pelat

Pada grafik terlihat bahwa terjadi kenaikan massa yang linear seiring bertambahnya tebal pelat. Saat ketebalan pelat meningkat dari 8 mm ke 9 mm, massa meningkat dari 4105,29 kg menjadi 4394,96 kg, kemudian meningkat lagi menjadi 4684,23 pada ketebalan pelat 10 mm. Pola ini menunjukkan bahwa tebal pelat memberikan kontribusi signifikan terhadap total massa struktur sekat, yang mengindikasikan bahwa massa struktur berbanding lurus dengan ketebalan pelat.

5.4. Efek Perubahan Ukuran Penegar terhadap Kekuatan Panel

Setelah mengevaluasi pengaruh ketebalan pelat terhadap kekuatan struktur, analisis berikutnya difokuskan pada pengaruh variasi ukuran profil penegar terhadap perilaku lentur panel sekat memanjang. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan model yang memiliki ketebalan pelat tetap, yaitu sebesar 9 mm dengan dimensi penegar yang divariasikan. Model yang digunakan antara lain sebagai berikut.

- Model 1, dengan profil L 90x90x9 mm (model dasar)
- Model 2, dengan profil L 100x75x8 mm
- Model 3, dengan profil L 100x100x10 mm

Evaluasi dilakukan terhadap tegangan maksimum *von mises*, deformasi total serta momen lentur maksimum akibat pembebanan *hogging* dan *sagging*

5.4.1. Evaluasi Tegangan Maksimum terhadap Tegangan Izin

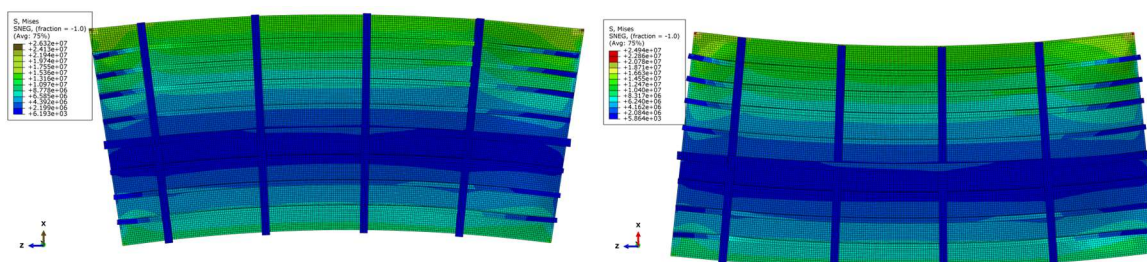
Langkah selanjutnya adalah dilakukan evaluasi yang berfokus pada nilai tegangan maksimum yang dihasilkan untuk setiap variasi ketebalan pelat. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah nilai tegangan maksimum masih berada dalam batas aman berdasarkan standar klasifikasi. Evaluasi ini menggunakan parameter berupa tegangan izin material yang telah dihitung sebelumnya yaitu 214.69 MPa yang merupakan tegangan izin material. Nilai – nilai tegangan maksimum diperoleh dari hasil simulasi numerik dalam dua kondisi pembebanan, tepatnya pada elemen yang mengalami beban tertinggi untuk masing – masing pembebanan yaitu elemen yang berwarna merah. Tabel 5.9 berikut merangkum nilai tegangan dan deformasi maksimum terhadap batas izin untuk variasi model ketebalan pelat.

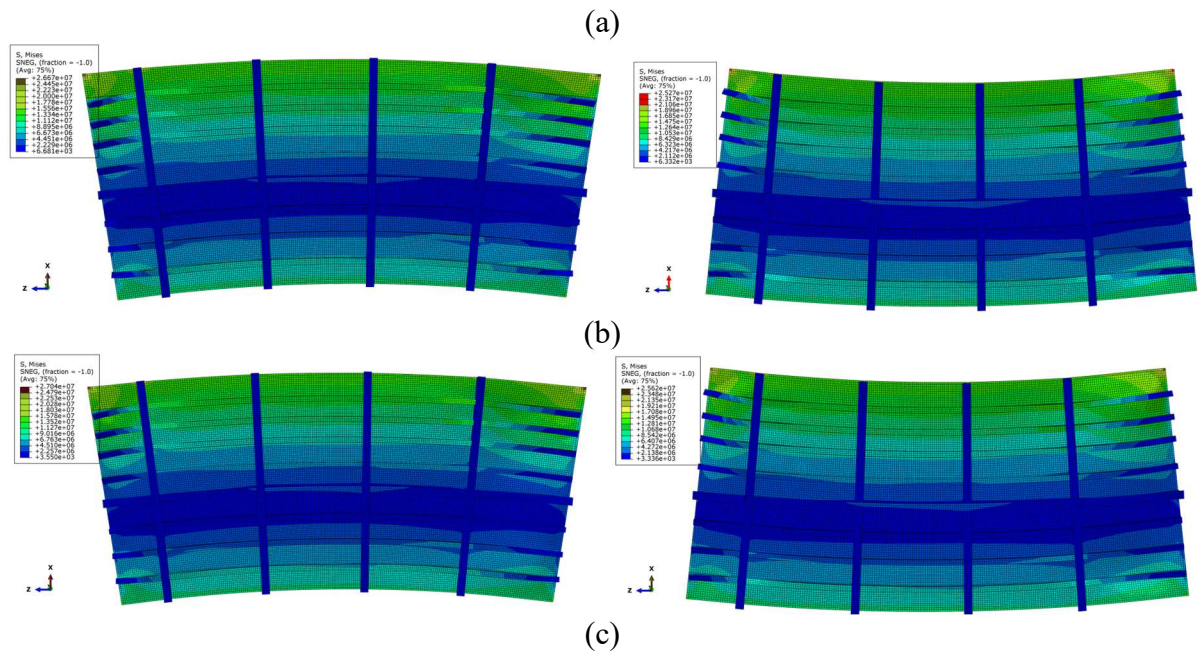
Tabel 5.9 Hasil Simulasi Tegangan Maksimum *Von Mises* Variasi Dimensi Penegar

Model	Penegar (mm)	σ Maks. (MPa) - <i>Hogging</i>	σ Maks. (MPa) - <i>Sagging</i>	Keterangan
1	90 x 90 x 9	26,320	24,940	Memenuhi
2	100 x 75 x 8	26,670	25,270	Memenuhi
3	100 x 100 x 10	27,040	25,620	Memenuhi

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa seluruh model memiliki nilai tegangan maksimum yang jauh dibawah tegangan izin material, yakni berkisar 24 – 28 MPa atau hanya sekitar 9 – 10% dari tegangan izin sebesar 214,69 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa dari sisi kekuatan material seluruh variasi desain masih berada dalam kondisi aman terhadap kegagalan akibat tegangan berlebih. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh bahwa tegangan maksimum mengalami kecenderungan kenaikan seiring dengan meningkatnya ukuran penegar, baik pada kondisi *hogging* maupun *sagging*. Pada Model 1, diperoleh tegangan maksimum sebesar 26,3 MPa (*hogging*) dan 24,9 MPa (*sagging*). Sementara itu, Model 3 dengan ukuran penegar terbesar memiliki tegangan maksimum sebesar 27,04 MPa (*Hogging*) dan 25,6 Mpa (*Sagging*).

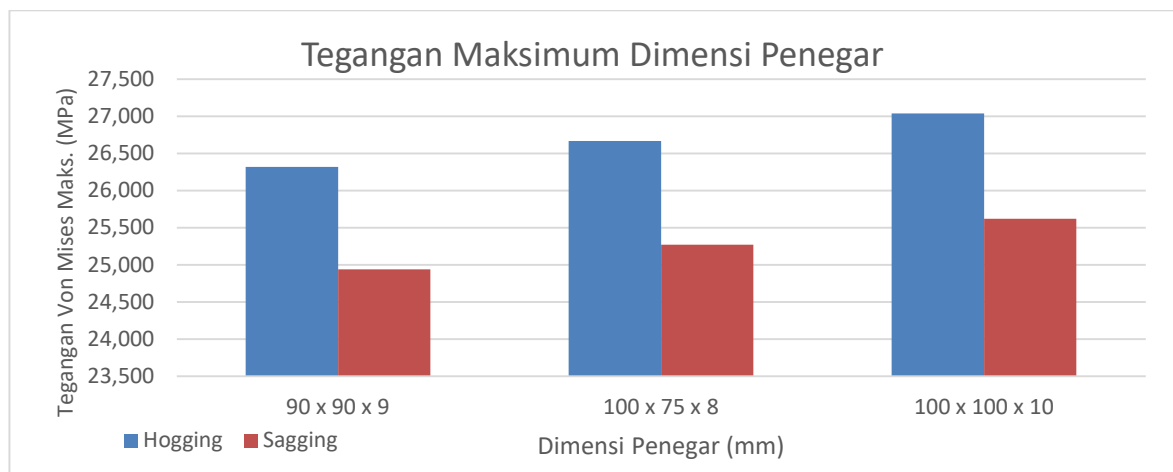
Untuk melengkapi evaluasi numerik, ditampilkan kontur tegangan *von mises* maksimum yang dapat dilihat pada Gambar 5.12. Visualisasi ini menunjukkan bahwa tegangan tertinggi terlokalisasi pada daerah sambungan antara pelat sekat dan geladak kapal (*deck*). Hasil ini menunjukkan bahwa dari titik tegangan tertinggi pada model termasuk dalam batas aman, karena nilai tegangan simulasi berada dibawah tegangan izin dari material.





Gambar 5.12 Tegangan Maksimum Variasi Dimensi Penegar pada Model, (a) Model 1, (b) Model 2, dan (c) Model 3

Untuk mempermudah pemahaman terhadap perbandingan tegangan maksimum akibat variasi dimensi penegar, hasil simulasi di dua kondisi pembebanan divisualisasikan dalam bentuk grafik, Visualisasi tersebut ditampilkan pada Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5.13 Grafik Hubungan Variasi Dimensi Penegar terhadap Tegangan *Von Mises* Maksimum

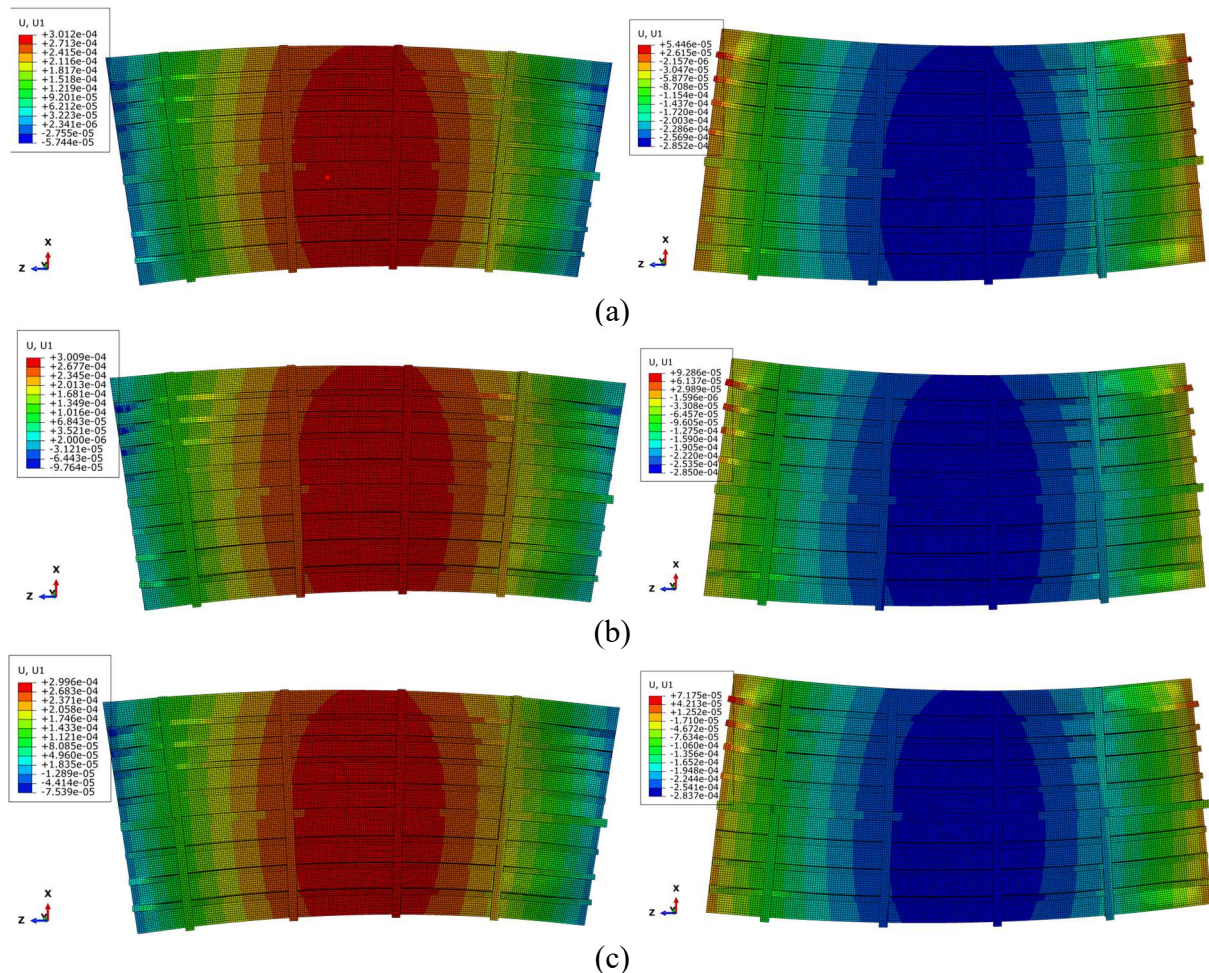
Grafik pada Gambar 5.13 menyajikan tegangan *von mises* dari variasi dimensi penegar, kondisi *hogging* ditandai dengan garis biru sedangkan untuk kondisi *sagging* ditandai dengan garis merah. Pada grafik tersebut terlihat tegangan maksimum saat *hogging* konsisten lebih tinggi dibandingkan saat *sagging* di semua variasi dimensi penegar. Secara umum, variasi dimensi penegar tidak memberikan perubahan yang signifikan terhadap besar tegangan maksimum. Tercatat bahwa tegangan terbesar terjadi pada Model 3, yaitu pada dimensi penegar

dengan modulus terbesar. Kondisi ini berbanding terbalik dengan kondisi dimana penegar yang lebih besar seharusnya mengurangi tegangan.

Peningkatan tegangan yang terjadi kemungkinan disebabkan oleh beberapa hal, seperti beban yang belum tersalur optimal ke penegar dan terjadi konsentrasi tegangan akibat perubahan kekakuan lokal. Perbedaan tegangan yang terjadi antar model berkisar 3% dan masih berada jauh dibawah izin material.

5.4.2. Evaluasi Deformasi terhadap Batas Izin

Evaluasi deformasi dilakukan untuk mengetahui sejauh mana struktur mengalami perubahan bentuk akibat pembebanan momen lentur. Hal ini penting karena meskipun suatu struktur mampu menahan beban secara tegangan, deformasi yang melebihi batas toleransi tetap dapat menyebabkan kerusakan fungsional maupun tegangan lokal.



Gambar 5.14 Deformasi Maksimum pada Kondisi, (a) Model 1, (b) Model 2, dan (c) Model 3

Gambar 5.14 menunjukkan nilai deformasi tertinggi ditunjukkan dengan warna merah sementara warna biru menunjukkan area dengan deformasi terendah. Dari hasil simulasi

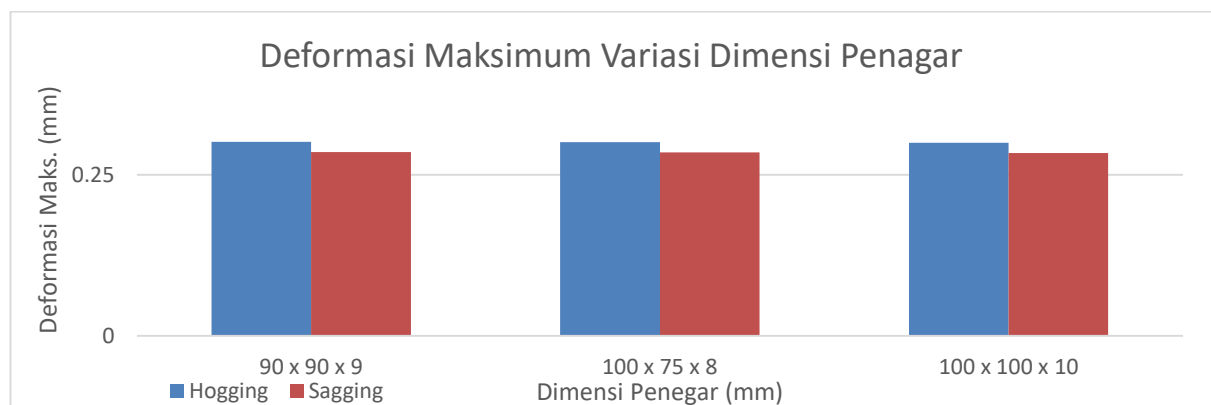
deformasi maksimum pada Gambar 5.14 dapat dilihat besaran deformasi maksimum yang terjadi pada model akibat kedua pembebanan.

Tabel 5.10 Hasil Deformasi Maksimum Dimensi Penegar

Model	Penegar (mm)	Deformasi Maks. (mm) - <i>Hogging</i>	Deformasi Maks. (mm) - <i>Sagging</i>	Keterangan
1	90 x 90 x 9	0,3012	0,2852	Memenuhi
4	100 x 75 x 8	0,3009	0,2849	Memenuhi
7	100 x 100 x 10	0,2996	0,2836	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 5.10, hasil simulasi menunjukkan bahwa deformasi maksimum mencapai 0,3012 mm pada kondisi pembebanan *hogging* yang terjadi pada bagian tengah pelat dalam arah sumbu positif, sedangkan pada kondisi *sagging* nilainya mencapai 0,2852 mm yang terjadi pada bagian tengah pelat dengan arah sumbu negatif. Deformasi maksimum ini tidak boleh melebihi batas deformasi untuk sekat memanjang sesuai dengan IACSS No.47, yaitu sebesar 8 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa dari nilai deformasi tertinggi pada model termasuk dalam batas aman, karena nilai deformasi simulasi berada dibawah batas izin deformasi untuk struktur sekat memanjang.

Untuk mempermudah pemahaman terhadap perbandingan tegangan maksimum akibat variasi ketebalan pelat, hasil simulasi di dua kondisi pembebanan divisualisasikan dalam bentuk grafik, Visualisasi tersebut ditampilkan pada Gambar 5.15



Gambar 5.15 Grafik Hubungan Variasi Dimensi Penegar terhadap Deformasi Maksimum

Gambar 5.15 menunjukkan grafik deformasi maksimum akibat variasi dimensi penegar memanjang pada struktur sekat. Garis biru menggambarkan deformasi pada kondisi *hogging*, sedangkan garis merah menunjukkan deformasi pada kondisi *sagging*. Pada grafik tersebut terlihat deformasi maksimum saat *hogging* konsisten lebih tinggi dibandingkan saat *sagging* di semua variasi dimensi penegar. Peningkatan dimensi penegar dari 90 x 90 x 9 mm menjadi 100 x 100 x 10 mm menyebabkan sedikit penurunan deformasi maksimum pada kondisi *hogging*, yaitu dari sekitar 0,3012 mm menjadi 0,2996 mm dan pada kondisi *sagging* 0,2852 mm menjadi

0,2836 mm. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan dimensi penegar secara umum meningkatkan kekakuan struktur, sehingga deformasi yang terjadi menjadi lebih kecil.

5.4.3. Evaluasi Momen Lentur Maksimum

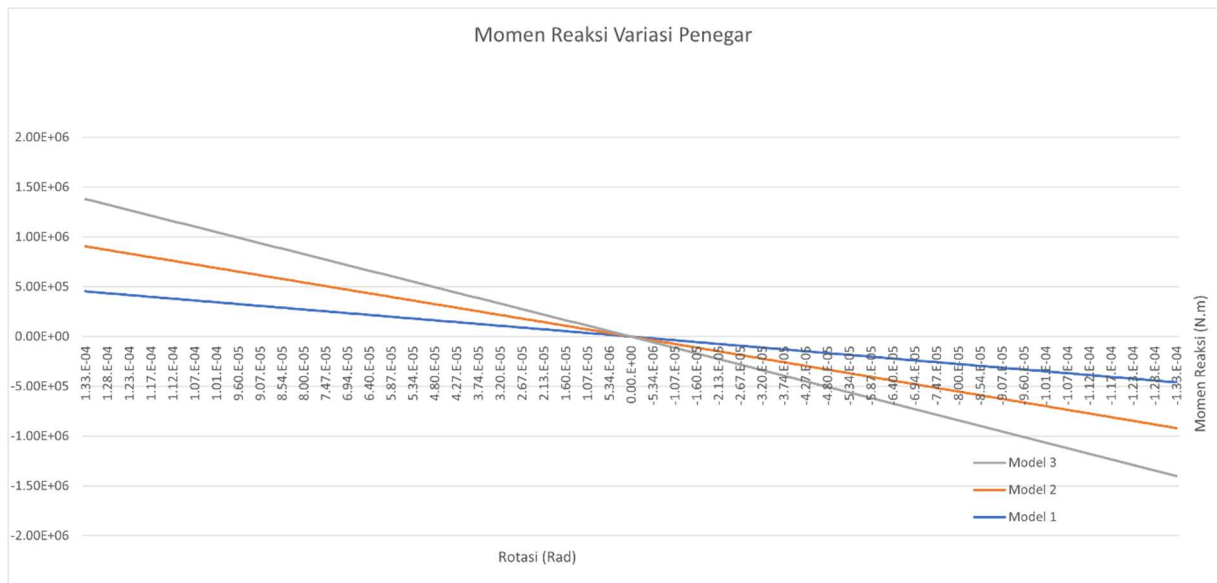
Evaluasi terhadap momen lentur maksimum dilakukan sebagai bagian dari analisis kekuatan struktur sekat memanjang terhadap variasi dimensi profil penegar memanjang. Nilai momen lentur diambil dari reaksi momen yaitu RM2 pada *reference point* sebagai respons terhadap kedua kondisi pembebanan, yaitu *hogging* dan *sagging*. Nilai reaksi momen ini merupakan parameter penting dalam mengevaluasi kemampuan struktur dalam menahan beban lentur yang bekerja pada pelat secara keseluruhan. Tabel 5.11 menyajikan perbandingan nilai momen reaksi maksimum untuk ketiga model variasi dimensi penegar memanjang pada dua kondisi pembebanan. Dari data yang ditampilkan, terlihat bahwa variasi bentuk dan ukuran penegar memberikan pengaruh terhadap besar kecilnya nilai momen reaksi, baik pada kondisi *hogging* maupun *sagging*.

Tabel 5.11 Hasil Simulasi Momen Reaksi (RM2) terhadap Variasi Dimensi Penegar

Model	Dimensi Profil (mm)	Momen Reaksi (kN.m) - Hogging	Momen Reaksi (kN.m) - Sagging
1	90x90x9	459,827	-435,348
2	100x75x8	458,916	-434,492
3	100x100x10	482,552	-456,860

Analisis terhadap data pada Tabel 5.11 menunjukkan bahwa variasi dimensi penegar mempengaruhi besarnya momen reaksi (RM2) baik pada kondisi *hogging* maupun *sagging* secara signifikan. Pada kondisi *hogging*, nilai momen reaksi tertinggi terjadi pada Model 3 dengan dimensi penegar 100 x 100 x 10 mm, yaitu sebesar 482,5 kN.m, yang mengindikasikan bahwa struktur penegar dengan penegar lebih besar memiliki kapasitas lentur yang lebih tinggi. Sebaliknya, nilai momen reaksi terendah terjadi pada model 2 dengan dimensi 100 x 75 x 8 mm yaitu 459,8 kN.m. Hal yang serupa juga terlihat pada kondisi *sagging*, dengan momen reaksi maksimum pada Model 3 mencapai -435,3 kN.m, sedangkan nilai minimum berada pada Model 2 yaitu sebesar -456,8 kN.m. Perbedaan ini menunjukkan bahwa dimensi penegar memiliki pengaruh terhadap respon global struktur dalam menghadapi momen lentur dari kedua arah pembebanan.

Untuk mempermudah pemahaman terhadap perbandingan momen reaksi akibat variasi ketebalan pelat, hasil simulasi di dua kondisi pembebanan divisualisasikan dalam bentuk grafik, Visualisasi tersebut ditampilkan pada Gambar 5.16



Gambar 5.16 Grafik Momen Reaksi – Rotasi Variasi Dimensi Penegar

Peningkatan dimensi penegar secara umum menyebabkan kenaikan nilai momen reaksi yang mengindikasikan bahwa struktur dengan penegar lebih besar dan tebal memiliki kekakuan yang lebih tinggi. Hal ini membuat struktur mampu menahan beban lentur yang lebih besar untuk besar rotasi yang sama. Meskipun demikian, selisih nilai antar variasi relatif kecil yaitu sekitar 1-1.2%, sehingga perlu mempertimbangkan efisiensi terhadap berat tambahan dari dimensi penegar yang lebih besar.

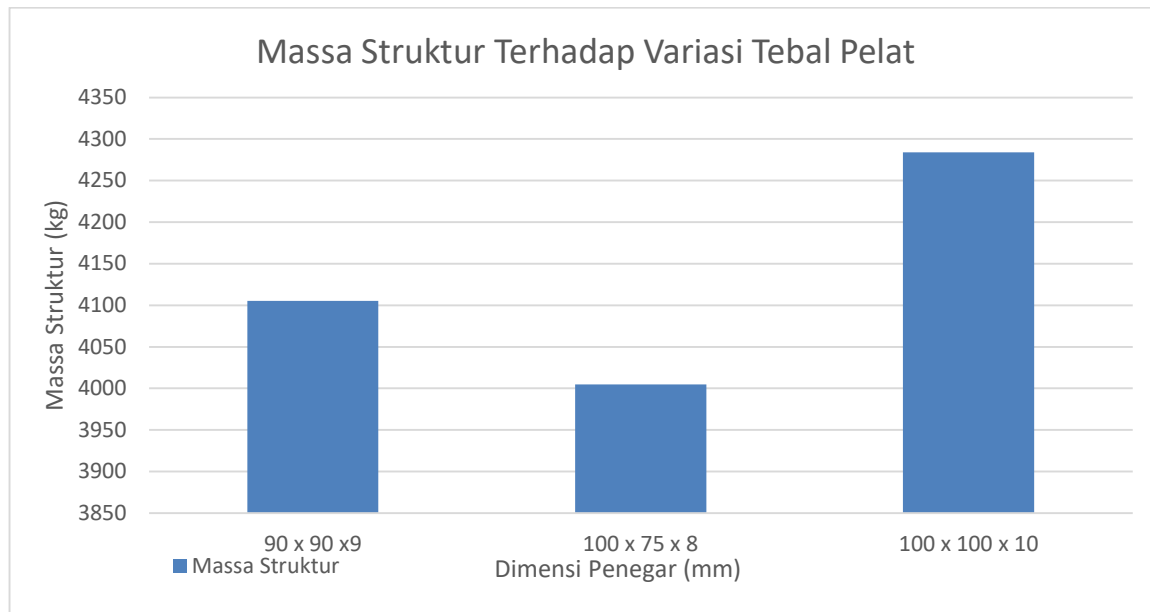
5.4.4. Evaluasi Berat Struktur

Evaluasi dilakukan terhadap variasi dimensi penegar memanjang terhadap total massa struktur sekat. Dalam evaluasi ini digunakan tiga model, yaitu Model 1, Model 2 dan Model 3. Rekapitulasi perbandingan massa struktur akibat variasi dimensi penegar dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Pengaruh Variasi Dimensi Penegar terhadap Berat Struktur

Model	Penegar (mm)	Massa (kg)	Presesntase Selisih (%)
1	90 x 90 x 9	4105.29	-
2	100 x 75 x 8	4004.90	-2.45%
3	100 x 100 x 10	4283.82	4.35%

Berdasarkan Tabel 5.12 dapat dilihat bahwa Model 2 memiliki massa total sebesar 4004.90 kg atau lebih ringan 2,45% dibandingkan Model 1. Sebaliknya, Model 3 memiliki massa sebesar 4238.82 kg atau mengalami peningkatan sebesar 4,35% dibandingkan dengan model 1. Untuk mempermudah pemahaman terhadap perbandingan massa struktur akibat variasi ketebalan pelat, divisualisasikan dalam bentuk grafik, Visualisasi tersebut ditampilkan pada Gambar 5.11



Gambar 5.17 Grafik Hubungan Massa Struktur terhadap Variasi Dimensi Penegar

Pada grafik terlihat adanya penurunan massa struktur pada Model 2, hal ini disebabkan oleh penggunaan penegar dengan dimensi lebih ramping dan tipis dibandingkan dengan Model 1 (*existing*). Kemudian grafik menunjukkan peningkatan massa pada Model 3, seiring dengan penggunaan penegar berdimensi lebih besar dan lebih tebal. Berdasarkan tren tersebut, dapat disimpulkan bahwa dimensi penegar memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap massa struktur, dimana penegar yang lebih ramping dapat meningkatkan efisiensi massa dan berpotensi mengurangi berat total kapal.

5.5. Kondisi Yield Model Sekat Memanjang

Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui apakah struktur sekat memanjang telah mengalami kondisi *yield* atau masih berada dalam batas elastis berdasarkan pendekatan momen lentur teoritis yang dihitung saat material mencapai tegangan yield yaitu 250 MPa. Nilai momen teoritis ditentukan menggunakan persamaan tegangan lentur berikut ini;

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot y \rightarrow M_{teori} = \frac{\sigma}{y} \cdot I \quad (5.1)$$

Dimana tegangan yang dimasukkan adalah 250 MPa sebagai tegangan *yield* material dan y yang digunakan adalah jarak dari *netral axis* ke serat terluar yaitu 2,59 m. Nilai momen ini merupakan target momen lentur yang akan menyebabkan tegangan di struktur mencapai batas leleh. Setelah momen teoritis diketahui, dilakukan perhitungan untuk menentukan sudut rotasi yang dibutuhkan agar struktur menghasilkan momen yang mendekati momen teoritis. Pendekatan untuk menemukan nilai sudut rotasi menggunakan pendekatan iterasi. Rekapitulasi

hasil perhitungan yang akan diaplikasikan pada model simulasi sekat memanjang untuk kondisi *yield* seperti yang terlihat pada Tabel 5.13

Tabel 5.13 Perhitungan Sudut Rotasi Kondisi *Yield*

Parameter	Nilai
Momen Teoritis (N.m)	5.14E+06
Sudut Rotasi - θ_1 (rad)	0.002166
Momen Simulasi – RM ₁ (N.m)	7.41E+06
Sudut Rotasi - θ_2 (rad)	0.0015022
Momen Simulasi – RM ₂ (N.m)	5.18E+06
Selisih	-0.754477%

Dari hasil evaluasi yang ditunjukkan pada Tabel 5.13 terlihat bahwa pada saat sudut rotasi awal yang diberikan menghasilkan momen lentur yang jauh lebih besar dibandingkan momen teoritis. Selanjutnya, dilakukan penyesuaian sudut rotasi hingga diperoleh nilai rotasi sebesar 0.0015022 rad, yang menghasilkan momen lentur simulasi sebesar $5,18 \times 10^6$ N.m. Nilai ini mendekati nilai momen teoritis dengan selisih sebesar 0.75 %. Nilai sudut rotasi ini yang nantinya akan digunakan untuk variasi model sekat memanjang yang lain untuk mendapatkan kondisi in untuk mendapatkan kondisi *yield*.

5.5.1. Analisis Hasil

Evaluasi kapasitas *yield* dilakukan untuk mengetahui kemampuan struktur dalam menahan momen lentur maksimum pada saat tegangan *von mises* sebesar 250 MPa yang mana merupakan tegangan *yield* material. Setiap model divariasikan berdasarkan kombinasi antara dimensi penegar dan ketebalan pelat, sehingga hasil *yield* mencerminkan performa total dari masing – masing konfigurasi. Nilai rotasi UR2 dicatat pada saat model mencapai tegangan maksimum 250 MPa, momen lentur yang terjadi saat itu dianggap sebagai kapasitas momen *yield* pada model. Hasil evaluasi dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Kondisi *Yield* Seluruh Variasi Model

Model	Dimensi Penegar (mm)	Tebal Pelat (mm)	Rotasi – UR2 (rad)	σ Maks. (MPa)	Momen Lentur (kN.m)
1	90 x 90 x 9	8	0.00127683	250	4.35E+03
2	100 x 75 x 8	8	0.00126181	250	4.34E+03
3	100 x 100 x 100	8	0.00124678	250	4.51E+03
4	90 x 90 x 9	9	0.00129185	250	4.89E+03
5	100 x 75 x 8	9	0.00127683	250	4.82E+03
6	100 x 100 x 100	9	0.00126181	250	4.99E+03
7	90 x 90 x 9	10	0.00130687	250	5.38E+03

Model	Dimensi Penegar (mm)	Tebal Pelat (mm)	Rotasi – UR2 (rad)	σ Maks. (MPa)	Momen Lentur (kN.m)
8	100 x 75 x 8	10	0.00127683	250	5.18E+03
9	100 x 100 x 100	10	0.00127683	250	5.47E+03

Tabel 5.14 diatas menunjukkan bahwa seluruh model berhasil mencapai tegangan maksimum 250 MPa melalui pengaturan rotasi UR2 yang berbeda – beda pada masing – masing variasi. Perbedaan nilai rotasi ini mengindikasikan bahwa tingkat kekakuan struktur memiliki pengaruh terhadap besar rotasi yang dibutuhkan tiap variasi model untuk mencapai kondisi *yield*. Secara umum terlihat bahwa semakin besar tebal pelat yang digunakan, maka semakin tinggi nilai momen lentur yang dihasilkan. Sedangkan pada variasi dimensi penegar pun mendapatkan hasil yang sama, dimana penegar dengan dimensi lebih besar menghasilkan nilai momen lentur yang lebih tinggi begitu pula sebaliknya, dimensi penegar yang lebih kecil menghasilkan momen lentur yang lebih kecil.

Hal ini dapat diperhatikan pada model dengan spesifikasi paling kecil yaitu Model 2 dengan konfigurasi tebal pelat 8 mm dan penegar 100 x 75 x 8 mm menghasilkan momen lentur sebesar $4,34 \times 10^3$ kN.m. Sementara itu, model dengan spesifikasi terbesar yaitu Model 9 dengan konfigurasi tebal pelat 10 mm dan penegar 100 x 100 x 10 mm menghasilkan momen lentur tertinggi yaitu sebesar $5,47 \times 10^3$ kN.m. Peningkatan bertahap nilai momen lentur ini menunjukkan hubungan linear antara kekakuan penampang terhadap kemampuan struktur dalam menahan beban lentur saat mencapai kondisi *yield*. Selain itu, nilai rotasi yang dibutuhkan untuk mencapai tegangan *yield* cenderung menurun seiring bertambahnya kekakuan struktur. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur yang lebih kaku membutuhkan deformasi lebih kecil untuk mencapai tegangan maksimum.

5.6. Desain Optimum

Setelah dilakukan analisis terhadap seluruh variasi model, baik dari segi ketebalan pelat maupun dimensi profil penegar, tahap akhir analisis ini adalah menentukan konfigurasi desain yang paling optimum. Hal ini bertujuan untuk memilih model yang memberikan kekuatan struktur optimal, deformasi kecil dan tegangan dibawah batas izin, namun tetap mempertimbangkan efisiensi struktur terhadap pembebanan lentur akibat *hogging* dan *sagging*.

5.6.1. Perbandingan Menyeluruh Antar Model

Perbandingan dilakukan terhadap seluruh variasi model berdasarkan tiga parameter utama, yaitu tegangan von Mises maksimum, deformasi maksimum dan momen reaksi maksimum. Kesembilan model yang dibandingkan merupakan kombinasi dari tiga variasi

ketebalan pelat (8 mm, 9 mm dan 10 mm) serta tiga variasi ukuran profil penegar (90x90x9 mm, 100x75x8 mm, dan 100x100x10 mm). Untuk memudahkan pemahaman mengenai hasil perbandingan menyeluruh variasi model, hasil evaluasi terbagi menjadi dua tabel dimana Tabel 5.15 menampilkan informasi terkait tegangan dan deformasi maksimum, sementara Tabel 5.16 menampilkan nilai momen lentur reaksi baik pada dua kondisi pembebanan.

Tabel 5.15 Rekapitulasi Tegangan dan Deformasi Maksimum untuk Seluruh Variasi Model

Model	Tebal Pelat (mm)	Penegar (mm)	σ Maks. – Hogging (MPa)	σ Maks. – Sagging (MPa)	Deformasi – Hogging (mm)	Deformasi – Sagging (mm)	Keterangan
1	8	90 x 90 x 9	2.63E+01	2.49E+01	0.3012	0.285244	<i>Existing</i>
2	8	100 x 75 x 8	2.64E+01	2.50E+01	0.3009	0.284956	Memenuhi
3	8	100 x 100 x 100	2.70E+01	2.56E+01	0.2996	0.283682	Memenuhi
4	9	90 x 90 x 9	2.59E+01	2.46E+01	0.3008	0.286005	Memenuhi
5	9	100 x 75 x 8	2.60E+01	2.46E+01	0.3017	0.285735	Memenuhi
6	9	100 x 100 x 100	2.66E+01	2.52E+01	0.3005	0.284597	Memenuhi
7	10	90 x 90 x 9	2.56E+01	2.43E+01	0.3027	0.286623	Memenuhi
8	10	100 x 75 x 8	2.57E+01	2.43E+01	0.3024	0.286365	Memenuhi
9	10	100 x 100 x 100	2.62E+01	2.48E+01	0.3013	0.285342	Memenuhi

Berdasarkan tabel diatas, seluruh variasi model menunjukkan tegangan maksimum yang jauh dibawah tegangan izin material baja struktural yaitu 241.7 MPa pada dua kondisi pembebanan. Demikian pula pada deformasi maksimum yang terjadi masih berada dalam batas toleransi desain yaitu 8 mm. Oleh karena itu setiap konfigurasi model dapat dinyatakan aman secara struktural terhadap kedua kondisi pembebanan.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Momen Reaksi (RM2) untuk Seluruh Variasi Model

Model	Tebal Pelat (mm)	Penegar (mm)	Momen Reaksi – Hogging (kN.m)	Momen Reaksi – Sagging (kN.m)
1	8	90 x 90 x 9	4.60E+02	4.35E+02
2	8	100 x 75 x 8	4.59E+02	4.34E+02
3	8	100 x 100 x 100	4.83E+02	4.57E+02
4	9	90 x 90 x 9	5.04E+02	4.77E+02
5	9	100 x 75 x 8	5.03E+02	4.76E+02
6	9	100 x 100 x 100	5.27E+02	4.99E+02
7	10	90 x 90 x 9	5.48E+02	5.19E+02
8	10	100 x 75 x 8	5.47E+02	5.18E+02
9	10	100 x 100 x 100	5.71E+02	5.41E+02

Nilai momen lentur reaksi merupakan hasil dari momen internal struktur yang ditangkap pada *boundary supports* akibat rotasi yang diaplikasikan dimana rotasi ini mewakili kemampuan struktur dalam menahan beban lentur. Kenaikan nilai momen mengikuti peningkatan tebal pelat dan ukuran penegar. Berdasarkan data pada Tabel 5.16 dapat dilihat bahwa Model 9 menunjukkan nilai momen terbesar baik dalam kondisi *hogging* maupun *sagging*. Hal ini mengindikasikan kekakuan struktural dan kekuatan struktural tertinggi.

Tabel 5.17 Rekapitulasi Massa Struktur untuk Seluruh Variasi Model

Model	Tebal Pelat (mm)	Penegar (mm)	Massa Struktur (kg)	Massa Struktur (ton)
1	8	90 x 90 x 9	4105.29	4.105
2	8	100 x 75 x 8	4004.90	4.005
3	8	100 x 100 x 100	4283.82	4.28
4	9	90 x 90 x 9	4394.96	4.39
5	9	100 x 75 x 8	4294.56	4.29
6	9	100 x 100 x 100	4573.49	4.57
7	10	90 x 90 x 9	4684.62	4.68
8	10	100 x 75 x 8	4584.23	4.58
9	10	100 x 100 x 100	4863.15	4.86

Berdasarkan Tabel 5.17, massa struktur untuk masing – masing variasi model meningkat seiring dengan bertambahnya tebal pelat dan dimensi penegar yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa setiap penambahan dimensi elemen struktural memiliki kontribusi terhadap kenaikan total massa struktur. Pada tabel rekapitulasi, terlihat bahwa Model 1 memiliki massa terkecil sebesar 4105,29 kg, sedangkan Model 9 memiliki massa terbesar sebesar 4863,15 kg. Massa struktur untuk masing – masing variasi model umumnya meningkat seiring dengan bertambahnya pelat dan ukuran penegar.

5.6.2. Penentuan Model Optimum

Evaluasi desain optimum struktur sekat memanjang dilakukan berdasarkan empat parameter utama, yaitu tegangan maksimum Von Mises, deformasi total, momen reaksi dan berat struktur. Model 1 yaitu model *existing* digunakan sebagai acuan pembandingan seluruh variasi model. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan dimensi penegar dan tebal pelat umumnya menurunkan tegangan dan deformasi, namun sejalan dengan berat total struktur. Disisi lain, momen reaksi cenderung meningkat pada struktur yang lebih kaku, namun tidak berarti hal itu menjadikannya efisien.

Untuk menentukan desain optimum digunakan tiga kriteria evaluasi utama, yaitu antara lain kriteria kekuatan, kriteria efisiensi massa dan kriteria kekakuan struktur. Dimana nilai tegangan maksimum dan deformasi lebih kecil atau setara dengan Model 1 ($\sigma \leq 26,32$ MPa, deformasi $\leq 0,30$ mm), berat struktur harus lebih ringan dari Model 1 (massa ≤ 4.10 ton) dan momen reaksi harus lebih besar dari atau mendekati nilai pada Model 1. ($M \geq 459,83$ kN.m). Seluruh variasi model dievaluasi dan diberi keterangan sesuai pemenuhan tiap kriteria. Hasil evaluasi disajikan pada Tabel 5.17 dan Tabel 5.18 berikut.

Tabel 5.18 Hasil Evaluasi Seluruh Variasi Model Kondisi *Hogging*

Model	Berat (ton)	Deformasi (mm)	Tegangan (MPa)	Momen Reaksi (kN.m)	Tegangan dan Deformasi	Berat	Momen Reaksi
Model 1 (Existing)	4.11	0.3012	26.32	459.83	-	-	-

Model	Berat (ton)	Deformasi (mm)	Tegangan (MPa)	Momen Reaksi (kN.m)	Tegangan dan Deformasi	Berat	Momen Reaksi
Model 2	4.00	0.3009	26.36	458.92	Lebih Optimal	Lebih Optimal	Tidak Optimal
Model 3	4.28	0.2996	27.04	482.55	Lebih Optimal	Tidak Optimal	Lebih Optimal
Model 4	4.39	0.3008	25.93	504.12	Lebih Optimal	Tidak Optimal	Lebih Optimal
Model 5	4.29	0.3017	25.97	503.22	Tidak Optimal	Tidak Optimal	Lebih Optimal
Model 6	4.57	0.3005	26.59	527.04	Lebih Optimal	Tidak Optimal	Lebih Optimal
Model 7	4.68	0.3027	25.61	548.32	Tidak Optimal	Tidak Optimal	Lebih Optimal
Model 8	4.58	0.3024	25.66	547.42	Tidak Optimal	Tidak Optimal	Lebih Optimal
Model 9	4.86	0.3013	26.22	571.40	Tidak Optimal	Tidak Optimal	Lebih Optimal

Tabel 5.19 Hasil Evaluasi Seluruh Variasi Model Kondisi *Sagging*

Model	Berat (ton)	Deformasi (mm)	Tegangan (MPa)	Momen Reaksi (kN.m)	Tegangan dan Deformasi	Berat	Momen Reaksi
Model 1 (Existing)	4.11	0.2852	24.94	435.35	-	-	-
Model 2	4.00	0.2850	24.97	434.49	Lebih Optimal	Lebih Optimal	Tidak Optimal
Model 3	4.28	0.2837	25.62	456.86	Lebih Optimal	Tidak Optimal	Tidak Optimal
Model 4	4.39	0.2860	24.57	477.29	Lebih Optimal	Tidak Optimal	Lebih Optimal
Model 5	4.29	0.2857	24.60	476.45	Lebih Optimal	Tidak Optimal	Lebih Optimal
Model 6	4.57	0.2846	25.19	498.99	Lebih Optimal	Tidak Optimal	Lebih Optimal
Model 7	4.68	0.2866	24.26	519.15	Lebih Optimal	Tidak Optimal	Lebih Optimal
Model 8	4.58	0.2864	24.30	518.30	Lebih Optimal	Tidak Optimal	Lebih Optimal
Model 9	4.86	0.2853	24.84	541.00	Lebih Optimal	Tidak Optimal	Lebih Optimal

Dari hasil evaluasi tersebut dapat disimpulkan bahwa Model 2 merupakan model yang memenuhi dua dari tiga kriteria secara bersamaan. Model 2 memiliki berat lebih ringan dari Model 1 (*Existing*), serta deformasi dan tegangan yang tidak jauh berbeda. Meskipun nilai momen reaksinya sedikit lebih rendah, dengan selisih lumayan kecil yaitu sekitar 0.6%.

Model – model lain menunjukkan performa kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi, namun disertai dengan peningkatan berat yang cukup signifikan. Oleh karena itu, berdasarkan efisiensi struktur Model 2 memiliki kelebihan dengan desain yang cukup kuat namun ringan untuk dijadikan alternatif pada struktur sekat memanjang.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan numrtik dan analisis variasi desain struktur sekat memanjang kapal tannker akibat momen lentur serta pengembangan antarmuka grafis untuk mendukung otomatisasi pemodelan strukutr, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Pembebanan momen lentur yang direpresentasikan melalui sudut rotasi pada *Reference Point* (RP) berhasil merepresentasikan kondisi *hogging* dan *sagging* secara lokal. Variasi geometri pelat dan penegar berpengaruh signifikan terhadap tegangan, deformasi, momen reaksi dan berat struktur. Peningkatan dimensi pelat dan penegar cenderung menurunkan tegangan dan deformasi, namun meningkatkan berat struktur dan momen reaksi.
2. Perancangan *Graphical User Interface* (GUI) dilakukan menggunakan *Really Simple GUI (RSG) Builder* pada perangkat lunak ABAQUS. GUI ini memungkinkan otomatisasi pemodelan sekat memanjang dengan memasukkan parameter desain yang sesuai, sehingga proses pemodelan menjadi lebih cepat, konsisten dan minim kesalahan *input manual*.
3. Dari sembilan variasi model yang dianalisis, Model 2 dipilih sebagai desain optimum karena memenuhi seluruh kriteria evaluasi teknis, dimana nilai tegangan maksimum sebesar 26,32 MPa (*Hogging*) dan 24,97 (*Sagging*), deformasi sebesar 0,3009 mm (*Hogging*) dan 0,2852 mm (*Sagging*) yang keduanya jauh dibawah batas izin. Selain itu Model 2 memiliki berat struktur yang paling ringan yaitu sebesar 4 ton, meskipun momen reaksinya lebih rendah dibandingkan model dasar. Hal ini menjadikan Model 2 menjadi alternatif desain yang efisien.

6.2. Saran

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan yang telah diperoleh, terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk pengembangan penelitian selanjutnya

1. Penelitian ini menggunakan pendekatan pembebanan statis lokal sebagai representasi kondisi kerja struktur. Namun, dalam kondisi operasional sebenarnya, struktur kapal mengalami berbagai jenis pembebanan, termasuk beban dinamis akibat gelombang dan

gerakan kapal. Oleh karena itu, untuk memperoleh evaluasi yang lebih komprehensif terhadap kinerja berbagai tipe profil penegar, penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mempertimbangkan variasi pembebanan dinamis

2. Antarmuka GUI yang telah dikembangkan dapat ditingkatkan lebih lanjut dengan menambahkan fitur ekspor hasil otomatis, integrasi evaluasi hasil tegangan dan deformasi secara visual, serta kemampuan menyimpan riwayat perhitungan. Hal ini akan membuat GUI lebih komprehensif dan mendukung proses pengambilan keputusan desain yang lebih cepat dan akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, K. (2009). *DIKTAT KULIAH MATERIAL TEKNIK*. Yogyakarta: UNIVERSITAS AHMAD DAHLAN YOGYAKARTA.
- Amrinsyah. (2013). *MEKANIKA KEKUATAN MATERIAL*. Medan: UNIVERSITAS MEDAN AREA.
- Ardianus. (2017). ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI SEKAT MELINTANG KAPAL TANKER DENGAN METODE ELEMEN HINGGA. *Tugas Akhir*.
- Arianto, P. Y., Sulisetyono, A., & Putranto, T. (2016). Analisis Tegangan Akibat Beban Gelombang pada Struktur Kapal Perang Tipe Corvette. *JURNAL TEKNIK ITS*.
- Arini, R. N., & Pradana, R. (2021). ANALISA TEGANGAN REGANGAN PADA BALOK DENGAN MENGGUNAKAN . *Jurnal Artesis*.
- Arly Masneti. (2022). ANALISIS KEKUATAN VARIASI LONGITUDINAL BULKHEAD AREA RUANG MUAT KAPAL SPOB SALRA 115 DENGAN METODE ELEMEN HINGGA (FEM). *Thesis*.
- Cowell, N. L. (1969). *DYNAMIC TESTS ON SELECTED STRUCTURAL*. California: DEFENSE ATOMIC SUPPORT AGENCY.
- Eyres, D. J., & Bruce, G. J. (2012). *Ship Construction Seventh edition*. United States: Elsevier.
- Galitz, W. O. (2007). *The Essential Guide to User Interface Design An Introduction to GUI Design Principles and Techniques Third Edition*. Indianapolis, Indiana: Wiley Publishing.
- Indonesia, B. K. (2022). *Peraturan Klasifikasi dan Konstruksi Bagian 1 Kapal Samudra Voulme II Peraturan Lambung*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Isworo, H. (2018). *MEKANIKA KEKUATAN MATERIAL I*. Banjarmasin: UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT.
- Kristiana, V. (2020). ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI LAMBUNG KAPAL MOTOR PENYEBERANGAN (KMP) TIPE RO-RO HASIL DARI KONVERSI LANDING CRAFT TANK (LCT). *Tugas Akhir*.
- Logan, D. L. (2012). *A First Course in the Finite Element Method, Fifth Edition*. United States of America: Cengage Learning.
- Mubarak, A. A., Sitepu, G., & Alie, M. Z. (2018). Kekuatan Batas Lambung Kapal dalam Menahan Momen Lentur Vertikal. *Jurnal Penelitian Enjiniring, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin* , 56-61.
- Muchammad, R., Jokosisworo, S., & Santosa, A. W. (2024). Pengaruh Kuat Arus dan Jenis Elektroda dengan Kandungan Nikel Terhadap Sifat Mekanis Baja Kapal Grade A pada Pengelasan FCAW. *Jurnal Teknik Perkapalan* .
- Pradana, A. G., Zakk, A. F., Mulyatno, I. P., & Firdaus, A. (2022). Analisa Respon Struktur Kapal Oil Tanker 6500 DWT Akibat Beban Tekuk, Geser dan Puntir. *Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro*, 11 -21.
- Pramono, D. R., Imron, A., & Misbah, M. N. (2016). Analisa Kekuatan Memanjang Floating Dock Konversi Dari Tongkang dengan Metode Elemen Hingga. *JURNAL TEKNIK ITS, V(2)*, G148 - G152.
- Prihastomo, Y., & Winanti. (2024). TREN PERKEMBANGAN GRAPHICAL USER INTERFACE MELALUI PERMOHONAN DESAIN INDUSTRI DI INDONESIA. *JOCE IP*, 93-100.

- SALIM, A. A. (2018). *STUDI NUMERIK DAN EKSPERIMENTAL DISTRIBUSI TEGANGAN-REGANGAN BAJA*. Malang: UNIVERSITAS BRAWIJAYA.
- Sanjaya, & Dwi, D. (2017). *ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI WING TANK KAPAL TANKER MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA*.
- Sanjaya, D. D. (2017). *ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI WING TANK KAPAL TANKER MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA*.
- Siagian, J. M., Zakki, A. F., & Iqbal, M. (2020). Kajian Kekuatan Struktur dan Buckling pada Livestock Carrier Catamaran 1500 DWT dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Perkapalan*.
- Societies, I. A. (2024). *Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers*. International Association of Classification Societies.
- Sofi'i, M., & Djaja, I. K. (2008). *TEKNIK KONTRUKSI KAPAL BAJA JILID 1*. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Tata, A., Kusnadi, B, S., & Darwis, M. (2022). Pengenalan Dan Pelatihan Computer Aided Engineering Menggunakan Software Abaqus Bagi Karyawan Konsultan Di Maluku Utara. *Journal Of Khairun Community Services (JKC)*, 2(1).

LAMPIRAN

Lampiran A *Script Code* Pembuatan Model Sekat Memanjang
Lampiran B Perhitungan *Bending Moment*
Lampiran C Visualisasi *Von Mises Stress* dan Deformasi

LAMPIRAN A

SCRIPT CODE PEMBUATAN MODEL SEKAT MEMANJANG

```
from abaqus import *
from abaqusConstants import *
import regionToolset
from datetime import datetime

def BulkheadLongitudinalFix(nama_model, panjang_pelat, lebar_pelat,
tebal_pelat, panjang_web_L, panjang_face_L, tebal_profile_L, panjang_web_T,
panjang_face_T, tebal_profile_T, density_value, modulus_young,
poisson_ratio, ukuran_mesh, load_value):

# Membuat nama model
mdb.Model(name=nama_model, modelType=STANDARD_EXPLICIT)
# Membuat set model untuk Plate
s1 = mdb.models[nama_model].ConstrainedSketch(name='__profile__',
sheetSize=30.0)
g, v, d, c = s1.geometry, s1.vertices, s1.dimensions, s1.constraints
s1.setPrimaryObject(option=STANDALONE)
# Membuat Plate
s1.Line(point1=(0.0, 0.0), point2=(lebar_pelat, 0.0))
p = mdb.models[nama_model].Part(name='Bulkhead_Plate',
dimensionality=THREE_D,
type=DEFORMABLE_BODY)
p = mdb.models[nama_model].parts['Bulkhead_Plate']
p.BaseShellExtrude(sketch=s1, depth=panjang_pelat)
s1.unsetPrimaryObject()
p = mdb.models[nama_model].parts['Bulkhead_Plate']
session.viewports['Viewport: 1'].setValues(displayedObject=p)
del mdb.models[nama_model].sketches['__profile__']
# Membuat set model untuk Profile T Tranverse
s = mdb.models[nama_model].ConstrainedSketch(name='__profile__',
sheetSize=1.0)
g, v, d, c = s.geometry, s.vertices, s.dimensions, s.constraints
s.setPrimaryObject(option=STANDALONE)

# Membuat Profile T Tranverse
setengah_face = panjang_face_T/2

s.Line(point1=(0.0, 0.0), point2=(0.0, -panjang_web_T))
s.VerticalConstraint(entity=g[2], addUndoState=False)
s.Line(point1=(-setengah_face, -panjang_web_T), point2=(setengah_face, -
panjang_web_T))
s.HorizontalConstraint(entity=g[3], addUndoState=False)
p = mdb.models[nama_model].Part(name='T_Transverse', dimensionality=THREE_D,
type=DEFORMABLE_BODY)
p = mdb.models[nama_model].parts['T_Transverse']
p.BaseShellExtrude(sketch=s, depth=lebar_pelat)
s.unsetPrimaryObject()
p = mdb.models[nama_model].parts['T_Transverse']
session.viewports['Viewport: 1'].setValues(displayedObject=p)
del mdb.models[nama_model].sketches['__profile__']
```

```

# Membuat set model untuk Profile T Stringer
s = mdb.models[nama_model].ConstrainedSketch(name='__profile__',
sheetSize=1.0)
g, v, d, c = s.geometry, s.vertices, s.dimensions, s.constraints
s.setPrimaryObject(option=STANDALONE)

# Membuat Profile T Stringer
setengah_face_stringer = 0.150/2

s.Line(point1=(0.0, 0.0), point2=(0.0, -0.375))
s.VerticalConstraint(entity=g[2], addUndoState=False)
s.Line(point1=(-setengah_face_stringer, -0.375),
point2=(setengah_face_stringer, -0.375))
s.HorizontalConstraint(entity=g[3], addUndoState=False)
p = mdb.models[nama_model].Part(name='Stringer', dimensionality=THREE_D,
type=DEFORMABLE_BODY)
p = mdb.models[nama_model].parts['Stringer']

p.BaseShellExtrude(sketch=s, depth=panjang_pelat)
s.unsetPrimaryObject()
p = mdb.models[nama_model].parts['Stringer']
session.viewports['Viewport: 1'].setValues(displayedObject=p)
del mdb.models[nama_model].sketches['__profile__']

# Membuat profile L1
#membuat set model L1
s1 = mdb.models[nama_model].ConstrainedSketch(name='__profile__',
sheetSize=1.0)
g, v, d, c = s1.geometry, s1.vertices, s1.dimensions, s1.constraints
s1.setPrimaryObject(option=STANDALONE)

#membuat Profile L1
s1.Line(point1=(0.0, 0.0), point2=(0.0, -panjang_web_L))
s1.VerticalConstraint(entity=g[2], addUndoState=False)
s1.Line(point1=(0.0, -panjang_web_L), point2=(-panjang_web_L, -
panjang_face_L))
s1.HorizontalConstraint(entity=g[3], addUndoState=False)
s1.PerpendicularConstraint(entity1=g[2], entity2=g[3],
addUndoState=False)
p = mdb.models[nama_model].Part(name='Part-2-L1',
dimensionality=THREE_D,
type=DEFORMABLE_BODY)
p = mdb.models[nama_model].parts['Part-2-L1']
p.BaseShellExtrude(sketch=s1, depth=panjang_pelat)
s1.unsetPrimaryObject()
p = mdb.models[nama_model].parts['Part-2-L1']
session.viewports['Viewport: 1'].setValues(displayedObject=p)
del mdb.models[nama_model].sketches['__profile__']

# Membuat profile L2
# Membuat set model untuk Profile L2
s1 = mdb.models[nama_model].ConstrainedSketch(name='__profile__',
sheetSize=1.0)
g, v, d, c = s1.geometry, s1.vertices, s1.dimensions, s1.constraints
s1.setPrimaryObject(option=STANDALONE)

#membuat Profile L2
s1.Line(point1=(0.0, 0.0), point2=(0.0, -panjang_web_L))
s1.VerticalConstraint(entity=g[2], addUndoState=False)

```

```

s1.Line(point1=(0.0,      -panjang_web_L),      point2=(-panjang_web_L,      -
panjang_face_L))
s1.HorizontalConstraint(entity=g[3], addUndoState=False)
s1.PerpendicularConstraint(entity1=g[2], entity2=g[3], addUndoState=False)
p = mdb.models[nama_model].Part(name='Part-2-L2', dimensionality=THREE_D,
type=DEFORMABLE_BODY)
p = mdb.models[nama_model].parts['Part-2-L2']
p.BaseShellExtrude(sketch=s1, depth=panjang_pelat)
s1.unsetPrimaryObject()
p = mdb.models[nama_model].parts['Part-2-L2']
session.viewports['Viewport: 1'].setValues(displayedObject=p)
del mdb.models[nama_model].sketches['__profile__']

# Membuat profile L3
# Membuat set model untuk Profile L3
s1 = mdb.models[nama_model].ConstrainedSketch(name='__profile__',
sheetSize=1.0)
g, v, d, c = s1.geometry, s1.vertices, s1.dimensions, s1.constraints
s1.setPrimaryObject(option=STANDALONE)
#membuat Profile L3
s1.Line(point1=(0.0, 0.0), point2=(0.0, -panjang_web_L))
s1.VerticalConstraint(entity=g[2], addUndoState=False)
s1.Line(point1=(0.0,      -panjang_web_L),      point2=(-panjang_web_L,      -
panjang_face_L))
s1.HorizontalConstraint(entity=g[3], addUndoState=False)
s1.PerpendicularConstraint(entity1=g[2], entity2=g[3], addUndoState=False)
p = mdb.models[nama_model].Part(name='Part-2-L3', dimensionality=THREE_D,
type=DEFORMABLE_BODY)
p = mdb.models[nama_model].parts['Part-2-L3']
p.BaseShellExtrude(sketch=s1, depth=panjang_pelat)
s1.unsetPrimaryObject()
p = mdb.models[nama_model].parts['Part-2-L3']
session.viewports['Viewport: 1'].setValues(displayedObject=p)
del mdb.models[nama_model].sketches['__profile__']

# Membuat material Baja
session.viewports['Viewport:
1'].partDisplay.setValues(sectionAssignments=ON,
engineeringFeatures=ON)
session.viewports['Viewport:
1'].partDisplay.geometryOptions.setValues(\
referenceRepresentation=OFF)
mdb.models[nama_model].Material(name='Steel')

# For density (single value needs tuple with comma)
mdb.models[nama_model].materials['Steel'].Density(table=((density_value, ),
))
# For elastic properties (already correct if variables are numbers)
mdb.models[nama_model].materials['Steel'].Elastic(table=((modulus_young,
poisson_ratio), ))
# For plastic properties (already correct if variables are numbers)
mdb.models[nama_model].materials['Steel'].Plastic(table=((250000000,
0.000),
(270963950.1, 0.01186),
(288959265.9, 0.025),
(346206433.2, 0.045),
(374995491.1, 0.065),
(404101707.8, 0.105),
(412637416.9, 0.125),
(417908458.7, 0.145),

```

```

(421235178.9, 0.165),
(423638001.7, 0.185),
(425341006.7, 0.205),
(426292483.2, 0.225),
(426475194.2, 0.245),
(425596112.7, 0.265),
(422314208.4, 0.285),
(417305167.4, 0.305),
(409465828.7, 0.325),
(395476366.8, 0.345),
(374057804.1, 0.365),
(344682691.9, 0.385)))
# Membuat section untuk top plate, bottom plate dan profil
mdb.models[nama_model].HomogeneousShellSection(name='Bulkhead_Plate',
preIntegrate=OFF,
material='Steel', thicknessType=UNIFORM, thickness=tebal_pelat,
thicknessField='', nodalThicknessField='',
idealization=NO_IDEALIZATION, poissonDefinition=DEFAULT,
thicknessModulus=None, temperature=GRADIENT, useDensity=OFF,
integrationRule=SIMPSON, numIntPts=5)
mdb.models[nama_model].HomogeneousShellSection(name='T_Transverse',
preIntegrate=OFF, material='Steel', thicknessType=UNIFORM,
thickness=tebal_profile_T, thicknessField='', nodalThicknessField='',
idealization=NO_IDEALIZATION, poissonDefinition=DEFAULT,
thicknessModulus=None, temperature=GRADIENT, useDensity=OFF,
integrationRule=SIMPSON, numIntPts=5)
mdb.models[nama_model].HomogeneousShellSection(name='Stringer',
preIntegrate=OFF, material='Steel', thicknessType=UNIFORM,
thickness=0.01, thicknessField='', nodalThicknessField='',
idealization=NO_IDEALIZATION, poissonDefinition=DEFAULT,
thicknessModulus=None, temperature=GRADIENT, useDensity=OFF,
integrationRule=SIMPSON, numIntPts=5)
mdb.models[nama_model].HomogeneousShellSection(name='Part-2-L1',
preIntegrate=OFF, material='Steel', thicknessType=UNIFORM,
thickness=tebal_profile_L, thicknessField='', nodalThicknessField='',
idealization=NO_IDEALIZATION, poissonDefinition=DEFAULT,
thicknessModulus=None, temperature=GRADIENT, useDensity=OFF,
integrationRule=SIMPSON, numIntPts=5)
mdb.models[nama_model].HomogeneousShellSection(name='Part-2-L2',
preIntegrate=OFF, material='Steel', thicknessType=UNIFORM,
thickness=tebal_profile_L, thicknessField='', nodalThicknessField='',
idealization=NO_IDEALIZATION, poissonDefinition=DEFAULT,
thicknessModulus=None, temperature=GRADIENT, useDensity=OFF,
integrationRule=SIMPSON, numIntPts=5)

mdb.models[nama_model].HomogeneousShellSection(name='Part-2-L3',
preIntegrate=OFF, material='Steel', thicknessType=UNIFORM,
thickness=tebal_profile_L, thicknessField='', nodalThicknessField='',
idealization=NO_IDEALIZATION, poissonDefinition=DEFAULT,
thicknessModulus=None, temperature=GRADIENT, useDensity=OFF,
integrationRule=SIMPSON, numIntPts=5)
# Memasukkan tebal di plate
p = mdb.models[nama_model].parts['Bulkhead_Plate']
f = p.faces
faces = f.getSequenceFromMask(mask=('[#1 ]', ), )
region = p.Set(faces=faces, name='Bulkhead_Plate')
p = mdb.models[nama_model].parts['Bulkhead_Plate']
p.SectionAssignment(region=region, sectionName='Bulkhead_Plate', offset=0.0,
offsetType=MIDDLE_SURFACE, offsetField='',
thicknessAssignment=FROM_SECTION)

```

```

# Memasukkan tebal di Profile T Transverse
p = mdb.models[nama_model].parts['T_Transverse']
f = p.faces
faces = f.getSequenceFromMask(mask=('[#7 ]', ), )
region = p.Set(faces=faces, name='T_Transverse')
p = mdb.models[nama_model].parts['T_Transverse']
p.SectionAssignment(region=region, sectionName='T_Transverse', offset=0.0,
offsetType=MIDDLE_SURFACE, offsetField='',
thicknessAssignment=FROM_SECTION)

# Memasukkan tebal di Profile T Stringer
p = mdb.models[nama_model].parts['Stringer']
f = p.faces
faces = f.getSequenceFromMask(mask=('[#7 ]', ), )
region = p.Set(faces=faces, name='Stringer')
p = mdb.models[nama_model].parts['Stringer']
p.SectionAssignment(region=region, sectionName='Stringer', offset=0.0,
offsetType=MIDDLE_SURFACE, offsetField='',
thicknessAssignment=FROM_SECTION)

# Memasukkan tebal di Profile L1
p = mdb.models[nama_model].parts['Part-2-L1']
f = p.faces
faces = f.getSequenceFromMask(mask=('[#3 ]', ), )
region = p.Set(faces=faces, name='Part-2-L1')
p = mdb.models[nama_model].parts['Part-2-L1']
p.SectionAssignment(region=region, sectionName='Part-2-L1', offset=0.0,
offsetType=MIDDLE_SURFACE, offsetField='',
thicknessAssignment=FROM_SECTION)
# Memasukkan tebal di Profile L2
p = mdb.models[nama_model].parts['Part-2-L2']
f = p.faces
faces = f.getSequenceFromMask(mask=('[#3 ]', ), )
region = p.Set(faces=faces, name='Part-2-L2')
p = mdb.models[nama_model].parts['Part-2-L2']
p.SectionAssignment(region=region, sectionName='Part-2-L2', offset=0.0,
offsetType=MIDDLE_SURFACE, offsetField='',
thicknessAssignment=FROM_SECTION)
# Memasukkan tebal di Profile L3
p = mdb.models[nama_model].parts['Part-2-L3']
f = p.faces
faces = f.getSequenceFromMask(mask=('[#3 ]', ), )
region = p.Set(faces=faces, name='Part-2-L3')
p = mdb.models[nama_model].parts['Part-2-L3']
p.SectionAssignment(region=region, sectionName='Part-2-L3', offset=0.0,
offsetType=MIDDLE_SURFACE, offsetField='',
thicknessAssignment=FROM_SECTION)

# Menggabungkan part dalam assembly
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
session.viewports['Viewport: 1'].setValues(displayedObject=a)
session.viewports['Viewport: 1'].assemblyDisplay.setValues(
optimizationTasks=OFF, geometricRestrictions=OFF, stopConditions=OFF)

# Memasukkan part plate
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
a.DatumCsysByDefault(CARTESIAN)
p = mdb.models[nama_model].parts['Bulkhead_Plate']
a.Instance(name='Bulkhead_Plate-1', part=p, dependent=OFF)

```

```

# Menempatkan profile T Transverse dengan posisi awal berdasarkan
jarak_profile_T
start_position_T = 2 # Posisi awal untuk profile T
Transverse_instances = [] # List untuk menyimpan nama semua instance
tranverse
# Menempatkan profile T Transverse pertama dan menempatkannya pada Bulkhead
Plate
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
p = mdb.models[nama_model].parts['T_Transverse']
a.Instance(name='T_Transverse-1', part=p, dependent=OFF)
Transverse_instances.append('T_Transverse-1') # Tambahkan nama instance ke
list
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
a.rotate(instanceList=('T_Transverse-1', ), axisPoint=(0.0, 0.0, 0.0),
axisDirection=(0.0, 10.0, 0.0), angle=270.0)

# Memindahkan part Profile T Transverse ke posisi awal sesuai jarak_profile_T
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
a.translate(instanceList=('T_Transverse-1', ), vector=(lebar_pelat, 0.0,
start_position_T))
# Jika jumlah profile T Transverse lebih dari 1, buat pola linear
if 5 > 1:
# Menambahkan profile T dengan jarak yang ditentukan (mulai dari profil kedua)
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
a.LinearInstancePattern(instanceList=('T_Transverse-1', ),
direction1=(0.0, 0.0, 1.0), direction2=(0.0, 1.0, 0.0),
number1=5 - 1, number2=1,
spacing1=2, spacing2=1.0)
# Tambahkan instance pattern ke list
for i in range(2, 5 + 1):
instance_name = 'T_Transverse-1-lin-{}-1'.format(i)
Transverse_instances.append(instance_name)

# Menempatkan profile T Stringer dengan posisi awal berdasarkan z_stringer
start_position_stringer = 2 # Posisi awal untuk stringer
stringer_instances = [] # List untuk menyimpan nama semua instance stringer
# Menempatkan profile T Stringer pertama pada posisi Bulkhead Plate
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
p = mdb.models[nama_model].parts['Stringer']
a.Instance(name='Stringer-1', part=p, dependent=OFF)
stringer_instances.append('Stringer-1') # Tambahkan nama instance ke list

a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
a.rotate(instanceList=('Stringer-1', ), axisPoint=(0.0, 0.0, 0.0),
axisDirection=(0.0, 10.0, 0.0), angle=180.0)
# Memindahkan part Profile T Stringer ke posisi awal sesuai jarak_stringer
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
a.translate(instanceList=('Stringer-1', ), vector=(start_position_stringer,
0.0, panjang_pelat))

# Jika jumlah profile T Stringer lebih dari 1, buat pola linear
if 2 > 1:
# Menambahkan profile T Stringer dengan jarak yang ditentukan (mulai dari
profil kedua)
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
a.LinearInstancePattern(instanceList=('Stringer-1', ),
direction1=(1.0, 0.0, 0.0), direction2=(0.0, 1.0, 0.0),
number1=1 - 1, number2=1,
spacing1=2, spacing2=1.0)
# Tambahkan instance pattern ke list

```

```

for i in range(2, 2 + 1):
    instance_name = 'Stringer-1-lin-{}-1'.format(i)
    stringer_instances.append(instance_name)
    # Menempatkan profile L1 dengan logika yang benar
    start_position_L1 = 0.5
    L1_positions = []
    instance_count_L1 = 1

    # Hitung jumlah maksimum profil L1 yang bisa ditempatkan sebelum stringer
    # Menggunakan strict inequality untuk memastikan profil L1 tidak berada tepat
    di posisi stringer
    max_position = 2 - 0.5
    num_L1_profiles = int(max_position/0.5)

    # Menempatkan profile L1
    a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
    p = mdb.models[nama_model].parts['Part-2-L1']

    for i in range(num_L1_profiles):
        position = start_position_L1 + i * 0.5
        # Memastikan posisi tidak melewati stringer (strict inequality)
        if position >= 2:
            break
        instance_name = 'Part-2-L1-' + str(instance_count_L1)
        a.Instance(name=instance_name, part=p, dependent=OFF)
        a.translate(instanceList=(instance_name,), vector=(position, 0.0, 0.0))

    L1_positions.append(position)
    instance_count_L1 += 1
    # Menempatkan profile L2 dengan logika yang benar
    start_position_L2 = 2 + 0.5 # Posisi profil L2 pertama setelah stringer
    L2_positions = []
    instance_count_L2 = 1

    # Menempatkan profile L2 sesuai jumlah yang diminta
    a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
    p = mdb.models[nama_model].parts['Part-2-L2']
    # Menentukan batas maksimum penempatan L2
    lebar_region = lebar_pelat - 2
    num_L2_profiles = int(min(2 , lebar_region / 0.5))

    for i in range(num_L2_profiles):
        position = 2 + (i + 1) * 0.5

    # Memastikan posisi tidak melewati lebar plate
    if position >= lebar_pelat:
        break

    instance_name = 'Part-2-L2-' + str(instance_count_L2)
    a.Instance(name=instance_name, part=p, dependent=OFF)
    a.translate(instanceList=(instance_name,), vector=(position, 0.0, 0.0))
    L2_positions.append(position)
    instance_count_L2 += 1
    # Menempatkan profile L3 dengan logika yang benar
    # Menghitung posisi L2 terakhir
    if len(L2_positions) > 0:
        last_L2_position = L2_positions[-1] # Mengambil posisi L2 terakhir dari
        array posisi
    else:
        # Jika tidak ada L2, gunakan posisi stringer sebagai referensi

```

```

last_L2_position = 2

# Posisi awal L3 dihitung dari posisi L2 terakhir + jarak_profile_L3
start_position_L3 = last_L2_position + 0.4

L3_positions = []
instance_count_L3 = 1

# Menentukan batas maksimum penempatan L3
remaining_width = lebar_pelat - start_position_L3
max_L3_possible = int(remaining_width / 0.4) + 1 # +1 untuk L3 pertama
num_L3_profiles = min(2, max_L3_possible)

# Menempatkan profile L3 sesuai jumlah yang diminta
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
p = mdb.models[nama_model].parts['Part-2-L3']

for i in range(num_L3_profiles):
    position = start_position_L3 + i * 0.4

    # Memastikan posisi tidak melewati lebar plate
    if position >= lebar_pelat:
        break

    instance_name = 'Part-2-L3-' + str(instance_count_L3)
    a.Instance(name=instance_name, part=p, dependent=OFF)
    a.translate(instanceList=(instance_name,), vector=(position, 0.0, 0.0))
    L3_positions.append(position)
    instance_count_L3 += 1

# ===== MESH PARAMETERS =====
# Define mesh parameters
ukuran_mesh = ukuran_mesh # Mesh size
faktor_deviiasi = 0.1 # Deviation factor
ukuran_minimum = 0.1 # Minimum size factor

# Get assembly
m = mdb.models[nama_model]
a = m.rootAssembly

# ===== MESHING SECTION =====
print("Starting meshing process...")
# First get all instance names
instance_names = a.instances.keys()
print("Instances to mesh: %s" % str(instance_names))

# Create a list of the instances we want to mesh
instances_to_mesh = []
for name in instance_names:
    instances_to_mesh.append(a.instances[name])

# Generate mesh for all instances
a.seedPartInstance(regions=instances_to_mesh, size=ukuran_mesh,
                   deviationFactor=faktor_deviiasi,
                   minSizeFactor=ukuran_minimum)
a.generateMesh(regions=instances_to_mesh)

print("Meshing completed!")

# ===== MESH INFORMATION FUNCTIONS =====

```

```

def getMeshInfo(nama_model):
    """Get comprehensive mesh information"""
    print("="*60)
    print("MESH CONVERGENCE STUDY INFORMATION")
    print("="*60)

    total_elements = 0
    total_nodes = 0

    # Get assembly
    assembly = mdb.models[nama_model].rootAssembly

    # Information for each instance
    print("\nMesh Information per Instance:")
    print("-" * 50)

    for instance_name in assembly.instances.keys():
        instance = assembly.instances[instance_name]

        # Get mesh information for this instance
        num_elements = len(instance.elements)
        num_nodes = len(instance.nodes)

        print("Instance: %s" % instance_name)
        print("  Elements: %d" % num_elements)
        print("  Nodes: %d" % num_nodes)

        # Add to total
        total_elements += num_elements
        total_nodes += num_nodes

    # Get element types information
    if num_elements > 0:
        element_types = {}
        for element in instance.elements:
            elem_type = element.type
            if elem_type in element_types:
                element_types[elem_type] += 1
            else:
                element_types[elem_type] = 1
        print("  Element Types:")
        for elem_type, count in element_types.items():
            print("    %s: %d" % (elem_type, count))

        print()

    # Total information
    print("="*30)
    print("TOTAL MESH INFORMATION")
    print("="*30)
    print("Total Elements: %d" % total_elements)
    print("Total Nodes: %d" % total_nodes)
    print("Mesh Size: %.4f" % ukuran_mesh)
    print("Deviation Factor: %.4f" % faktor_deviiasi)
    print("Minimum Size Factor: %.4f" % ukuran_minimum)

    return total_elements, total_nodes

def getElementCount(nama_model):

```

```

        """Simple function to get total element count for convergence
study"""
        total_elements = 0
        assembly = mdb.models[nama_model].rootAssembly

        for instance_name in assembly.instances.keys():
            instance = assembly.instances[instance_name]
            total_elements += len(instance.elements)

        print("Total Elements: %d (Mesh Size: %.6f)" % (total_elements,
ukuran_mesh))
        return total_elements

def saveMeshInfoToFile(nama_model,
filename='mesh_convergence_data.txt'):
    """Save mesh information to a text file for convergence study"""
    total_elements, total_nodes = getMeshInfo(nama_model)

    # Create timestamp
    timestamp = datetime.now().strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")

    try:
        with open(filename, 'a') as f:
            f.write("="*50 + "\n")
            f.write("Timestamp: %s\n" % timestamp)
            f.write("Mesh Size: %.6f\n" % ukuran_mesh)
            f.write("Total Elements: %d\n" % total_elements)
            f.write("Total Nodes: %d\n" % total_nodes)
            f.write("Deviation Factor: %.6f\n" % faktor_deviasi)
            f.write("Minimum Size Factor: %.6f\n" % ukuran_minimum)
            f.write("="*50 + "\n\n")

    print("Mesh information saved to: %s" % filename)
    except:
    print("Warning: Could not save to file. Continuing with analysis...")
    return total_elements, total_nodes

def performConvergenceStudy(nama_model, mesh_sizes,
filename='convergence_results.txt'):
    """Perform complete convergence study"""
    print("\n" + "="*60)
    print("STARTING CONVERGENCE STUDY")
    print("="*60)

    convergence_data = []

    # Clear previous results file
    try:
        with open(filename, 'w') as f:
            f.write("Mesh Convergence Study Results\n")
            f.write("="*40 + "\n")
            f.write("Mesh Size\tTotal Elements\tTotal Nodes\n")
            f.write("-"*40 + "\n")
    except:
        pass
    for i, mesh_size in enumerate(mesh_sizes):
        print("\nAnalyzing mesh size: %.4f (%d of %d)" % (mesh_size, i+1,
len(mesh_sizes)))

    # Update global mesh size

```

```

global ukuran_mesh
ukuran_mesh = mesh_size

# Re-mesh
try:
a.seedPartInstance(regions=instances_to_mesh, size=ukuran_mesh,
deviationFactor=faktor_deviiasi, minSizeFactor=ukuran_minimum)
    a.generateMesh(regions=instances_to_mesh)

# Get mesh information
total_elements, total_nodes = getMeshInfo(nama_model)
convergence_data.append((mesh_size, total_elements, total_nodes))

# Save individual result
try:
with open(filename, 'a') as f:
f.write("%.6f\t%d\t\t%d\n" % (mesh_size, total_elements, total_nodes))
except:
pass
except Exception as e:
print("Error with mesh size %.4f: %s" % (mesh_size, str(e)))
    continue

    # Display summary
    print("\n" + "="*60)
    print("CONVERGENCE STUDY SUMMARY")
    print("="*60)
    print("Mesh Size\tElements\tNodes\t\tElement Density")
    print("-" * 60)

    for mesh_size, elements, nodes in convergence_data:
        density = elements / (mesh_size**3) if mesh_size > 0 else 0
        print("%.6f\t%d\t\t%d\t\t%.0f" % (mesh_size, elements, nodes,
density))

    return convergence_data

# ===== EXECUTE MESH ANALYSIS =====
print("\n" + "="*80)
print("EXECUTING MESH INFORMATION ANALYSIS")
print("="*80)

# Get current mesh information
total_elements, total_nodes = getMeshInfo(nama_model)

# Save current mesh info to file
saveMeshInfoToFile(nama_model, 'current_mesh_info.txt')

# ===== CONVERGENCE STUDY (OPTIONAL) =====
# Uncomment the following section to perform convergence study

"""
# Define mesh sizes for convergence study (from coarse to fine)
mesh_sizes_for_study = [0.1, 0.08, 0.06, 0.04, 0.03, 0.02]

# Perform convergence study
convergence_results = performConvergenceStudy(nama_model,
mesh_sizes_for_study, 'convergence_study.txt')

# Analyze convergence (simple check)

```

```

print("\nConvergence Analysis:")
if len(convergence_results) >= 2:
    for i in range(1, len(convergence_results)):
        prev_elements = convergence_results[i-1][1]
        curr_elements = convergence_results[i][1]
        change_percent = abs(curr_elements - prev_elements) /
prev_elements * 100
        print("Mesh %.4f to %.4f: %.2f%% change in elements" %
            (convergence_results[i-1][0], convergence_results[i][0],
change_percent))
        """

#Constrain, Boundary Condition and Load

#Membuat Set Surface
#Set surface plate dan profil
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
s1 = a.instances['Bulkhead Plate-1'].faces
side1Faces1 = s1.getSequenceFromMask(mask=('[#1 ]', ), )
a.Surface(side1Faces=side1Faces1, name='Surf-Plate')
session.viewports['Viewport: 1'].view.setValues(session.views['User-
1'])

a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
s1 = a.instances['T_Transverse-1-lin-4-1'].faces
side12Faces1 = s1.getSequenceFromMask(mask=('[#1 ]', ), )
s2 = a.instances['T_Transverse-1-lin-3-1'].faces
side12Faces2 = s2.getSequenceFromMask(mask=('[#1 ]', ), )
s3 = a.instances['T_Transverse-1-lin-2-1'].faces
side12Faces3 = s3.getSequenceFromMask(mask=('[#1 ]', ), )
s4 = a.instances['T_Transverse-1'].faces
side12Faces4 = s4.getSequenceFromMask(mask=('[#1 ]', ), )
s5 = a.instances['Part-2-L1-1'].faces
side12Faces5 = s5.getSequenceFromMask(mask=('[#2 ]', ), )
s6 = a.instances['Part-2-L1-2'].faces
side12Faces6 = s6.getSequenceFromMask(mask=('[#2 ]', ), )
s7 = a.instances['Part-2-L1-3'].faces
side12Faces7 = s7.getSequenceFromMask(mask=('[#2 ]', ), )
s8 = a.instances['Stringer-1'].faces
side12Faces8 = s8.getSequenceFromMask(mask=('[#1 ]', ), )
s9 = a.instances['Part-2-L2-1'].faces
side12Faces9 = s9.getSequenceFromMask(mask=('[#2 ]', ), )
s10 = a.instances['Part-2-L2-2'].faces
side12Faces10 = s10.getSequenceFromMask(mask=('[#2 ]', ), )
s11 = a.instances['Part-2-L3-1'].faces
side12Faces11 = s11.getSequenceFromMask(mask=('[#2 ]', ), )
s12 = a.instances['Part-2-L3-2'].faces
side12Faces12 = s12.getSequenceFromMask(mask=('[#2 ]', ), )

a.Surface(side12Faces=side12Faces1+side12Faces2+side12Faces3+side12Faces4+\
    side12Faces5+side12Faces6+side12Faces7+side12Faces8+side12Faces9+\
    side12Faces10+side12Faces11+side12Faces12, name='Surf-Profile')
session.viewports['Viewport: 1'].assemblyDisplay.setValues(
    adaptiveMeshConstraints=ON)

#Membuat Step
mdb.models[nama_model].StaticStep(name='Step-Moment',
previous='Initial',
    maxNumInc=1000, initialInc=0.01, maxInc=0.01, nlgeom=ON)
session.viewports['Viewport: 1'].assemblyDisplay.setValues(step='Step-
Moment')

```

```

    session.viewports['Viewport:
1'].assemblyDisplay.setValues(interactions=ON,
    constraints=ON, connectors=ON, engineeringFeatures=ON,
adaptiveMeshConstraints=OFF)
#Membuat Tie Constrain
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
region1=a-surfaces['Surf-Plate']
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
region2=a-surfaces['Surf-Profile']
mdb.models[nama_model].Tie(name='Constraint-1',
    master=region1,
slave=region2,
positionToleranceMethod=COMPUTED, adjust=ON, tieRotations=ON,
constraintEnforcement=SURFACE_TO_SURFACE, thickness=ON)
#Membuat Coupling Constrain
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
e1 = a.instances['Bulkhead_Plate-1'].edges
a.ReferencePoint(point=a.instances['Bulkhead_Plate-1'].InterestingPoint(
edge=e1[0], rule=MIDDLE))
    session.viewports['Viewport: 1'].view.setValues(nearPlane=17.4627,
farPlane=25.4543, width=2.24224, height=1.02319, viewOffsetX=1.90075,
viewOffsetY=0.499943)
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
e11 = a.instances['Bulkhead_Plate-1'].edges
a.ReferencePoint(point=a.instances['Bulkhead_Plate-1'].InterestingPoint(
edge=e11[2], rule=MIDDLE))
session.viewports['Viewport: 1'].view.setValues(nearPlane=16.3688,
farPlane=26.5482, width=10.7184, height=4.89106, viewOffsetX=-0.377933,
viewOffsetY=1.02724)
session.viewports['Viewport: 1'].view.setValues(nearPlane=16.2926,
farPlane=26.6244, width=10.6685, height=4.8683, viewOffsetX=-0.305287,
viewOffsetY=0.0363583)
session.viewports['Viewport: 1'].view.setValues(nearPlane=16.5344,
farPlane=26.3826, width=8.45304, height=3.85734, viewOffsetX=-0.351221,
viewOffsetY=0.086315)
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
s1 = a.instances['Bulkhead_Plate-1'].edges
sidelEdges1 = s1.getSequenceFromMask(mask=('[#1 ]', ), )
a.Surface(sidelEdges=sidelEdges1, name='Surf-RP1')
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
s1 = a.instances['Bulkhead_Plate-1'].edges
sidelEdges1 = s1.getSequenceFromMask(mask=('[#4 ]', ), )
a.Surface(sidelEdges=sidelEdges1, name='Surf-RP2')
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
r1 = a.referencePoints
refPoints1=(r1[43], )
region1=regionToolset.Region(referencePoints=refPoints1)
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
region2=a-surfaces['Surf-RP1']
mdb.models[nama_model].Coupling(name='Constraint-2', controlPoint=region1,
surface=region2, influenceRadius=WHOLE_SURFACE, couplingType=KINEMATIC,
localCsys=None, u1=ON, u2=ON, u3=ON, ur1=ON, ur2=OFF, ur3=ON)
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
r1 = a.referencePoints
refPoints1=(r1[44], )
region1=regionToolset.Region(referencePoints=refPoints1)
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
s1 = a.instances['Bulkhead_Plate-1'].edges
sidelEdges1 = s1.getSequenceFromMask(mask=('[#4 ]', ), )
region2=regionToolset.Region(sidelEdges=sidelEdges1)
mdb.models[nama_model].Coupling(name='Constraint-3', controlPoint=region1,

```

```

surface=region2, influenceRadius=WHOLE_SURFACE, couplingType=KINEMATIC,
localCsys=None, u1=ON, u2=ON, u3=ON, url=ON, ur2=OFF, ur3=ON)
session.viewports['Viewport: 1'].assemblyDisplay.setValues(loads=ON, bcs=ON,
predefinedFields=ON, interactions=OFF, constraints=OFF,
engineeringFeatures=OFF)
#Menentukan Boundary Condition
#BC untuk Bottom
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
e1 = a.instances['Bulkhead_Plate-1'].edges
edges1 = e1.getSequenceFromMask(mask=('[#2 ]', ), )
region = regionToolset.Region(edges=edges1)
mdb.models[nama_model].DisplacementBC(name='BC-Bottom',
createStepName='Step-Moment', region=region, u1=0.0, u2=UNSET, u3=UNSET,
url=UNSET, ur2=UNSET, ur3=UNSET, amplitude=UNSET, fixed=OFF,
distributionType=UNIFORM, fieldName='', localCsys=None)
#BC
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
e1 = a.instances['Bulkhead_Plate-1'].edges
edges1 = e1.getSequenceFromMask(mask=('[#8 ]', ), )
region = regionToolset.Region(edges=edges1)
mdb.models[nama_model].DisplacementBC(name='BC-Deck', createStepName='Step-
Moment',
region=region, u1=0.0, u2=UNSET, u3=UNSET, url=UNSET, ur2=UNSET,
ur3=UNSET, amplitude=UNSET, fixed=OFF, distributionType=UNIFORM,
fieldName='', localCsys=None)
#Menambahkan Boundary Condition di RP1
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
r1 = a.referencePoints
refPoints1=(r1[43], )
region = regionToolset.Region(referencePoints=refPoints1)
mdb.models[nama_model].DisplacementBC(name='BC-RP1', createStepName='Step-
Moment',
region=region, u1=0.0, u2=0.0, u3=0.0, url=0.0, ur2=-load_value, ur3=0.0,
amplitude=UNSET, fixed=OFF, distributionType=UNIFORM, fieldName='',
localCsys=None)
#Menambahkan Boundary Condition di RP2
a = mdb.models[nama_model].rootAssembly
r1 = a.referencePoints
refPoints1=(r1[44], )
region = regionToolset.Region(referencePoints=refPoints1)
mdb.models[nama_model].DisplacementBC(name='BC-RP2',
createStepName='Step-Moment',
region=region, u1=0.0, u2=0.0, u3=0.0, url=0.0, ur2=load_value, ur3=0.0,
amplitude=UNSET, fixed=OFF, distributionType=UNIFORM, fieldName='',
localCsys=None)
session.viewports['Viewport: 1'].assemblyDisplay.setValues(loads=OFF,
bcs=OFF,
predefinedFields=OFF, connectors=OFF)
print("\n" + "="*80)
print("MODEL CREATION AND MESH ANALYSIS COMPLETED")
print("="*80)
print("Check the generated files:")
print("- current_mesh_info.txt: Current mesh information")
print("- convergence_study.txt: Convergence study results (if enabled)")
print("="*80)

```

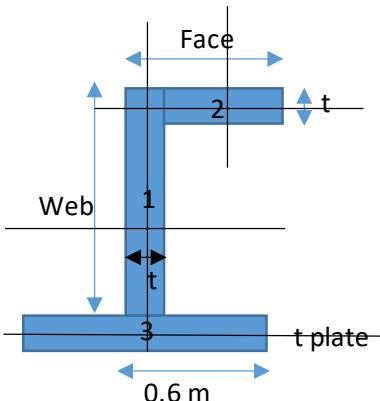
LAMPIRAN B

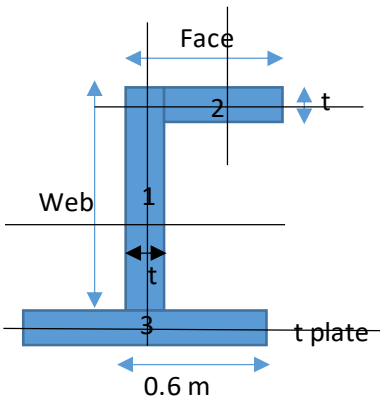
PERHITUNGAN BENDING MOMENT

a. Perhitungan Koefisien

perhitungan koefisien kapal									
Lpp	=	51.67	m						
B	=	11	m						
H	=	5.1	m						
T	=	4	m						
Vs	=	10	knot						
	=	5.14444	m/s						
ρ	=	1.025	ton/m ³						
Froude number(Fr)									
Lwl	=	104%*Lpp							
	=	53.7368	m						
Fr	=	$\frac{Vs}{\sqrt{g \cdot Lwl}}$							
	=	0.224							
Block Coefficient									
Cb	=	$-4.22 + 27.8 \sqrt{Fn} - 39.1 Fn + 46.6 Fn^3$							
	=	0.70255							
Midship Coefficients									
Cm	=	0.9+0.1*Cb							
	=	0.98632							
Waterplane Coefficient									
Cwp	=	$CB/(0.471 + 0.551*CB)$							
	=	0.81872							
Prismatic Coefficient									
CP	=	Cb/Cm							
	=	0.712							
Longitudinal Center of Bouyancy									
LCB (%)	=	9.70 - 45*Fn ± 0.8							
LCB max	=	0.41721 % LWL							
LCB min	=	-1.18279 % LWL							
LCB yg diambil	=	1.9 % LWL							
LCb from Midship	=	$LWL*(LCB(\%)) / 100$							
	=	1.021 m							
LCB dari AP	=	LPP/2+LCB dari Midship							
	=	26.856 m							
Volume Displasemen									
∇	=	L*B*T*CB							
	=	1661.12	m ³						
Displacement									
Δ	=	L*B*T*CB* ρ							
	=	1702.65	Ton						
Wave Coefficient									
Cw	=	$[L/25 + 4.1]*Crw$							
	=	5.55012							

b. Perhitungan Modulus Profile L (Penegar Memanjang Sekat)

Modulus Profil L								
	W =	Ixx/ymax						
	I =	bd ³ /12						
					Size	Thickness		
					Web (1)	90	9	
					Face (2)	90	9	
					Plate (3)	0	0	
	a =			0 m				
	y =		90					
	Aro =		1539 mm ²				;	
			15.39 cm ²					
					L 90 x 90 x 9			
No.	X	Y	A	dx	Ix	A*dx ²	Ixx	
1	345	85.5	729	21.31579	4920.75	331230.5	336151.3	
2	300	45	810	-19.1842	546750	298107.5	844857.5	
3	0	0	0	64.18421	0	0	0	
Center/Total	321.3158	64.18421	1539 mm ²				1181009	
	Y tot =	90	15.39 cm ²		W =	Ixx/Ymax =	45747.54 mm ³	
	Y max =	26					45.74754 cm ³	

Modulus Profil L								
	W =	Ixx/ymax						
	I =	bd ³ /12						
					Size	Thickness		
					Web (1)	100	8	
					Face (2)	75	8	
					Plate (3)	0	0	
	a =			0 m				
	y =		100					
	Aro =		1336 mm ²				;	
			13.36 cm ²					
					L 100 x 75 x 8			
No.	X	Y	A	dx	Ix	A*dx ²	Ixx	
1	337.5	96	536	27.54491	2858.667	406675	409533.7	
2	300	50	800	-18.4551	666666.7	272472.3	939138.9	
3	0	0	0	68.45509	0	0	0	
Center/Total	315.0449	68.45509	1336 mm ²				1348673	
	Y tot =	100	13.36 cm ²		W =	Ixx/Ymax =	42754.05 mm ³	
	Y max =	32					42.75405 cm ³	

PERHITUNGAN SEKAT MEMANJANG KAPAL					Main Dimension		
Nama kapal	:	MT Ferimas Mulia			L =	51.67	m
Type kapal	:	Tanker			H =	5.1	m
Sistem konstruksi	:	-			B =	11	m
Perhitungan Konstruksi Kapal Baja dari BKI Volume II Tahun 2024					T =	4	m
KONSTRUKSI SEKAT					Halaman :		1
Perhitungan / Uraian							
1 Tebal Pelat Sekat Memanjang							
tk =		Penambahan korosi					
=	1.5	mm	t' ≤ 10 mm				
=	0.1 t' / √k + 0.5		mm	t' > 10 mm			
k/f =	235 / R _{eH}		dimana	R _{eH} =	250		
=	0.96						
a =	Jarak Penegar		Crw =	0.9			
=	0.5 m		Cb (δ) =	0.7138			
			Cf =	1			
h =	Jarak dari pusat beban konstruksi ke titik 1,0 m diatas geladak sekat pada sisi kapal, untuk sekat tubrukan ketitik 1,0 m diatas tepi atas sekat tubrukan pada sisi kapal						
cp =	0.9 √f		c0 =	[L/25 + 4.1] Crw			
cs =	0.265 f		=	3.69		untuk L < 90	
v ₀ =	10 kn		cL =	√ L/90		untuk L < 90	
=	5.14444 m/s		=	0			
p =	p ₁ atau p _D diambil yang terbesar						
p ₁ = 9,81 · h ₁ · ρ · (1 + av) + 100 · p _v			Diambil yang terbesar				
p ₁ = 9,81 · θ · ρ · θ · h _p + 100 θ p _v							
'	F · m						
=	0.0787248						
F =	0.11 · v ₀ / √L						
=	0.0787248						
m =	1		karena 0.2 < x/L < 0.7				
h ₁ =	Jarak dari pusat beban ke bagian atas tangki (m)						
=	(H - hdb) / 2						
=	(5.1 - 1) / 2						
=	2.05 m						
ρ =	1025 kg/m ³						
p _v =	0.1						
sehingga,							
p ₁ =	22246.0374 N/m ²						
=	22.246 kN/m ²						
h _p = Tinggi tekanan akibat kondisi oleng							
- Jarak pusat beban ke dinding atas (titik tertinggi tangki) ≈ 2,05 m							
- Jarak melintang dari pusat ke dinding tangki (lebar tangki) ≈ 11 m (estimasi dari 5500 mm kiri-kanan)							

PERHITUNGAN SEKAT MEMANJANG KAPAL				Main Dimension	
Nama kapal	:	MT Ferimas Mulia		L =	51.67 m
Type kapal	:	Tanker		H =	5.1 m
Sistem konstruksi	:	-		B =	11 m
Perhitungan Konstruksi Kapal Baja dari BKI Volume II Tahun 2024				T =	4 m
KONSTRUKSI SEKAT				Halaman : 2	
Perhitungan / Uraian					
Sehingga,				$\sin 25^\circ =$	0.4226
$\Delta y_p = \Delta y_s$				$\cos 25^\circ =$	0.9063
=	5.5 m				
$\Delta z_p = \Delta z_s$					
=	2.05 m				
$c_p = c_s$					
=	1	; karena pusat beban lebih rendah dari titik tertinggi			
$\phi =$	25°	diasumsikan			
$h_p =$	4.182215 m				
$p_1 =$	42063.2174 N/m^2				
=	42.0632174 kN/m^2				
$p_D =$	$p_0 \frac{20 \cdot T}{(10 + z - T)} c_D$	2.	Pelat		
$c_D =$	1	2.1	Tebal pelat tidak boleh kurang dari:		
$z =$	$h_{db} + (H-h_{db})/2$				
=	3.05 m			$t_1 = 1,1 \cdot a \cdot \sqrt{p \cdot k} + t_k$	[mm]
$p_D =$	110.369355 kN/m^2			$t_2 = 0,9 \cdot a \cdot \sqrt{p_2 \cdot k} + t_k$	[mm]
maka,					
$p =$	p_D				
=	110.369355 kN/m^2				
$t_1 =$	$1.1 \cdot a \cdot \sqrt{p \cdot k} + t_k$				
=	5.66138327 + t_k				
$t_k =$	1.5	mm	untuk $t < 10$ mm		
=	7.16138327	mm			
=	8	mm			
$t_2 =$	$0.9 \cdot a \cdot \sqrt{p_2 \cdot k} + t_k$				
=	1.9772408 + t_k				
$t_k =$	1.5	mm	untuk $t < 10$ mm		
=	3.4772408	mm			
=	4	mm			
Maka didapatkan tebal minimum pelat sekat memanjang minimum adalah				8	mm

PERHITUNGAN SEKAT MEMANJANG KAPAL				Main Dimension	
Nama kapal	:	MT Ferimas Mulia	L =	51.67	m
Type kapal	:	Tanker	H =	5.1	m
Sistem konstruksi	:	-	B =	11	m
Perhitungan Konstruksi Kapal Baja dari BKI Volume II Tahun 2024			T =	4	m
KONSTRUKSI SEKAT			Halaman :		3
Perhitungan / Uraian					
a.	Tebal Pelat Sekat Mamanjang kedap minyak pada tangki muat tidak boleh kurang dari :				
	$t_{\min} = 5.5 + 0.02 \cdot L$				
	$= 6.5334$				
	Direncanakan = $t_{\min} + 1,5$				
	$= 8.0 \text{ mm}$				
b.	Tebal Pelat Sekat Memanjang lajur atas kedap minyak pada tangki muat tidak boleh kurang dari :				
	$t_{\min} = 0.75 \cdot t_d$				
	BKI Vol II Bab 7 A.61				
	$T_d = 4.5 + 0.05 \cdot L \cdot \sqrt{k}$				
	$= 7.0835 \text{ mm}$				
	$= 8 \text{ mm}$				
	$t_{\min} = 5.312625 \text{ mm}$				
	$= 6 \text{ mm}$				
	$t = 8.0 \text{ mm}$				
c.	Tebal Pelat Sekat Mamanjang lajur bawah kedap minyak pada tangki muat tidak boleh kurang dari :				
	$t_{\min} = 0.75 \cdot t_b$				
	$= 7.69955618 \text{ mm}$				
	$= 8 \text{ mm}$				
	$\# t_{b2} = 1,21a (P_B k)^{0.5} + t_k$				
	$= 8.766074903 + t_k$				
	$t_k = 1.5$				
	$= 10.2660749 \text{ mm}$				
	$P_B = 10 \cdot T + P_o \cdot C_F$				
	$= 52.49 \text{ kN/m}^2$				
	$P_o = 2.1 (C_b + 0.7) \cdot C_o \cdot C_L \cdot f$				
	$= 12.486 \text{ kN/m}^2$				
	$p_o = \text{beban dasar dinamis eksternal}$				
	$= 2,1 \cdot (C_b + 0,7) \cdot C_o \cdot C_L \cdot f \quad [\text{kN/m}^2]$				
	untuk $t < 10 \text{ mm}$				
2 Modulus Penegar dan Penumpu Sekat Memanjang					
Modulus penegar memanjang (longitudinal stiffner) dan Penumpu pada sekat memanjang tidak boleh kurang dari :					
	$W1 = 0.55 \cdot m \cdot a \cdot l^2 \cdot p \cdot k$				
	$W2 = 0.44 \cdot m \cdot a \cdot l^2 \cdot p_2 \cdot k$				
Dimana :					
	$a = 0.5 \text{ m}$				
	$l = 2 \text{ m}$				
	$\sigma_{pr} = 150/k$				
	$h_2 = \text{Tinggi Beban}$				
	$h_{2.1} = \text{Jarak dari pusat beban di dalam tangki ke puncak limpahan cairan}$				

PERHITUNGAN SEKAT MEMANJANG KAPAL				Main Dimension			
Nama kapal	:	MT Ferimas Mulia		L =	51.67	m	
Type kapal	:	Tanker		H =	5.1	m	
Sistem konstruksi	:	-		B =	11	m	
Perhitungan Konstruksi Kapal Baja dari BKI Volume II Tahun 2024				T =	4	m	
KONSTRUKSI SEKAT				Halaman :		4	
Perhitungan / Uraian							
	$\sigma_{pr} =$	150 N/mm2		$h_2 =$	Tinggi Beban		
	$ma =$	0.19125		$h_{2.1} =$	Jarak dari pusat beban di dalam tangki ke puncak limpahan cairan		
	$mk =$	0.99968					
	$m = (mk^2 - ma^2)$		z pusat beban =	$\frac{z_{top\ tangki} + z_{bottom\ tangki}}{2}$			
	$m =$	0.96277					
	$h =$	3.05 m			$= (5100 + 1000) / 2$		
					$= 3050 \text{ mm}$		
					$= 3.05 \text{ m}$		
Puncak limpahan Main Deck; pada 5100 mm = 5.1 m							
	$h_{2.1} =$	5.1 - 3.05 m					
	$=$	2.05 m					
	$h_{2.2} =$	Jarak dari pusat beban ke titik 2,5 kali massa jenis cairan (ρ)					
Misal cairan adalah air atau minyak berat dengan massa jenis $\rho = 1 \text{ t/m}$							
	maka,	$2.5 \cdot \rho = 2.5 \text{ m}$					
	$z =$	5.1 + 2.5 =	7.6 m				
	$h_{2.2} = z - z$ pusat beban						
	$=$	7.6 - 3.05 =	4.55 m				
	$h_{2.3} =$	Jarak ke titik tertinggi sistem limpah					
		asumsikan sistem limpah = main deck = 5.1 m					
	$h_{2.3} =$	5.1 - 3.05 m					
		2.05 m					
	$p_2 =$	$9.81 \cdot h_2$					
	$=$	20.1105 kN/m^2					
W1 = 112.211363 m^3							
W2 = 20.4461341 m^3							

No.	Nama Bagian	Jml	Lebar	Tinggi	Sudut Thdp Sb. Horizontal	Luas Total	Tb. Thdp Base	Momen Luas	Momen Inersia	Momen Inersia Individu		
			(cm)	(cm)	(derajat)	(cm ²)	(cm)	(cm ²)	(cm ⁴)	lx cos ² a	ly sin ² a	lo
			[b]	[h]	[a]	[AT]	[Z]	[AT x z]	[AT x z ²]	[lx = 1/12 x b x h ³]	[ly = 1/12 x h x b ³]	[lx cos ² a + ly sin ² a]
1	Keel	1	150.0	1.0	0.00	150.00	0.50	75.0	37.5	12.50	0.00	12.50
2	Alas											
	Alas 1	2	150.0	0.8	0.00	240.00	0.40	96.0	38.4	6.40	0.00	6.40
	Alas 2	2	150.0	0.8	0.00	240.00	0.40	96.0	38.4	6.40	0.00	6.40
	Alas 3	2	95.0	0.8	0.00	152.00	0.40	60.8	24.3	4.05	0.00	4.05
3	Alas Dalam											
	Alas Dalam	6	150.0	0.8	0.00	720.00	100.40	72288.0	7257715.2	6.40	0.00	6.40
4	Bilga	2	90.0	0.8	0.00	368.95	93.46	34480.4	3222391.3			129073.87
5	Sisi											
	Sisi 1	2	0.8	150.0	0.00	240.00	302.50	72600.0	21961500.0	225000.00	0.00	225000.00
	Sisi 2	2	0.8	150.0	0.00	240.00	227.50	54600.0	12421500.0	225000.00	0.00	225000.00
	Sisi 3	2	0.8	105.0	0.00	168.00	152.50	25620.0	3907050.0	77175.00	0.00	77175.00
6	Sisi Dalam											
	Sisi Dalam 1	2	0.8	150.0	0.00	240.00	292.70	70248.0	20561589.6	225000.00	0.00	225000.00
	Sisi Dalam 2	2	0.8	150.0	0.00	240.00	217.70	52248.0	11374389.6	225000.00	0.00	225000.00
	Sisi Dalam 3	2	0.8	127.5	0.00	204.00	142.70	29110.8	4154111.2	138178.13	0.00	138178.13
7	Geladak											
	Geladak 1	2	150.0	0.8	0.00	240.00	525.40	126096.0	66250838.4	6.40	0.00	6.40
	Geladak 2	2	150.0	0.8	0.00	240.00	522.70	125448.0	65571669.6	6.40	0.00	6.40
	Geladak 3	2	150.0	0.8	0.00	240.00	517.20	124128.0	64199001.6	6.40	0.00	6.40
	Geladak 4	2	112.8	0.8	0.00	180.48	501.80	90564.9	45445448.8	4.81	0.00	4.81
8	Longitudinal											
	Longitudinal 1	1	0.8	150.0	0.00	120.00	312.50	37500.0	11718750.0	225000.00	0.00	225000.00
	Longitudinal 2	1	0.8	150.0	0.00	120.00	237.50	28500.0	6768750.0	225000.00	0.00	225000.00
	Longitudinal 3	1	0.8	125.0	0.00	100.00	162.50	16250.0	2640625.0	130208.33	0.00	130208.33
	Girder											
1	Tengah	1	1.0	100.0	0.00	100.00	50.00	5000.0	250000.0	83333.33	0.00	83333.33
2	Horizontal Girder											
	Horizontal Girder	1	100.0	1.0	0.00	100.00	300.00	30000.0	9000000.0	8.33	0.00	8.33
	Pembujur											
1	Alas											
	Web	20	0.9	9.0	0.00	162.00	4.50	729.0	3280.5	54.68	0.00	54.68
	Face	20	8.1	0.9	0.00	145.80	8.55	1246.6	10658.3	0.49	0.00	0.49
2	Alas Dalam											
	Web	18	0.8	10.0	0.00	144.00	145.00	20880.0	3027600.0	66.67	0.00	66.67
	Face	18	9.0	0.8	0.00	129.60	140.40	18195.8	2554695.9	0.38	0.00	0.38
3	Bulkhead											
	Bulkhead 1											
	Web	1	9.0	0.9	0.00	8.10	170.00	1377.0	234090.0	0.55	0.00	0.55
	Face	1	0.9	8.1	0.00	7.29	170.00	1239.3	210681.0	39.86	0.00	39.86
	Bulkhead 2											
	Web	1	9.0	0.9	0.00	8.10	220.00	1782.0	392040.0	0.55	0.00	0.55
	Face	1	0.9	8.1	0.00	7.29	220.00	1603.8	352836.0	39.86	0.00	39.86
	Bulkhead 3											
	Web	1	9.0	0.9	0.00	8.10	270.00	2187.0	590490.0	0.55	0.00	0.55
	Face	1	0.9	8.1	0.00	7.29	270.00	1968.3	531441.0	39.86	0.00	39.86
	Bulkhead 4											
	Web	1	9.0	0.9	0.00	8.10	370.00	2997.0	1108890.0	0.55	0.00	0.55
	Face	1	0.9	8.1	0.00	7.29	370.00	2697.3	998001.0	39.86	0.00	39.86
	Bulkhead 5											
	Web	1	9.0	0.9	0.00	8.10	420.00	3402.0	1428840.0	0.55	0.00	0.55
	Face	1	0.9	8.1	0.00	7.29	420.00	3061.8	1285956.0	39.86	0.00	39.86
	Bulkhead 6											
	Web	1	9.0	0.9	0.00	8.10	460.00	3726.0	1713960.0	0.55	0.00	0.55
	Face	1	0.9	8.1	0.00	7.29	460.00	3353.4	1542564.0	39.86	0.00	39.86
	Bulkhead 7											
	Web	1	9.0	0.9	0.00	8.10	500.00	4050.0	2025000.0	0.55	0.00	0.55
	Face	1	0.9	8.1	0.00	7.29	500.00	3645.0	1822500.0	39.86	0.00	39.86
4	Sisi											
	Sisi 1											
	Web	2	9.0	0.9	0.00	16.20	480.00	7776.0	3732480.0	0.55	0.00	0.55
	Face	2	0.9	8.1	0.00	14.58	480.00	6998.4	3359232.0	39.86	0.00	39.86
	Sisi 2											
	Web	2	9.0	0.9	0.00	16.20	440.00	7128.0	3136320.0	0.55	0.00	0.55
	Face	2	0.9	8.1	0.00	14.58	440.00	6415.2	2822688.0	39.86	0.00	39.86
	Sisi 3											
	Web	2	9.0	0.9	0.00	16.20	400.00	6480.0	2592000.0	0.55	0.00	0.55
	Face	2	0.9	8.1	0.00	14.58	400.00	5832.0	2332800.0	39.86	0.00	39.86
	Sisi 4											
	Web	2	9.0	0.9	0.00	16.20	350.00	5670.0	1984500.0	0.55	0.00	0.55
	Face	2	0.9	8.1	0.00	14.58	350.00	5103.0	1786050.0	39.86	0.00	39.86
	Sisi 5											
	Web	2	9.0	0.9	0.00	16.20	250.00	4050.0	1012500.0	0.55	0.00	0.55
	Face	2	0.9	8.1	0.00	14.58	250.00	3645.0	911250.0	39.86	0.00	39.86
	Sisi 6											
	Web	2	9.0	0.9	0.00	16.20	200.00	3240.0	648000.0	0.55	0.00	0.55
	Face	2	0.9	8.1	0.00	14.58	200.00	2916.0	583200.0	39.86	0.00	39.86
	Sisi 7											
	Web	2	9.0	0.9	0.00	16.20	150.00	2430.0	364500.0	0.55	0.00	0.55
	Face	2	0.9	8.1	0.00	14.58	150.00	2187.0	328050.0	39.86	0.00	39.86
5	Wing Tank											
	Wing Tank 1											
	Web	2	9.0	0.9	0.00	16.20	480.00	7776.0	3732480.0	0.55	0.00	0.55
	Face	2	0.9	8.1	0.00	14.58	480.00	6998.4	3359232.0	39.86	0.00	39.86
	Wing Tank 2											
	Web	2	9.0	0.9	0.00	16.20	440.00	7128.0	3136320.0	0.55	0.00	0.55
	Face	2	0.9	8.1	0.00	14.58	440.00	6415.2	2822688.0	39.86	0.00	39.86
	Wing Tank 3											
	Web	2	9.0	0.9	0.00	16.20	400.00	6480.0	2592000.0	0.55	0.00	0.55
	Face	2	0.9	8.1	0.00	14.58	400.00	5832.0	2332800.0	39.86	0.00	39.86
	Wing Tank 4											
	Web	2	9.0	0.9	0.00	16.20	350.00	5670.0	1984500.0	0.55	0.00	0.55
	Face	2	0.9	8.1	0.00	14.58	350.00	5103.0	1786050.0	39.86	0.00	39.86

	Wing Tank 5												
	Web	2	9.0	0.9	0.00	16.20	250.00	4050.0	1012500.0	0.55	0.00	0.55	
	Face	2	0.9	8.1	0.00	14.58	250.00	3645.0	911250.0	39.86	0.00	39.86	
	Wing Tank 6												
	Web	2	9.0	0.9	0.00	16.20	200.00	3240.0	648000.0	0.55	0.00	0.55	
	Face	2	0.9	8.1	0.00	14.58	200.00	2916.0	583200.0	39.86	0.00	39.86	
	Wing Tank 7												
	Web	2	9.0	0.9	0.00	16.20	159.74	2587.8	413373.3	0.55	0.00	0.55	
	Face	2	0.9	8.1	0.00	14.58	159.74	2329.0	372035.9	39.86	0.00	39.86	
	Wing Tank 8												
	Web	2	9.0	0.9	0.00	16.20	129.66	2100.5	272349.8	0.55	0.00	0.55	
	Face	2	0.9	8.1	0.00	14.58	129.66	1890.4	245114.8	39.86	0.00	39.86	
	5 Geladak												
	Web	20	0.8	8.0	0.00	128.00	525.40	67251.2	35333780.5	34.13	0.00	34.13	
	Face	20	7.2	0.8	0.00	115.20	525.40	60526.1	31800402.4	0.31	0.00	0.31	
						6037.46		1344960.39	495470639.29			1909082.33	
						$\Sigma 1$		$\Sigma 2$	$\Sigma 3$			$\Sigma 4$	
Modulus penampang thd bottom (W_{bot}) = I_{NA} / Z_1													
Titik Berat terhadap dasar (z_1) = $\Sigma Z / \Sigma 1$													
= $\frac{1344960.39}{6037.46}$													
= 222.769 cm													
Modulus penampang thd deck (W_{deck}) = I_{NA} / Z_2													
t.b. terhadap deck (z_2) = H - Z_1													
= 510 - 222.7693													
= 287.231 cm													
$I_{xx} = \Sigma z_3 + \Sigma z_4 = 495470639.289$													
= 497379721.614 cm^4													
$I_{NA} = I_{xx} - (z_1)^2 \cdot \Sigma 1 = 497379721.614$													
= 197763847.095 cm^4													
= 1.977638471 m^4													
= 1.977638471													
Modulus penampang thd bottom (W_{bot}) = I_{NA} / Z_1													
= $\frac{197763847.1}{222.7692925}$													
= 887751.83 cm^3													
Modulus penampang thd deck (W_{deck}) = I_{NA} / Z_2													
= $\frac{197763847}{287.231}$													
= 688519.166 cm^3													
No.	Nama Bagian	Jml	Lebar	Tinggi	Sudut Thdp	Luas Total	Tb. Thdp	Momen	Momen	Momen Inersia Individu			
			(cm)	(cm)	Sb. Horizontal	(cm^2)	Base	Luas	Inersia	$I_x \cos^2 a$	$I_y \sin^2 a$	I_o	
			[b]	[h]	(derajat)	[AT]	[Z]	[AT x z]	[AT x z2]	$= 1/12 \times b \times$	$= 1/12 \times h \times$	$bs^2 a + I_y \sin$	
1	Pelat												
	Longitudinal 1	1	0.8	150.0	0.00	120.00	312.50	37500.0	11718750.0	225000.00	0.00	225000.00	
	Longitudinal 2	1	0.8	150.0	0.00	120.00	237.50	28500.0	6768750.0	225000.00	0.00	225000.00	
	Longitudinal 3	1	0.8	125.0	0.00	100.00	162.50	16250.0	2640625.0	130208.33	0.00	130208.33	
2	Penegar Horizontal												
	Bulkhead 1												
	Web	1	9.0	0.9	0.00	8.10	150.00	1215.0	182250.0	0.55	0.00	0.55	
	Face	1	0.9	8.1	0.00	7.29	145.50	1060.7	154331.1	39.86	0.00	39.86	
	Bulkhead 2												
	Web	1	9.0	0.9	0.00	8.10	200.00	1620.0	324000.0	0.55	0.00	0.55	
	Face	1	0.9	8.1	0.00	7.29	195.50	1425.2	278625.6	39.86	0.00	39.86	
	Bulkhead 3												
	Web	1	9.0	0.9	0.00	8.10	250.00	2025.0	506250.0	0.55	0.00	0.55	
	Face	1	0.9	8.1	0.00	7.29	245.50	1789.7	439370.1	39.86	0.00	39.86	
	Bulkhead 4												
	Web	1	9.0	0.9	0.00	8.10	350.00	2835.0	992250.0	0.55	0.00	0.55	
	Face	1	0.9	8.1	0.00	7.29	345.50	2518.7	870209.1	39.86	0.00	39.86	
	Bulkhead 5												
	Web	1	9.0	0.9	0.00	8.10	400.00	3240.0	1296000.0	0.55	0.00	0.55	
	Face	1	0.9	8.1	0.00	7.29	395.50	2883.2	1140303.6	39.86	0.00	39.86	
	Bulkhead 6												
	Web	1	9.0	0.9	0.00	8.10	440.00	3564.0	1568160.0	0.55	0.00	0.55	
	Face	1	0.9	8.1	0.00	7.29	435.50	3174.8	1382623.2	39.86	0.00	39.86	
	Bulkhead 7												
	Web	1	9.0	0.9	0.00	8.10	480.00	3888.0	1866240.0	0.55	0.00	0.55	
	Face	1	0.9	8.1	0.00	7.29	475.50	3466.4	1648270.8	39.86	0.00	39.86	
	Girder												
	Web	1	37.5	1.0	0.00	37.50	300.00	11250.0	3375000.0	3.13	0.00	3.13	
	Face	1	1.0	15.0	0.00	15.00	300.00	4500.0	1350000.0	281.25	0.00	281.25	
						500.23		132705.67	38502008.66			580775.54	
						$\Sigma 1$		$\Sigma 2$	$\Sigma 3$			$\Sigma 4$	
Modulus penampang thd bottom (W_{bot}) = I_{NA} / Z_1													
Titik Berat terhadap dasar (z_1) = $\Sigma Z / \Sigma 1$													
= $\frac{\Sigma 2}{\Sigma 1}$													
= 265.29 cm													
Modulus penampang thd deck (W_{deck}) = I_{NA} / Z_2													
t.b. terhadap deck (z_2) = H - Z_1													
= 510 - 265.2893													
= 259.71 cm													
$I_{xx} = \Sigma z_3 + \Sigma z_4 = 39082784.200$													
= 39082784.200 cm^4													
$I_{NA} = I_{xx} - (z_1)^2 \cdot \Sigma 1 = 39082784.200$													
= 5342446.134 cm^4													
= 0.053424461 m^4													

Parameter	Nilai	Satuan	Sumber BKI Vol II 2022
Lpp	51.67	m	
ReH	250		
Faktor material	0.952		
Allowable Stress	241.6949153	MPa	Section 24, B. 2-3 Tegangan Izin
k	Nilai	Sumber BKI Vol II 2022	Jadinya itu pake momen global midship, Inersia midship dan y midship
235	1		
315	0.78		
250	0.952	Section 2, B. 2-1	

Tabel Hubungan *Stress* - *Strain*

Model 1 - <i>Sagging</i>						Model 1 - <i>Hogging</i>					
<i>Stress (Pa)</i>	<i>Strain</i>	<i>Stress (Pa)</i>	<i>Strain</i>	<i>Stress (Pa)</i>	<i>Strain</i>	<i>Stress (Pa)</i>	<i>Strain</i>	<i>Stress (Pa)</i>	<i>Strain</i>	<i>Stress (Pa)</i>	<i>Strain</i>
0	0	3.13E-05	1.20E+07	6.26E-05	2.40E+07	0	0	6.20E-05	1.26E+07	1.24E-04	2.53E+07
6.52E-07	249451	3.20E-05	1.22E+07	6.33E-05	2.42E+07	1.29E-06	263432	6.33E-05	1.29E+07	1.25E-04	2.55E+07
1.30E-06	498903	3.26E-05	1.25E+07	6.39E-05	2.44E+07	2.58E-06	526863	6.46E-05	1.32E+07	1.27E-04	2.58E+07
1.96E-06	748355	3.33E-05	1.27E+07	6.46E-05	2.47E+07	3.87E-06	790294	6.59E-05	1.34E+07	1.28E-04	2.61E+07
2.61E-06	997808	3.39E-05	1.30E+07	6.52E-05	2.49E+07	5.17E-06	1.05E+06	6.71E-05	1.37E+07	1.29E-04	2.63E+07
3.26E-06	1.25E+06	3.46E-05	1.32E+07			6.46E-06	1.32E+06	6.84E-05	1.40E+07		
3.91E-06	1.50E+06	3.52E-05	1.35E+07			7.75E-06	1.58E+06	6.97E-05	1.42E+07		
4.56E-06	1.75E+06	3.59E-05	1.37E+07			9.04E-06	1.84E+06	7.10E-05	1.45E+07		
5.22E-06	2.00E+06	3.65E-05	1.40E+07			1.03E-05	2.11E+06	7.23E-05	1.48E+07		
5.87E-06	2.25E+06	3.72E-05	1.42E+07			1.16E-05	2.37E+06	7.36E-05	1.50E+07		
6.52E-06	2.49E+06	3.78E-05	1.45E+07			1.29E-05	2.63E+06	7.49E-05	1.53E+07		
7.17E-06	2.74E+06	3.85E-05	1.47E+07			1.42E-05	2.90E+06	7.62E-05	1.55E+07		
7.83E-06	2.99E+06	3.91E-05	1.50E+07			1.55E-05	3.16E+06	7.75E-05	1.58E+07		
8.48E-06	3.24E+06	3.98E-05	1.52E+07			1.68E-05	3.42E+06	7.88E-05	1.61E+07		
9.13E-06	3.49E+06	4.04E-05	1.55E+07			1.81E-05	3.69E+06	8.01E-05	1.63E+07		
9.78E-06	3.74E+06	4.11E-05	1.57E+07			1.94E-05	3.95E+06	8.13E-05	1.66E+07		
1.04E-05	3.99E+06	4.17E-05	1.60E+07			2.07E-05	4.21E+06	8.26E-05	1.69E+07		
1.11E-05	4.24E+06	4.24E-05	1.62E+07			2.20E-05	4.48E+06	8.39E-05	1.71E+07		
1.17E-05	4.49E+06	4.30E-05	1.65E+07			2.32E-05	4.74E+06	8.52E-05	1.74E+07		
1.24E-05	4.74E+06	4.37E-05	1.67E+07			2.45E-05	5.01E+06	8.65E-05	1.76E+07		
1.30E-05	4.99E+06	4.43E-05	1.70E+07			2.58E-05	5.27E+06	8.78E-05	1.79E+07		
1.37E-05	5.24E+06	4.50E-05	1.72E+07			2.71E-05	5.53E+06	8.91E-05	1.82E+07		
1.43E-05	5.49E+06	4.57E-05	1.75E+07			2.84E-05	5.80E+06	9.04E-05	1.84E+07		
1.50E-05	5.74E+06	4.63E-05	1.77E+07			2.97E-05	6.06E+06	9.17E-05	1.87E+07		
1.57E-05	5.99E+06	4.70E-05	1.80E+07			3.10E-05	6.32E+06	9.30E-05	1.90E+07		
1.63E-05	6.24E+06	4.76E-05	1.82E+07			3.23E-05	6.59E+06	9.43E-05	1.92E+07		
1.70E-05	6.49E+06	4.83E-05	1.85E+07			3.36E-05	6.85E+06	9.55E-05	1.95E+07		
1.76E-05	6.74E+06	4.89E-05	1.87E+07			3.49E-05	7.11E+06	9.68E-05	1.98E+07		
1.83E-05	6.98E+06	4.96E-05	1.90E+07			3.62E-05	7.38E+06	9.81E-05	2.00E+07		
1.89E-05	7.23E+06	5.02E-05	1.92E+07			3.74E-05	7.64E+06	9.94E-05	2.03E+07		
1.96E-05	7.48E+06	5.09E-05	1.95E+07			3.87E-05	7.90E+06	1.01E-04	2.05E+07		
2.02E-05	7.73E+06	5.15E-05	1.97E+07			4.00E-05	8.17E+06	1.02E-04	2.08E+07		
2.09E-05	7.98E+06	5.22E-05	2.00E+07			4.13E-05	8.43E+06	1.03E-04	2.11E+07		
2.15E-05	8.23E+06	5.28E-05	2.02E+07			4.26E-05	8.69E+06	1.05E-04	2.13E+07		
2.22E-05	8.48E+06	5.35E-05	2.05E+07			4.39E-05	8.96E+06	1.06E-04	2.16E+07		
2.28E-05	8.73E+06	5.41E-05	2.07E+07			4.52E-05	9.22E+06	1.07E-04	2.19E+07		
2.35E-05	8.98E+06	5.48E-05	2.10E+07			4.65E-05	9.48E+06	1.08E-04	2.21E+07		
2.41E-05	9.23E+06	5.54E-05	2.12E+07			4.78E-05	9.75E+06	1.10E-04	2.24E+07		
2.48E-05	9.48E+06	5.61E-05	2.15E+07			4.91E-05	1.00E+07	1.11E-04	2.27E+07		
2.54E-05	9.73E+06	5.67E-05	2.17E+07			5.04E-05	1.03E+07	1.12E-04	2.29E+07		
2.61E-05	9.98E+06	5.74E-05	2.20E+07			5.16E-05	1.05E+07	1.14E-04	2.32E+07		
2.67E-05	1.02E+07	5.80E-05	2.22E+07			5.29E-05	1.08E+07	1.15E-04	2.34E+07		
2.74E-05	1.05E+07	5.87E-05	2.25E+07			5.42E-05	1.11E+07	1.16E-04	2.37E+07		
2.80E-05	1.07E+07	5.93E-05	2.27E+07			5.55E-05	1.13E+07	1.17E-04	2.40E+07		
2.87E-05	1.10E+07	6.00E-05	2.30E+07			5.68E-05	1.16E+07	1.19E-04	2.42E+07		
2.93E-05	1.12E+07	6.07E-05	2.32E+07			5.81E-05	1.19E+07	1.20E-04	2.45E+07		
3.00E-05	1.15E+07	6.13E-05	2.35E+07			5.94E-05	1.21E+07	1.21E-04	2.48E+07		
3.07E-05	1.17E+07	6.20E-05	2.37E+07			6.07E-05	1.24E+07	1.23E-04	2.50E+07		

- Momen Reaksi Model 1(*Existing*)

Model 1 - <i>Sagging</i>							
<i>RM2 (N.m)</i>	<i>UR2 (rad)</i>	<i>RM2 (N.m)</i>	<i>UR2 (rad)</i>	<i>RM2 (N.m)</i>	<i>UR2 (rad)</i>	<i>RM2 (N.m)</i>	<i>UR2 (rad)</i>
1.26.E-04	4.35.E+05	4.42.E-05	1.52.E+05	-3.92.E-05	-1.33.E+05	-1.21.E-04	-4.12.E+05
1.25.E-04	4.31.E+05	4.29.E-05	1.48.E+05	-4.04.E-05	-1.37.E+05	-1.23.E-04	-4.16.E+05
1.24.E-04	4.27.E+05	4.17.E-05	1.44.E+05	-4.17.E-05	-1.42.E+05	-1.24.E-04	-4.20.E+05
1.23.E-04	4.22.E+05	4.04.E-05	1.39.E+05	-4.29.E-05	-1.46.E+05	-1.25.E-04	-4.25.E+05
1.21.E-04	4.18.E+05	3.92.E-05	1.35.E+05	-4.42.E-05	-1.50.E+05	-1.26.E-04	-4.29.E+05
1.20.E-04	4.14.E+05	3.79.E-05	1.31.E+05	-4.55.E-05	-1.54.E+05		
1.19.E-04	4.09.E+05	3.66.E-05	1.26.E+05	-4.67.E-05	-1.59.E+05		
1.17.E-04	4.05.E+05	3.54.E-05	1.22.E+05	-4.80.E-05	-1.63.E+05		
1.16.E-04	4.01.E+05	3.41.E-05	1.18.E+05	-4.93.E-05	-1.67.E+05		
1.15.E-04	3.96.E+05	3.28.E-05	1.13.E+05	-5.05.E-05	-1.72.E+05		
1.14.E-04	3.92.E+05	3.16.E-05	1.09.E+05	-5.18.E-05	-1.76.E+05		
1.12.E-04	3.87.E+05	3.03.E-05	1.04.E+05	-5.31.E-05	-1.80.E+05		
1.11.E-04	3.83.E+05	2.91.E-05	1.00.E+05	-5.43.E-05	-1.84.E+05		
1.10.E-04	3.79.E+05	2.78.E-05	9.58.E+04	-5.56.E-05	-1.89.E+05		
1.09.E-04	3.74.E+05	2.65.E-05	9.14.E+04	-5.68.E-05	-1.93.E+05		
1.07.E-04	3.70.E+05	2.53.E-05	8.71.E+04	-5.81.E-05	-1.97.E+05		
1.06.E-04	3.66.E+05	2.40.E-05	8.27.E+04	-5.94.E-05	-2.02.E+05		
1.05.E-04	3.61.E+05	2.27.E-05	7.84.E+04	-6.06.E-05	-2.06.E+05		
1.04.E-04	3.57.E+05	2.15.E-05	7.40.E+04	-6.19.E-05	-2.10.E+05		
1.02.E-04	3.53.E+05	2.02.E-05	6.97.E+04	-6.32.E-05	-2.14.E+05		
1.01.E-04	3.48.E+05	1.89.E-05	6.53.E+04	-6.44.E-05	-2.19.E+05		
9.98.E-05	3.44.E+05	1.77.E-05	6.10.E+04	-6.57.E-05	-2.23.E+05		
9.85.E-05	3.40.E+05	1.64.E-05	5.66.E+04	-6.69.E-05	-2.27.E+05		
9.73.E-05	3.35.E+05	1.52.E-05	5.22.E+04	-6.82.E-05	-2.32.E+05		
9.60.E-05	3.31.E+05	1.39.E-05	4.79.E+04	-6.95.E-05	-2.36.E+05		
9.47.E-05	3.27.E+05	1.26.E-05	4.35.E+04	-7.07.E-05	-2.40.E+05		
9.35.E-05	3.22.E+05	1.14.E-05	3.92.E+04	-7.20.E-05	-2.44.E+05		
9.22.E-05	3.18.E+05	1.01.E-05	3.48.E+04	-7.33.E-05	-2.49.E+05		
9.09.E-05	3.13.E+05	8.84.E-06	3.05.E+04	-7.45.E-05	-2.53.E+05		
8.97.E-05	3.09.E+05	7.58.E-06	2.61.E+04	-7.58.E-05	-2.57.E+05		
8.84.E-05	3.05.E+05	6.32.E-06	2.18.E+04	-7.71.E-05	-2.62.E+05		
8.72.E-05	3.00.E+05	5.05.E-06	1.74.E+04	-7.83.E-05	-2.66.E+05		
8.59.E-05	2.96.E+05	3.79.E-06	1.31.E+04	-7.96.E-05	-2.70.E+05		
8.46.E-05	2.92.E+05	2.53.E-06	8.71.E+03	-8.08.E-05	-2.74.E+05		
8.34.E-05	2.87.E+05	1.26.E-06	4.35.E+03	-8.21.E-05	-2.79.E+05		
8.21.E-05	2.83.E+05	-1.26.E-06	-4.29.E+03	-8.34.E-05	-2.83.E+05		
8.08.E-05	2.79.E+05	-2.53.E-06	-8.58.E+03	-8.46.E-05	-2.87.E+05		
7.96.E-05	2.74.E+05	-3.79.E-06	-1.29.E+04	-8.59.E-05	-2.92.E+05		
7.83.E-05	2.70.E+05	-5.05.E-06	-1.72.E+04	-8.72.E-05	-2.96.E+05		
7.71.E-05	2.66.E+05	-6.32.E-06	-2.14.E+04	-8.84.E-05	-3.00.E+05		
7.58.E-05	2.61.E+05	-7.58.E-06	-2.57.E+04	-8.97.E-05	-3.05.E+05		
7.45.E-05	2.57.E+05	-8.84.E-06	-3.00.E+04	-9.09.E-05	-3.09.E+05		
7.33.E-05	2.53.E+05	-1.01.E-05	-3.43.E+04	-9.22.E-05	-3.13.E+05		
7.20.E-05	2.48.E+05	-1.14.E-05	-3.86.E+04	-9.35.E-05	-3.17.E+05		
7.07.E-05	2.44.E+05	-1.26.E-05	-4.29.E+04	-9.47.E-05	-3.22.E+05		
6.95.E-05	2.39.E+05	-1.39.E-05	-4.72.E+04	-9.60.E-05	-3.26.E+05		
6.82.E-05	2.35.E+05	-1.52.E-05	-5.15.E+04	-9.73.E-05	-3.30.E+05		
6.69.E-05	2.31.E+05	-1.64.E-05	-5.58.E+04	-9.85.E-05	-3.35.E+05		
6.57.E-05	2.26.E+05	-1.77.E-05	-6.01.E+04	-9.98.E-05	-3.39.E+05		
6.44.E-05	2.22.E+05	-1.89.E-05	-6.43.E+04	-1.01.E-04	-3.43.E+05		
6.32.E-05	2.18.E+05	-2.02.E-05	-6.86.E+04	-1.02.E-04	-3.47.E+05		
6.19.E-05	2.13.E+05	-2.15.E-05	-7.29.E+04	-1.04.E-04	-3.52.E+05		
6.06.E-05	2.09.E+05	-2.27.E-05	-7.72.E+04	-1.05.E-04	-3.56.E+05		
5.94.E-05	2.05.E+05	-2.40.E-05	-8.15.E+04	-1.06.E-04	-3.60.E+05		
5.81.E-05	2.00.E+05	-2.53.E-05	-8.58.E+04	-1.07.E-04	-3.65.E+05		
5.68.E-05	1.96.E+05	-2.65.E-05	-9.01.E+04	-1.09.E-04	-3.69.E+05		
5.56.E-05	1.92.E+05	-2.78.E-05	-9.44.E+04	-1.10.E-04	-3.73.E+05		
5.43.E-05	1.87.E+05	-2.91.E-05	-9.87.E+04	-1.11.E-04	-3.77.E+05		
5.31.E-05	1.83.E+05	-3.03.E-05	-1.03.E+05	-1.12.E-04	-3.82.E+05		
5.18.E-05	1.79.E+05	-3.16.E-05	-1.07.E+05	-1.14.E-04	-3.86.E+05		
5.05.E-05	1.74.E+05	-3.28.E-05	-1.12.E+05	-1.15.E-04	-3.90.E+05		
4.93.E-05	1.70.E+05	-3.41.E-05	-1.16.E+05	-1.16.E-04	-3.95.E+05		
4.80.E-05	1.65.E+05	-3.54.E-05	-1.20.E+05	-1.17.E-04	-3.99.E+05		
4.67.E-05	1.61.E+05	-3.66.E-05	-1.24.E+05	-1.19.E-04	-4.03.E+05		
4.55.E-05	1.57.E+05	-3.79.E-05	-1.29.E+05	-1.20.E-04	-4.07.E+05		

Model 1 - Hogging							
RM2 (N.m)	UR2 (rad)	RM2 (N.m)	UR2 (rad)	RM2 (N.m)	UR2 (rad)	RM2 (N.m)	UR2 (rad)
1.33.E-04	4.53.E+05	4.67.E-05	1.59.E+05	-4.00.E-05	-1.38.E+05	-1.27.E-04	-4.37.E+05
1.32.E-04	4.49.E+05	4.54.E-05	1.54.E+05	-4.14.E-05	-1.43.E+05	-1.28.E-04	-4.41.E+05
1.31.E-04	4.44.E+05	4.40.E-05	1.50.E+05	-4.27.E-05	-1.47.E+05	-1.29.E-04	-4.46.E+05
1.29.E-04	4.40.E+05	4.27.E-05	1.45.E+05	-4.40.E-05	-1.52.E+05	-1.31.E-04	-4.51.E+05
1.28.E-04	4.35.E+05	4.14.E-05	1.40.E+05	-4.54.E-05	-1.56.E+05	-1.32.E-04	-4.55.E+05
1.27.E-04	4.30.E+05	4.00.E-05	1.36.E+05	-4.67.E-05	-1.61.E+05	-1.33.E-04	-4.60.E+05
1.25.E-04	4.26.E+05	3.87.E-05	1.31.E+05	-4.80.E-05	-1.66.E+05		
1.24.E-04	4.21.E+05	3.74.E-05	1.27.E+05	-4.94.E-05	-1.70.E+05		
1.23.E-04	4.17.E+05	3.60.E-05	1.22.E+05	-5.07.E-05	-1.75.E+05		
1.21.E-04	4.12.E+05	3.47.E-05	1.18.E+05	-5.20.E-05	-1.79.E+05		
1.20.E-04	4.08.E+05	3.33.E-05	1.13.E+05	-5.34.E-05	-1.84.E+05		
1.19.E-04	4.03.E+05	3.20.E-05	1.09.E+05	-5.47.E-05	-1.89.E+05		
1.17.E-04	3.99.E+05	3.07.E-05	1.04.E+05	-5.60.E-05	-1.93.E+05		
1.16.E-04	3.94.E+05	2.93.E-05	9.97.E+04	-5.74.E-05	-1.98.E+05		
1.15.E-04	3.90.E+05	2.80.E-05	9.51.E+04	-5.87.E-05	-2.02.E+05		
1.13.E-04	3.85.E+05	2.67.E-05	9.06.E+04	-6.00.E-05	-2.07.E+05		
1.12.E-04	3.81.E+05	2.53.E-05	8.61.E+04	-6.14.E-05	-2.12.E+05		
1.11.E-04	3.76.E+05	2.40.E-05	8.15.E+04	-6.27.E-05	-2.16.E+05		
1.09.E-04	3.72.E+05	2.27.E-05	7.70.E+04	-6.40.E-05	-2.21.E+05		
1.08.E-04	3.67.E+05	2.13.E-05	7.25.E+04	-6.54.E-05	-2.25.E+05		
1.07.E-04	3.62.E+05	2.00.E-05	6.80.E+04	-6.67.E-05	-2.30.E+05		
1.05.E-04	3.58.E+05	1.87.E-05	6.34.E+04	-6.80.E-05	-2.35.E+05		
1.04.E-04	3.53.E+05	1.73.E-05	5.89.E+04	-6.94.E-05	-2.39.E+05		
1.03.E-04	3.49.E+05	1.60.E-05	5.44.E+04	-7.07.E-05	-2.44.E+05		
1.01.E-04	3.44.E+05	1.47.E-05	4.98.E+04	-7.20.E-05	-2.48.E+05		
1.00.E-04	3.40.E+05	1.33.E-05	4.53.E+04	-7.34.E-05	-2.53.E+05		
9.87.E-05	3.35.E+05	1.20.E-05	4.08.E+04	-7.47.E-05	-2.57.E+05		
9.74.E-05	3.31.E+05	1.07.E-05	3.62.E+04	-7.60.E-05	-2.62.E+05		
9.60.E-05	3.26.E+05	9.34.E-06	3.17.E+04	-7.74.E-05	-2.67.E+05		
9.47.E-05	3.22.E+05	8.00.E-06	2.72.E+04	-7.87.E-05	-2.71.E+05		
9.34.E-05	3.17.E+05	6.67.E-06	2.27.E+04	-8.00.E-05	-2.76.E+05		
9.20.E-05	3.13.E+05	5.34.E-06	1.81.E+04	-8.14.E-05	-2.80.E+05		
9.07.E-05	3.08.E+05	4.00.E-06	1.36.E+04	-8.27.E-05	-2.85.E+05		
8.94.E-05	3.04.E+05	2.67.E-06	9.06.E+03	-8.40.E-05	-2.90.E+05		
8.80.E-05	2.99.E+05	1.33.E-06	4.53.E+03	-8.54.E-05	-2.94.E+05		
8.67.E-05	2.95.E+05	0.00.E+00	0.00.E+00	-8.67.E-05	-2.99.E+05		
8.54.E-05	2.90.E+05	-1.33.E-06	-4.60.E+03	-8.80.E-05	-3.03.E+05		
8.40.E-05	2.85.E+05	-2.67.E-06	-9.20.E+03	-8.94.E-05	-3.08.E+05		
8.27.E-05	2.81.E+05	-4.00.E-06	-1.38.E+04	-9.07.E-05	-3.13.E+05		
8.14.E-05	2.76.E+05	-5.34.E-06	-1.84.E+04	-9.20.E-05	-3.17.E+05		
8.00.E-05	2.72.E+05	-6.67.E-06	-2.30.E+04	-9.34.E-05	-3.22.E+05		
7.87.E-05	2.67.E+05	-8.00.E-06	-2.76.E+04	-9.47.E-05	-3.26.E+05		
7.74.E-05	2.63.E+05	-9.34.E-06	-3.22.E+04	-9.60.E-05	-3.31.E+05		
7.60.E-05	2.58.E+05	-1.07.E-05	-3.68.E+04	-9.74.E-05	-3.36.E+05		
7.47.E-05	2.54.E+05	-1.20.E-05	-4.14.E+04	-9.87.E-05	-3.40.E+05		
7.34.E-05	2.49.E+05	-1.33.E-05	-4.60.E+04	-1.00.E-04	-3.45.E+05		
7.20.E-05	2.45.E+05	-1.47.E-05	-5.06.E+04	-1.01.E-04	-3.49.E+05		
7.07.E-05	2.40.E+05	-1.60.E-05	-5.52.E+04	-1.03.E-04	-3.54.E+05		
6.94.E-05	2.36.E+05	-1.73.E-05	-5.98.E+04	-1.04.E-04	-3.59.E+05		
6.80.E-05	2.31.E+05	-1.87.E-05	-6.44.E+04	-1.05.E-04	-3.63.E+05		
6.67.E-05	2.27.E+05	-2.00.E-05	-6.90.E+04	-1.07.E-04	-3.68.E+05		
6.54.E-05	2.22.E+05	-2.13.E-05	-7.36.E+04	-1.08.E-04	-3.72.E+05		
6.40.E-05	2.17.E+05	-2.27.E-05	-7.82.E+04	-1.09.E-04	-3.77.E+05		
6.27.E-05	2.13.E+05	-2.40.E-05	-8.28.E+04	-1.11.E-04	-3.82.E+05		
6.14.E-05	2.08.E+05	-2.53.E-05	-8.74.E+04	-1.12.E-04	-3.86.E+05		
6.00.E-05	2.04.E+05	-2.67.E-05	-9.20.E+04	-1.13.E-04	-3.91.E+05		
5.87.E-05	1.99.E+05	-2.80.E-05	-9.66.E+04	-1.15.E-04	-3.95.E+05		
5.74.E-05	1.95.E+05	-2.93.E-05	-1.01.E+05	-1.16.E-04	-4.00.E+05		
5.60.E-05	1.90.E+05	-3.07.E-05	-1.06.E+05	-1.17.E-04	-4.05.E+05		
5.47.E-05	1.86.E+05	-3.20.E-05	-1.10.E+05	-1.19.E-04	-4.09.E+05		
5.34.E-05	1.81.E+05	-3.33.E-05	-1.15.E+05	-1.20.E-04	-4.14.E+05		
5.20.E-05	1.77.E+05	-3.47.E-05	-1.20.E+05	-1.21.E-04	-4.18.E+05		
5.07.E-05	1.72.E+05	-3.60.E-05	-1.24.E+05	-1.23.E-04	-4.23.E+05		
4.94.E-05	1.68.E+05	-3.74.E-05	-1.29.E+05	-1.24.E-04	-4.28.E+05		
4.80.E-05	1.63.E+05	-3.87.E-05	-1.33.E+05	-1.25.E-04	-4.32.E+05		

Massa Struktur Sekat

Model 1 (Existing)									
Part	Panjang (mm)	Lebar (mm)	tebal (mm)	Volume 1 Part (mm3)	Jumlah Part dalam 1 Model	Volume Seluruh Part (mm3)	Volume Seluruh Part (m3)	Massa Jenis Baja(kg/m3)	Massa (kg)
Pelat	9000	4100	8	295200000	1	295200000	0.2952	7850	2317.32
Stringer Web	9000	375	10	33750000	1	33750000	0.0338		264.94
Stringer Face	9000	150	10	12600000	1	12600000	0.0126		98.91
Longitudinal Web	9000	90	9	7290000	7	51030000	0.0510		400.59
Longitudinal Face	9000	90	9	6561000	7	45927000	0.0459		360.53
Transverse Web	4100	375	10	15375000	4	61500000	0.0615		482.78
Transverse Face	4100	150	10	5740000	4	22960000	0.0230		180.24
Total									4105.29
Model 2									
Part	Panjang (mm)	Lebar (mm)	tebal (mm)	Volume 1 Part (mm3)	Jumlah Part dalam 1 Model	Volume Seluruh Part (mm3)	Volume Seluruh Part (m3)	Massa Jenis Baja(kg/m3)	Massa (kg)
Pelat	9000	4100	8	295200000	1	295200000	0.2952	7850	2317.32
Stringer Web	9000	375	10	33750000	1	33750000	0.0338		264.94
Stringer Face	9000	150	10	12600000	1	12600000	0.0126		98.91
Longitudinal Web	9000	100	8	7200000	7	50400000	0.0504		395.64
Longitudinal Face	9000	75	8	4824000	7	33768000	0.0338		265.08
Transverse Web	4100	375	10	15375000	4	61500000	0.0615		482.78
Transverse Face	4100	150	10	5740000	4	22960000	0.0230		180.24
Total									4004.90
Model 3									
Part	Panjang (mm)	Lebar (mm)	tebal (mm)	Volume 1 Part (mm3)	Jumlah Part dalam 1 Model	Volume Seluruh Part (mm3)	Volume Seluruh Part (m3)	Massa Jenis Baja(kg/m3)	Massa (kg)
Pelat	9000	4100	8	295200000	1	295200000	0.2952	7850	2317.32
Stringer Web	9000	375	10	33750000	1	33750000	0.0338		264.94
Stringer Face	9000	150	10	12600000	1	12600000	0.0126		98.91
Longitudinal Web	9000	100	10	9000000	7	63000000	0.0630		494.55
Longitudinal Face	9000	100	10	8100000	7	56700000	0.0567		445.10
Transverse Web	4100	375	10	15375000	4	61500000	0.0615		482.78
Transverse Face	4100	150	10	5740000	4	22960000	0.0230		180.24
Total									4283.82
Model 4									
Part	Panjang (mm)	Lebar (mm)	tebal (mm)	Volume 1 Part (mm3)	Jumlah Part dalam 1 Model	Volume Seluruh Part (mm3)	Volume Seluruh Part (m3)	Massa Jenis Baja(kg/m3)	Massa (kg)
Pelat	9000	4100	9	332100000	1	332100000	0.3321	7850	2606.99
Stringer Web	9000	375	10	33750000	1	33750000	0.0338		264.94
Stringer Face	9000	150	10	12600000	1	12600000	0.0126		98.91
Longitudinal Web	9000	90	9	7290000	7	51030000	0.0510		400.59
Longitudinal Face	9000	90	9	6561000	7	45927000	0.0459		360.53
Transverse Web	4100	375	10	15375000	4	61500000	0.0615		482.78
Transverse Face	4100	150	10	5740000	4	22960000	0.0230		180.24
Total									4394.96
Model 5									
Part	Panjang (mm)	Lebar (mm)	tebal (mm)	Volume 1 Part (mm3)	Jumlah Part dalam 1 Model	Volume Seluruh Part (mm3)	Volume Seluruh Part (m3)	Massa Jenis Baja(kg/m3)	Massa (kg)
Pelat	9000	4100	9	332100000	1	332100000	0.3321	7850	2606.99
Stringer Web	9000	375	10	33750000	1	33750000	0.0338		264.94
Stringer Face	9000	150	10	12600000	1	12600000	0.0126		98.91
Longitudinal Web	9000	100	8	7200000	7	50400000	0.0504		395.64
Longitudinal Face	9000	75	8	4824000	7	33768000	0.0338		265.08
Transverse Web	4100	375	10	15375000	4	61500000	0.0615		482.78
Transverse Face	4100	150	10	5740000	4	22960000	0.0230		180.24
Total									4294.56
Model 6									
Part	Panjang (mm)	Lebar (mm)	tebal (mm)	Volume 1 Part (mm3)	Jumlah Part dalam 1 Model	Volume Seluruh Part (mm3)	Volume Seluruh Part (m3)	Massa Jenis Baja(kg/m3)	Massa (kg)
Pelat	9000	4100	9	332100000	1	332100000	0.3321	7850	2606.99
Stringer Web	9000	375	10	33750000	1	33750000	0.0338		264.94
Stringer Face	9000	150	10	12600000	1	12600000	0.0126		98.91
Longitudinal Web	9000	100	10	9000000	7	63000000	0.0630		494.55
Longitudinal Face	9000	100	10	8100000	7	56700000	0.0567		445.10
Transverse Web	4100	375	10	15375000	4	61500000	0.0615		482.78
Transverse Face	4100	150	10	5740000	4	22960000	0.0230		180.24
Total									4573.49

Model 7									
Part	Panjang (mm)	Lebar (mm)	tebal (mm)	Volume 1 Part (mm3)	Jumlah Part dalam 1 Model	Volume Seluruh Part (mm3)	Volume Seluruh Part (m3)	Massa Jenis Baja(kg/m3)	Massa (kg)
Pelat	9000	4100	10	369000000	1	369000000	0.3690	7850	2896.65
Stringer Web	9000	375	10	33750000	1	33750000	0.0338		264.94
Stringer Face	9000	150	10	12600000	1	12600000	0.0126		98.91
Longitudinal Web	9000	90	9	7290000	7	51030000	0.0510		400.59
Longitudinal Face	9000	90	9	6561000	7	45927000	0.0459		360.53
Transverse Web	4100	375	10	15375000	4	61500000	0.0615		482.78
Transverse Face	4100	150	10	5740000	4	22960000	0.0230		180.24
Total									4684.62
Model 8									
Part	Panjang (mm)	Lebar (mm)	tebal (mm)	Volume 1 Part (mm3)	Jumlah Part dalam 1 Model	Volume Seluruh Part (mm3)	Volume Seluruh Part (m3)	Massa Jenis Baja(kg/m3)	Massa (kg)
Pelat	9000	4100	10	369000000	1	369000000	0.3690	7850	2896.65
Stringer Web	9000	375	10	33750000	1	33750000	0.0338		264.94
Stringer Face	9000	150	10	12600000	1	12600000	0.0126		98.91
Longitudinal Web	9000	100	8	7200000	7	50400000	0.0504		395.64
Longitudinal Face	9000	75	8	4824000	7	33768000	0.0338		265.08
Transverse Web	4100	375	10	15375000	4	61500000	0.0615		482.78
Transverse Face	4100	150	10	5740000	4	22960000	0.0230		180.24
Total									4584.23
Model 9									
Part	Panjang (mm)	Lebar (mm)	tebal (mm)	Volume 1 Part (mm3)	Jumlah Part dalam 1 Model	Volume Seluruh Part (mm3)	Volume Seluruh Part (m3)	Massa Jenis Baja(kg/m3)	Massa (kg)
Pelat	9000	4100	10	369000000	1	369000000	0.3690	7850	2896.65
Stringer Web	9000	375	10	33750000	1	33750000	0.0338		264.94
Stringer Face	9000	150	10	12600000	1	12600000	0.0126		98.91
Longitudinal Web	9000	100	10	9000000	7	63000000	0.0630		494.55
Longitudinal Face	9000	100	10	8100000	7	56700000	0.0567		445.10
Transverse Web	4100	375	10	15375000	4	61500000	0.0615		482.78
Transverse Face	4100	150	10	5740000	4	22960000	0.0230		180.24
Total									4863.15

Rekapitulasi Massa Model

No	Jenis Deck	Tebal Pelat (mm)	Penegar (mm)	Massa (kg)	Massa (ton)
1	Model 1 (<i>Existing</i>)	8	90 x 90 x 9	4105.29	4.105
2	Model 2	8	100 x 75 x 8	4004.90	4.005
3	Model 3	8	100 x 100 x 10	4283.82	4.28
4	Model 4	9	90 x 90 x 9	4394.96	4.39
5	Model 5	9	100 x 75 x 8	4294.56	4.29
6	Model 6	9	100 x 100 x 10	4573.49	4.57
7	Model 7	10	90 x 90 x 9	4684.62	4.68
8	Model 8	10	100 x 75 x 8	4584.23	4.58
9	Model 9	10	100 x 100 x 10	4863.15	4.86

Tegangan Izin =		241.6949153	MPa				
	- Hogging						
No	Variasi	t (mm)	Pembujur (mm)	σ mises max (Pa)	σ mises max (MPa)	Safety Factor	Von mises dengan tegangan izin
1	Model 1 (Existing)	8	90 x 90 x 9	2.63E+07	2.63E+01	9.182	Existing
2	Model 2	8	100 x 75 x 8	2.64E+07	2.64E+01	9.171	Lebih Aman
3	Model 3	8	100 x 100 x 10	2.70E+07	2.70E+01	8.938	Lebih Aman
4	Model 4	9	90 x 90 x 9	2.59E+07	2.59E+01	9.321	Lebih Aman
5	Model 5	9	100 x 75 x 8	2.60E+07	2.60E+01	9.306	Lebih Aman
6	Model 6	9	100 x 100 x 10	2.66E+07	2.66E+01	9.090	Lebih Aman
7	Model 7	10	90 x 90 x 9	2.56E+07	2.56E+01	9.438	Lebih Aman
8	Model 8	10	100 x 75 x 8	2.57E+07	2.57E+01	9.421	Lebih Aman
9	Model 9	10	100 x 100 x 10	2.62E+07	2.62E+01	9.219	Lebih Aman

		1 Pa =	1.00E-06	MPa			
		1 m =	1.00E+03	mm			
		- Sagging					
No	Variasi	t (mm)	Pembujur (mm)	σ mises max (Pa)	σ mises max (MPa)	Safety Factor	Von mises dengan tegangan izin
1	Model 1	8	90 x 90 x 9	2.49E+07	2.49E+01	9.691	Existing
2	Model 2	8	100 x 75 x 8	2.50E+07	2.50E+01	9.680	Lebih Aman
3	Model 3	8	100 x 100 x 10	2.56E+07	2.56E+01	9.435	Lebih Aman
4	Model 4	9	90 x 90 x 9	2.46E+07	2.46E+01	9.837	Lebih Aman
5	Model 5	9	100 x 75 x 8	2.46E+07	2.46E+01	9.824	Lebih Aman
6	Model 6	9	100 x 100 x 10	2.52E+07	2.52E+01	9.595	Lebih Aman
7	Model 7	10	90 x 90 x 9	2.43E+07	2.43E+01	9.961	Lebih Aman
8	Model 8	10	100 x 75 x 8	2.43E+07	2.43E+01	9.945	Lebih Aman
9	Model 9	10	100 x 100 x 10	2.48E+07	2.48E+01	9.731	Lebih Aman
Sumber : https://wiramas.com/page/view/15_siku							
Momen Lentur Reaksi							
		Momen teoritis =	459827	N.m			
		- Hogging					
No	Variasi	t (mm)	Pembujur (mm)	Momen Lentur (N.m)	Momen Lentur (kN.m)	Selisih	Von mises dengan tegangan izin
1	Model 1 (Existing)	8	90 x 90 x 9	4.60E+05	4.60E+02	0.000%	Existing
2	Model 2	8	100 x 75 x 8	4.59E+05	4.59E+02	-0.198%	Tidak Aman
3	Model 3	8	100 x 100 x 10	4.83E+05	4.83E+02	4.942%	Tidak Aman
4	Model 4	9	90 x 90 x 9	5.04E+05	5.04E+02	9.633%	Tidak Aman
5	Model 5	9	100 x 75 x 8	5.03E+05	5.03E+02	9.436%	Tidak Aman
6	Model 6	9	100 x 100 x 10	5.27E+05	5.27E+02	14.617%	Tidak Aman
7	Model 7	10	90 x 90 x 9	5.48E+05	5.48E+02	19.245%	Tidak Aman
8	Model 8	10	100 x 75 x 8	5.47E+05	5.47E+02	19.050%	Tidak Aman
9	Model 9	10	100 x 100 x 10	5.71E+05	5.71E+02	24.265%	Tidak Aman
		Momen teoritis =	435348	N.m			
		- Sagging					
No	Variasi	t (mm)	Pembujur (mm)	Momen Lentur (N.m)	Momen Lentur (kN.m)	Selisih	Von mises dengan tegangan izin
1	Model 1 (Existing)	8	90 x 90 x 9	4.35E+05	4.35E+02	0.000%	Existing
2	Model 2	8	100 x 75 x 8	4.34E+05	4.34E+02	0.137%	Tidak Aman
3	Model 3	8	100 x 100 x 10	4.57E+05	4.57E+02	-3.451%	Tidak Aman
4	Model 4	9	90 x 90 x 9	4.77E+05	4.77E+02	-6.728%	Tidak Aman
5	Model 5	9	100 x 75 x 8	4.76E+05	4.76E+02	-6.592%	Tidak Aman
6	Model 6	9	100 x 100 x 10	4.99E+05	4.99E+02	-10.209%	Tidak Aman
7	Model 7	10	90 x 90 x 9	5.19E+05	5.19E+02	-13.442%	Tidak Aman
8	Model 8	10	100 x 75 x 8	5.18E+05	5.18E+02	-13.307%	Tidak Aman
9	Model 9	10	100 x 100 x 10	5.41E+05	5.41E+02	-16.947%	Tidak Aman

Deformasi						
Maksimum Deformasi			8	mm		
- Hogging						
No	Variasi	t (mm)	Pembujur (mm)	Deformasi (m)	Deformasi (mm)	Keterangan
1	Model 1 (Existing)	8	90 x 90 x 9	3.01E-04	0.3012	Existing
2	Model 2	8	100 x 75 x 8	3.01E-04	0.3009	Lebih Aman
3	Model 3	8	100 x 100 x 10	3.00E-04	0.2996	Lebih Aman
4	Model 4	9	90 x 90 x 9	3.01E-04	0.3008	Lebih Aman
5	Model 5	9	100 x 75 x 8	3.02E-04	0.3017	Lebih Aman
6	Model 6	9	100 x 100 x 10	3.01E-04	0.3005	Lebih Aman
7	Model 7	10	90 x 90 x 9	3.03E-04	0.3027	Lebih Aman
8	Model 8	10	100 x 75 x 8	3.02E-04	0.3024	Lebih Aman
9	Model 9	10	100 x 100 x 10	3.01E-04	0.3013	Lebih Aman
- Sagging						
No	Variasi	t (mm)	Pembujur (mm)	Deformasi (m)	Deformasi	Keterangan
1	Model 1 (Existing)	8	90 x 90 x 9	2.85E-04	0.285244	Existing
2	Model 2	8	100 x 75 x 8	2.85E-04	0.284956	Lebih Aman
3	Model 3	8	100 x 100 x 10	2.84E-04	0.283682	Lebih Aman
4	Model 4	9	90 x 90 x 9	2.86E-04	0.286005	Lebih Aman
5	Model 5	9	100 x 75 x 8	2.86E-04	0.285735	Lebih Aman
6	Model 6	9	100 x 100 x 10	2.85E-04	0.284597	Lebih Aman
7	Model 7	10	90 x 90 x 9	2.87E-04	0.286623	Lebih Aman
8	Model 8	10	100 x 75 x 8	2.86E-04	0.286365	Lebih Aman
9	Model 9	10	100 x 100 x 10	2.85E-04	0.285342	Lebih Aman
- Kondisi Yield						
No.	Dimensi Penegar (mm)	Tebal Pelat (mm)	Rotasi – UR2 (rad)	σ Maks. (MPa)	Momen Lentur (N.m)	Momen Lentur (kN.m)
1	90 x 90 x 9	8	0.00127683	250	4.35E+06	4.35E+03
2	100 x 75 x 8	8	0.00126181	250	4.34E+06	4.34E+03
3	100 x 100 x 100	8	0.00124678	250	4.51E+06	4.51E+03
4	90 x 90 x 9	9	0.00129185	250	4.89E+06	4.89E+03
5	100 x 75 x 8	9	0.00127683	250	4.82E+06	4.82E+03
6	100 x 100 x 100	9	0.00126181	250	4.99E+06	4.99E+03
7	90 x 90 x 9	10	0.00130687	250	5.38E+06	5.38E+03
8	100 x 75 x 8	10	0.00127683	250	5.18E+06	5.18E+03
9	100 x 100 x 100	10	0.00127683	250	5.47E+06	5.47E+03

PERHITUNGAN SEKAT MEMANJANG KAPAL				Main Dimension	
Nama kapal	:	MT Ferimas Mulia		L =	51.67 m
Type kapal	:	Tanker		H =	5.1 m
Sistem konstruksi	:	-		B =	11 m
Perhitungan Konstruksi Kapal Baja dari CSR Part 1 Ch 4 Sec 4 Tahun 2024				T =	4 m
KONSTRUKSI SEKAT				Halaman :	1
Perhitungan / Uraian				Hasil	
1 Perhitungan <i>Vertical Wave Bending Moment</i>					
Perhitungan bending momen akibat gelombang vertikal terhadap posisi memanjang kapal terbagi menjadi 2 kondisi, yaitu kondisi hogging dan kondisi sagging. Perhitungan bending momen pada kedua kondisi tersebut adalah sebagai berikut:					
- Kondisi Hogging					
$M_{wv-h} = 0.19 \cdot f_{nf-vh} \cdot f_m \cdot f_p \cdot C_w \cdot L^2 \cdot B \cdot C_B$					
- Kondisi Sagging					
$M_{wv-s} = -0.19 \cdot f_{nf-vs} \cdot f_m \cdot f_p \cdot C_w \cdot L^2 \cdot B \cdot C_B$					
Dimana:					
$f_{nl-vh} = 1$					
$f_{nl-vs} = 0.58 \cdot (C_B + 0.7/C_B)$					
$= 1.157894512$					
$f_p = 1$					
f_{ps} : Coefficient for strength assessments which is dependant on the applicable design load scenario specified in Ch 4, Sec 7, and to be taken as:					
$f_{ps} = 1.0$ for extreme sea loads design load scenario.					
$f_{ps} = 0.8$ for the ballast water exchange design load scenario.					
$f_{ps} = 0.8$ for the accidental flooded design load scenario at sea.					
$f_{ps} = 0.4$ for the harbour/sheltered water design load scenario.					
Dikarenakan model sekat memanjang kapal yang diambil berada disekitar midship kapal maka terletak pada $0.4 L \leq x \leq 0.65 L$. Maka nilai f_m adalah sebagai berikut:					
$f_m = 1$					
- Kondisi Hogging					
$M_{wv-h} = 0.19 \cdot f_{nf-vh} \cdot f_m \cdot f_p \cdot C_w \cdot L^2 \cdot B \cdot C_B$					
$= 21757.202 \text{ kNm}$					
$= 21757202.08 \text{ N.m}$					
- Kondisi Sagging					
$M_{wv-s} = -0.19 \cdot f_{nf-vs} \cdot f_m \cdot f_p \cdot C_w \cdot L^2 \cdot B \cdot C_B$					
$= -25192.545 \text{ kNm}$					
$= -25192544.89 \text{ N.m}$					
2 Perhitungan <i>Vertical Still Water Bending Moment</i>					
Perhitungan bending momen air tenang terbagi menjadi 2 kondisi, yaitu kondisi hogging dan kondisi sagging. Perhitungan bending momen pada kedua kondisi tersebut adalah sebagai berikut:					
- Kondisi Hogging					
$M_{sv-h-min} = f_{sw} \cdot (171 \cdot C_w \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0.7) \cdot 10^{-3} - M_{wv-h})$					
- Kondisi Sagging					
$M_{wv-s-min} = -0.85 \cdot f_{sw} \cdot (171 \cdot C_w \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0.7) \cdot 10^{-3} + M_{wv-s})$					

Dikarenakan model sekat memanjang kapal yang diambil berada disekitar midship kapal maka terletak pada $0.3 L \leq x \leq 0.7 L$. Maka nilai f_m adalah sebagai berikut:						
$f_{sw} =$	1 untuk $0.3 L \leq x \leq 0.7 L$					
Sehingga,						
- Kondisi Hogging						
$M_{sw-h-min} =$	$f_{sw} \cdot (171 \cdot C_w \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0.7) \cdot 10^{-3} - M_{wv-h}$					
	$=$	17334.7 kN.m	3019.39426			
	$=$	17334677.93 N.m				
- Kondisi Sagging						
$M_{sw-s-min} =$	$-0.85 \cdot f_{sw} \cdot (171 \cdot C_w \cdot L^2 \cdot B \cdot (C_B + 0.7) \cdot 10^{-3} + M_{wv-s}$					
	$=$	-11814.4 Kn.m				
	$=$	-11814434.85 N.m				
3 Perhitungan <i>Horizontal Bending Moment</i>						
$M_{sv-h-min} =$	$f_{nlh} \cdot f_p \cdot \left(0.31 + \frac{L}{2800}\right) \cdot f_m \cdot C_w \cdot L^2 \cdot T_{LC} \cdot C_B$					
Dimana :						
$f_{nlh} =$	0.9					
$M_{sv-h-min} =$	214.388 kNm					
	$=$	214388.450 N.m				
4 Perhitungan <i>Sudut Rotasi Displasement Model</i>						
Dimendi model sekat memanjang yang dimodelkan adalah sebagai berikut:						
$L =$	9 m					
$H =$	4.1 m					
Tebal =	0.008 m					
Tipe Elemen =	Shell					
$E =$	$2.0 \cdot 10^{11}$	Pa				
$\theta =$	$M \cdot L / 2E \cdot I$	M $\xrightarrow{\hspace{1cm}}$ M $\left \frac{ML}{2EI} \right$ $\left \frac{ML^2}{8EI} \right$ M				
$E =$ Modulus elastisitas (Pa)						
$I =$ Momen inersia penampang (m^4)						
$L =$ Panjang efektif (m)						
$\theta =$ Rotasi sudut (rad)						
$I = t \cdot h^3 / 12$						
	$=$	0.045947333 m^4				
Rotasi						
$\theta =$	$\frac{ML_{lokal}}{2EI}$					
Bending Momen Total						
Kondisi	Nilai Bending Momen				Nilai Rotasi	
Hogging	39091.880	kN.m	39091880.01	N.m	0.00044476	rad
Sagging	-37006.980	kN.m	-37006979.7	N.m	-0.00042104	rad

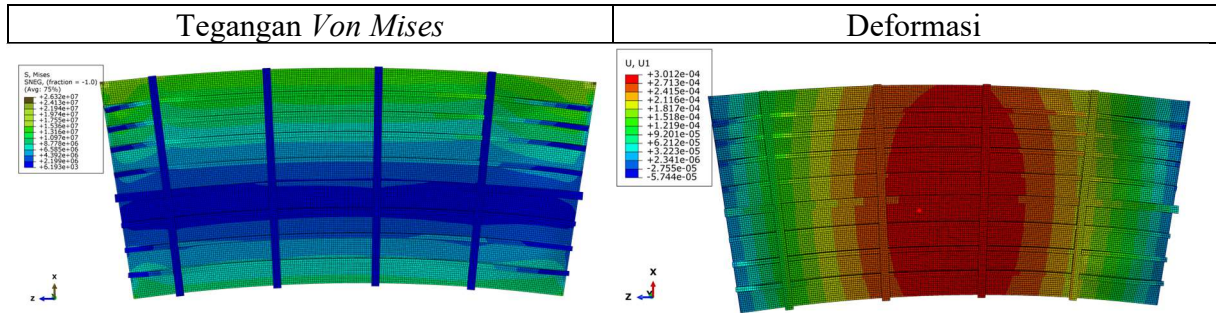
Kondisi	Hogging		Kondisi	Sagging
Mglobal	39091880.008		Mglobal	-37006979.7
I global	1.978		I global	1.978
I lokal	0.053		I lokal	0.0534
L lokal	9		L lokal	9
L global	20.668		L global	20.668
M lokal	459858		M lokal	-435332
θ_1	0.0001937		θ_1	- 0.000183
M simulasi	380534		M simulasi	631,877
θ_{fix}	0.0002340		θ_2	0.0001263
M simulasi	806832		M simulasi	-435348
θ_{fix}	0.0001334		Selisih	0.00359%
M simulasi	459827			
Selisih	0.006768%			
Hogging - Sagging				
<i>Stress teori</i>	250			
M teori	5.14E+06			
θ_1	0.002166			
M simulasi	7.41E+06			
θ_{fix}	0.0015022			
M simulasi	5.18E+06			
Selisih	-0.754477%			

LAMPIRAN C

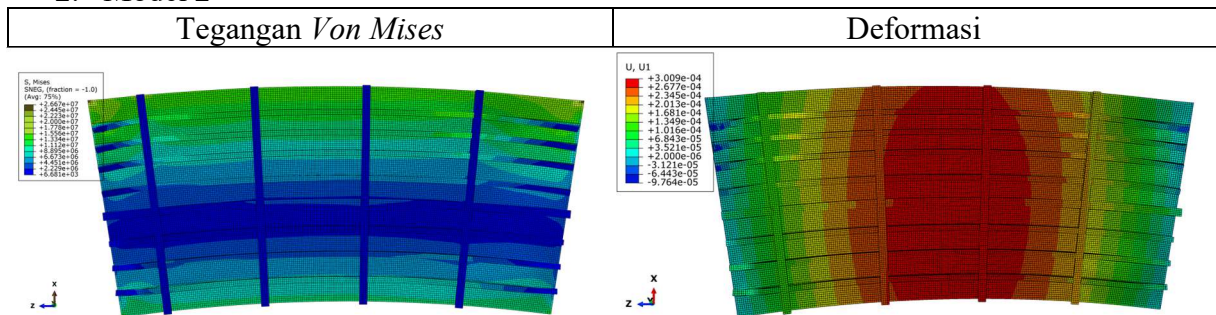
VISUALISASI *VON MISES STRESS* DAN DEFORMASI

- Kondisi Operasional *Hogging*

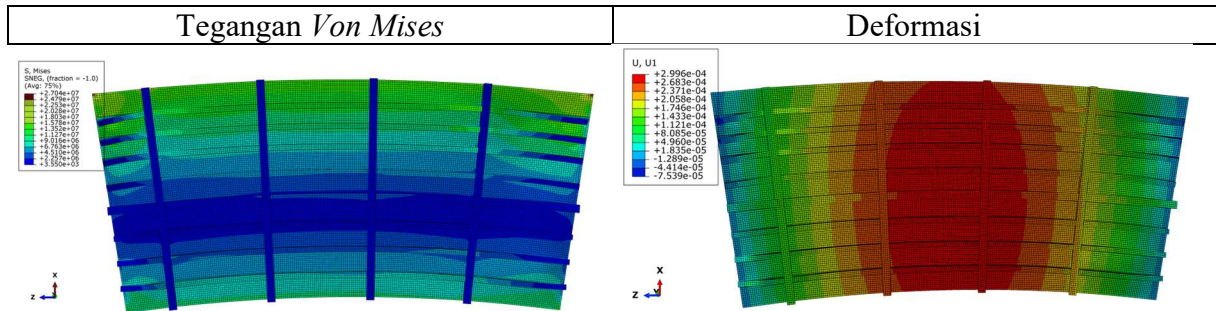
1. Model 1



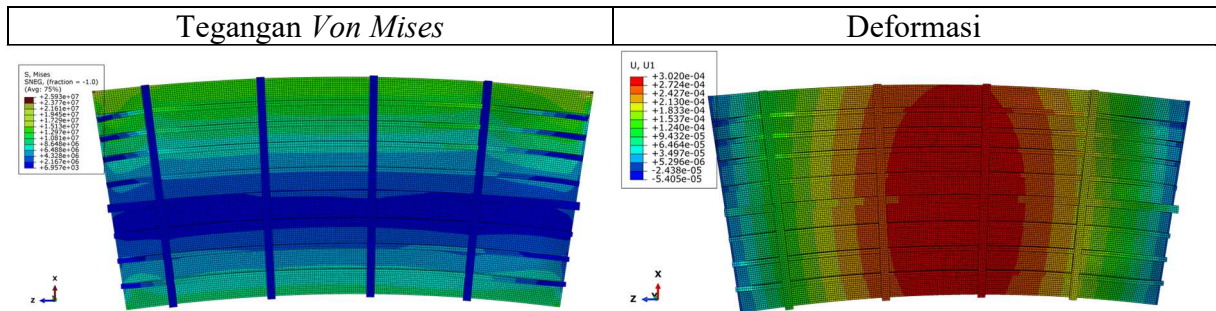
2. Model 2



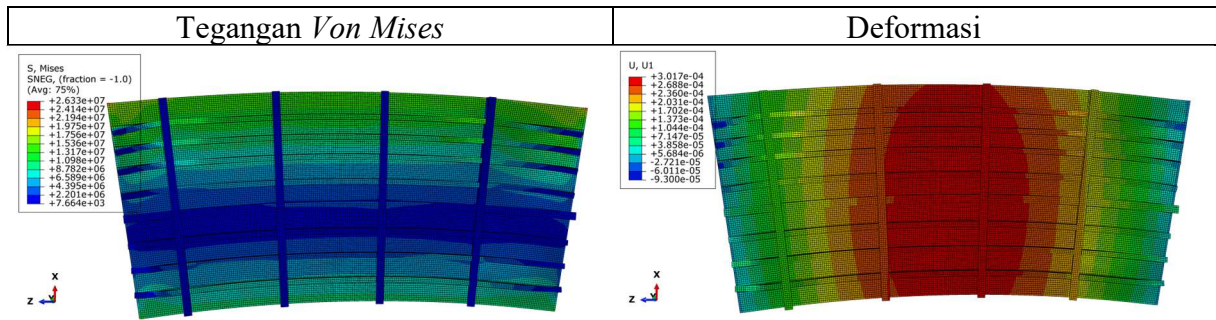
3. Model 3



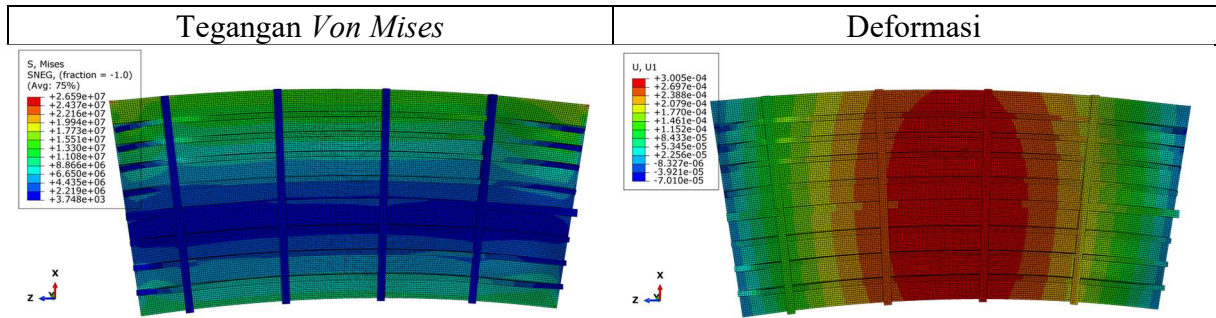
4. Model 4



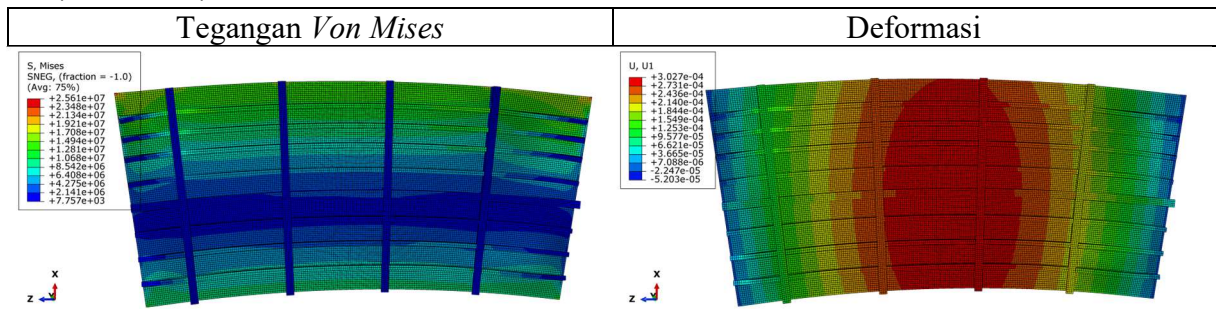
5. Model 5



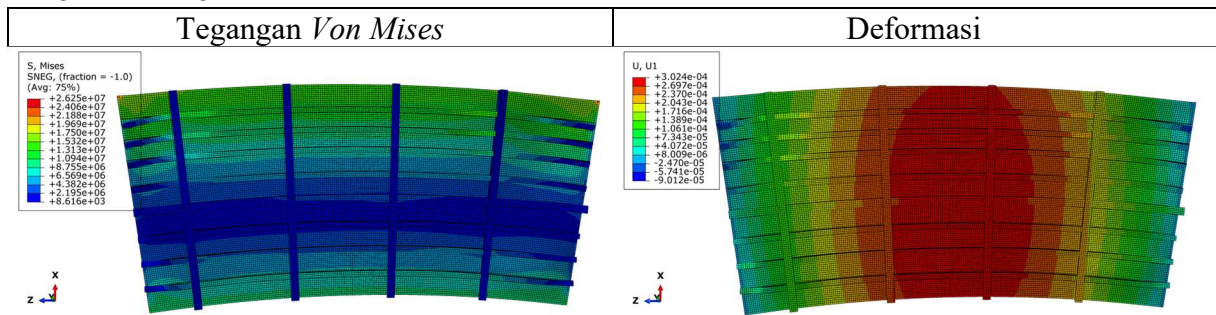
6. Model 6



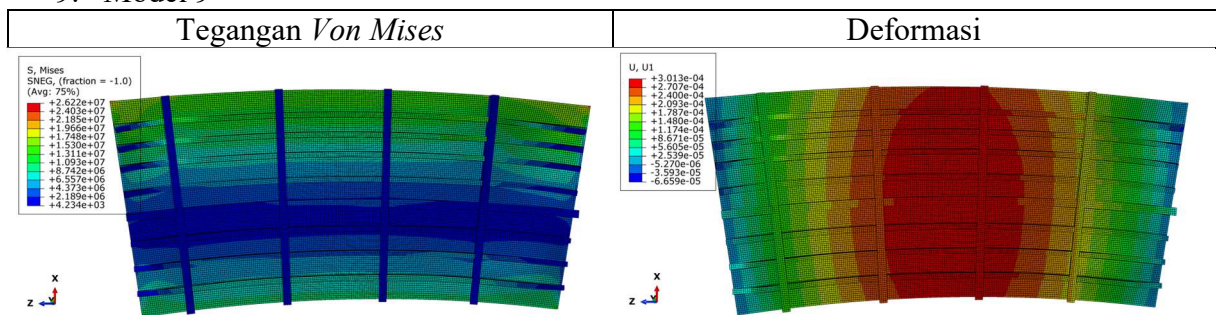
7. Model 7



8. Model 8

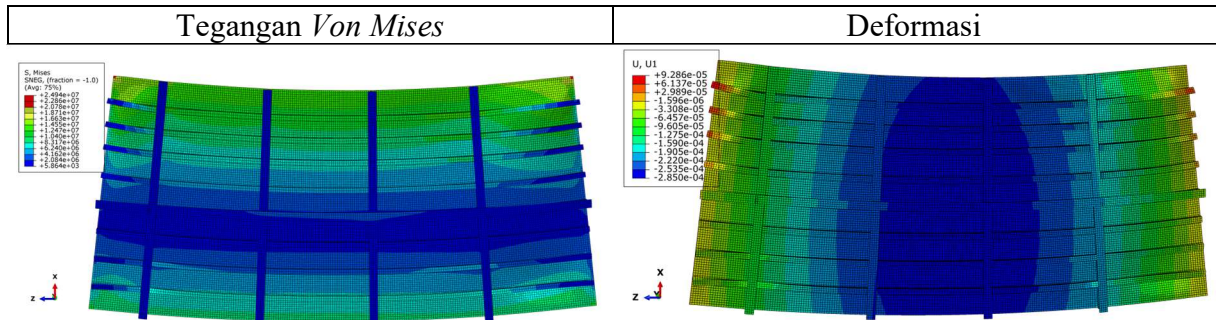


9. Model 9

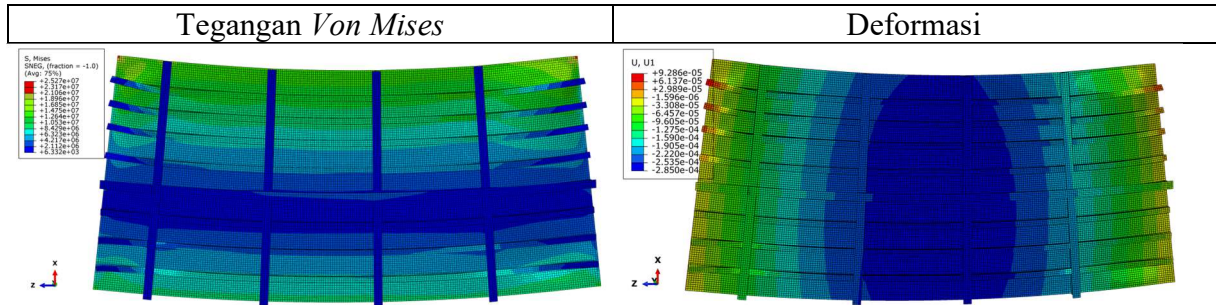


- Kondisi Operasional *Sagging*

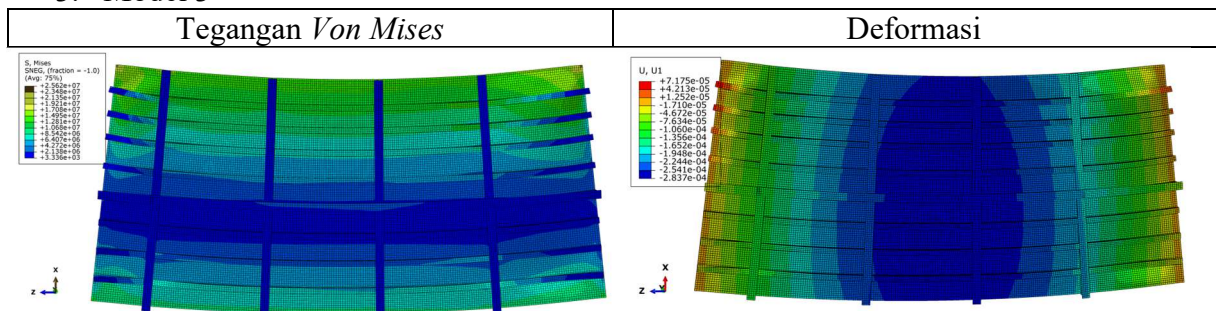
1. Model 1



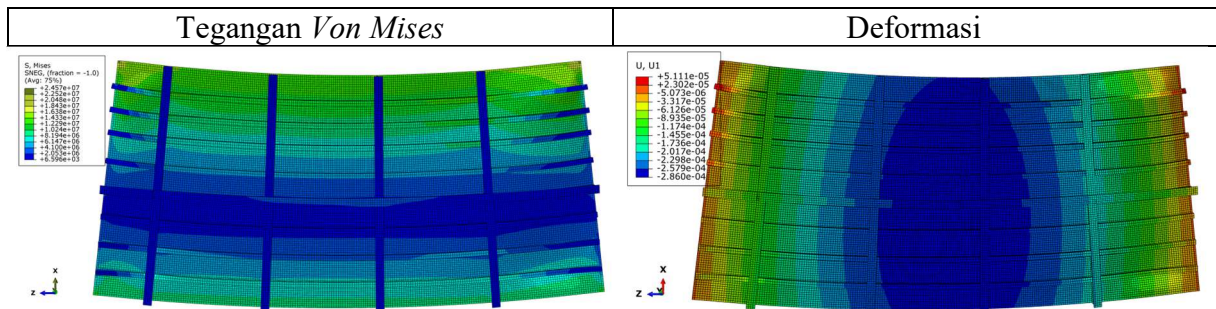
2. Model 2



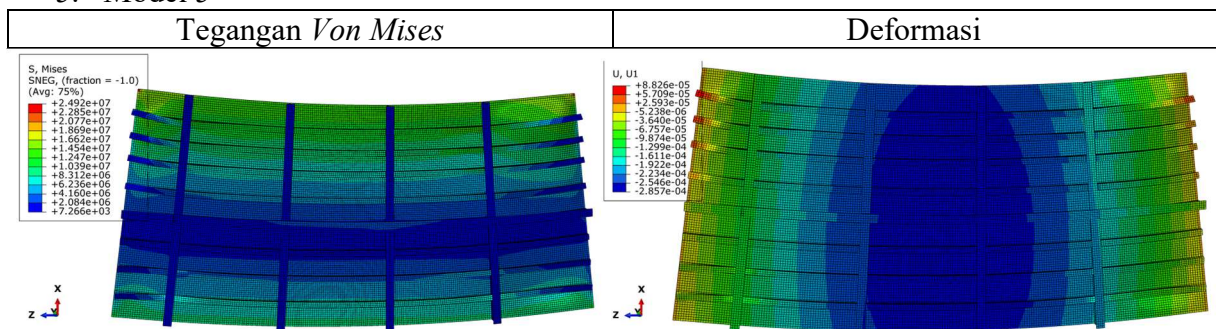
3. Model 3



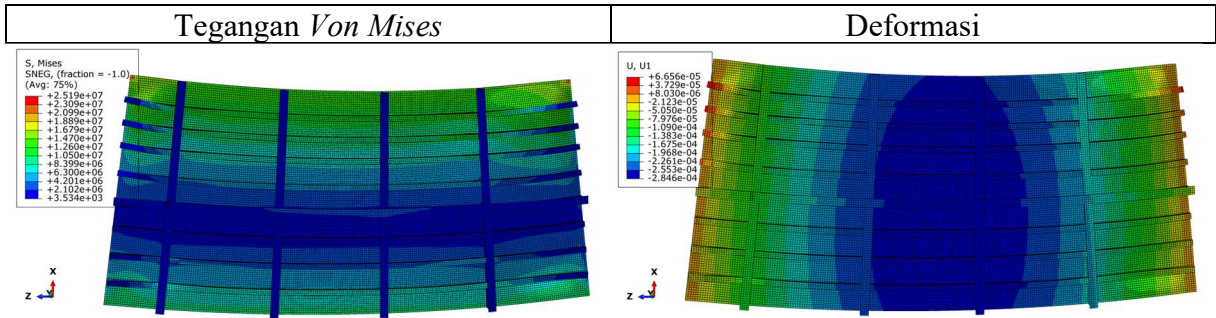
4. Model 4



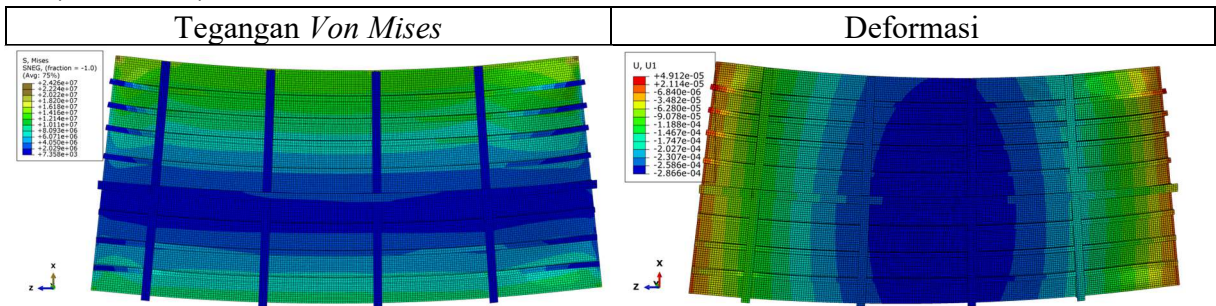
5. Model 5



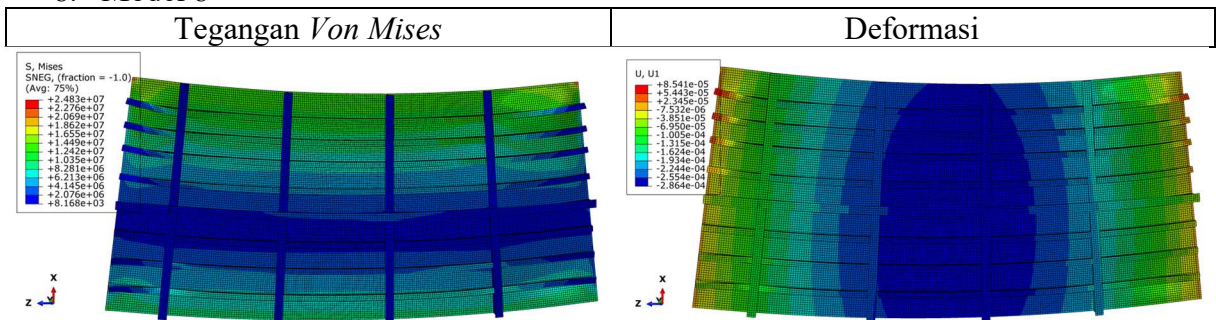
6. Model 6



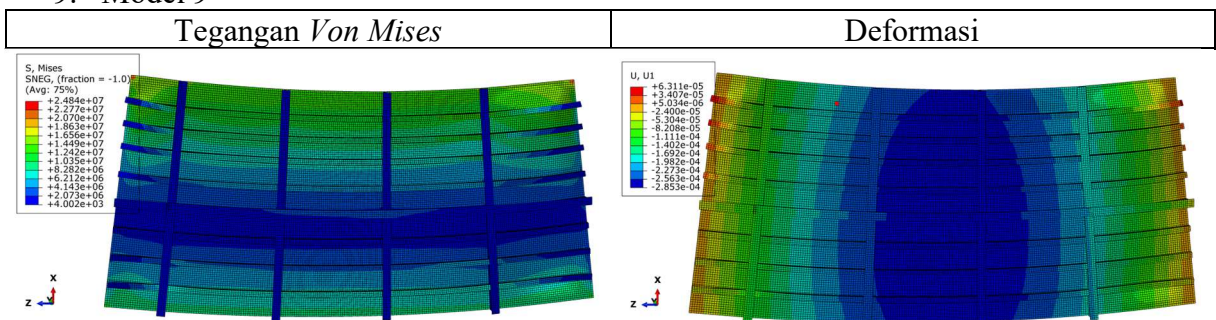
7. Model 7



8. Model 8

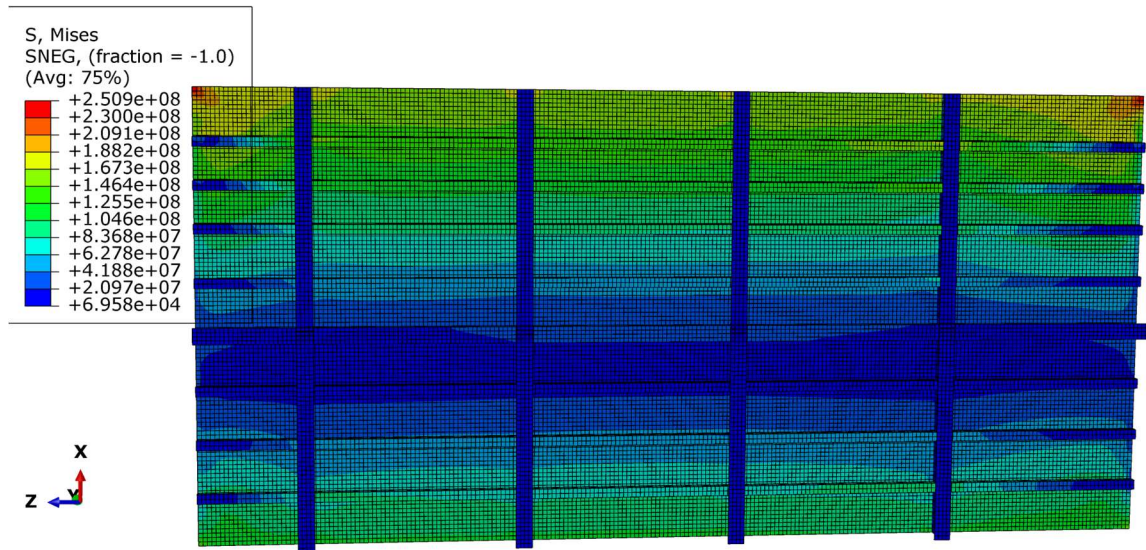


9. Model 9

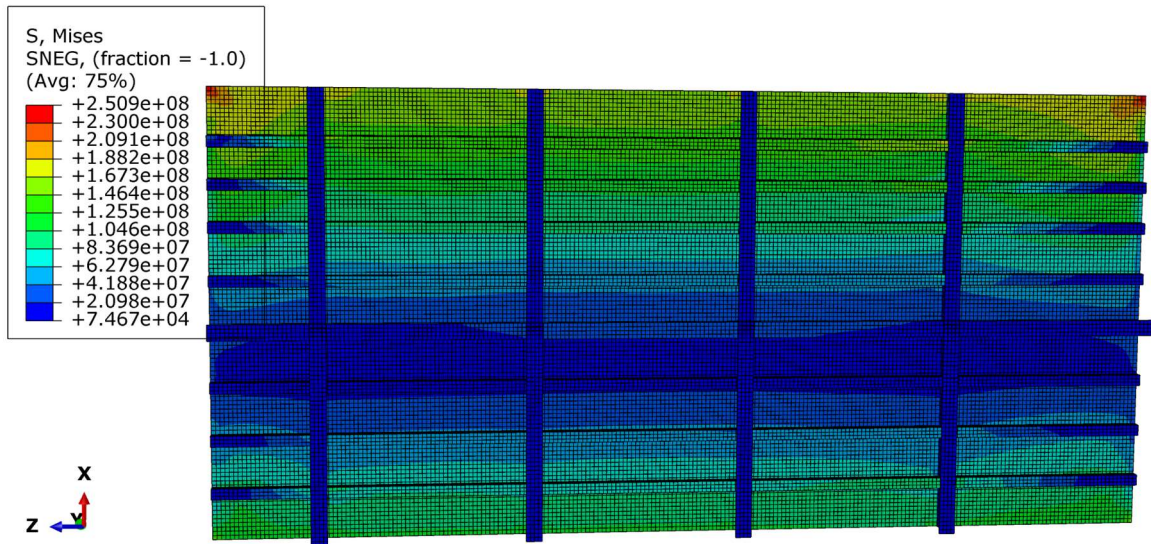


- Kondisi *Yield*

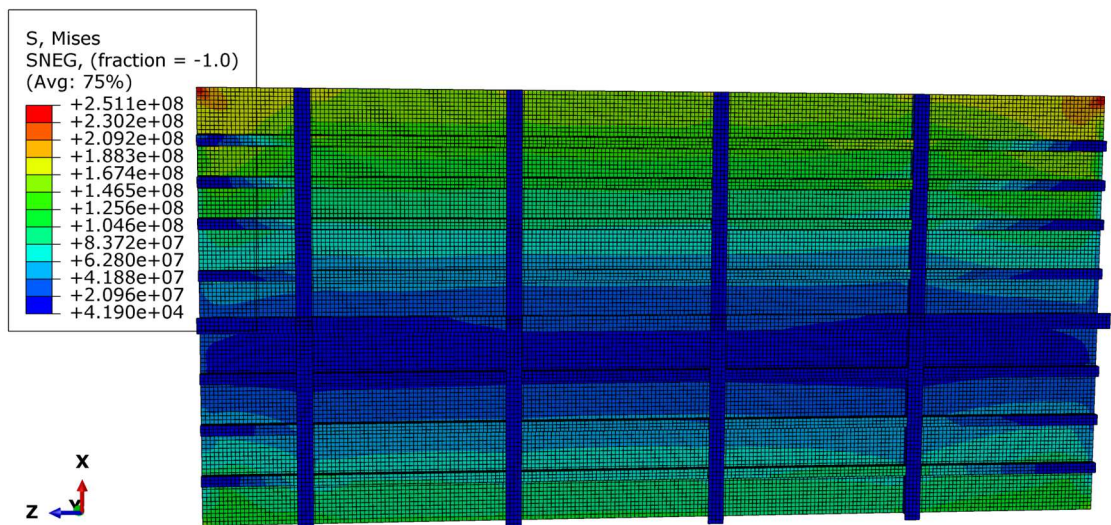
1. Model 1



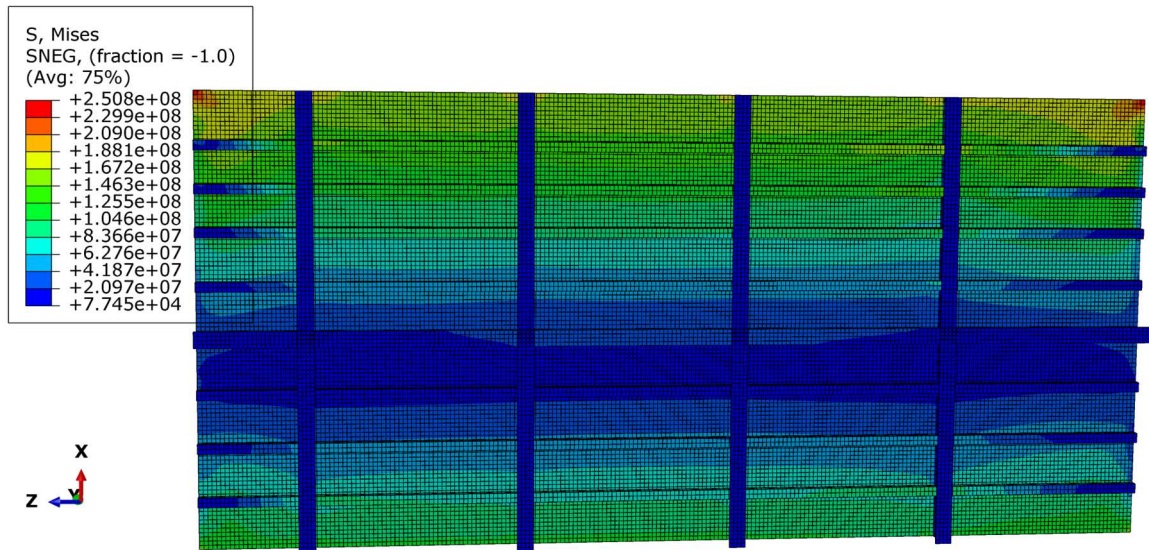
2. Model 2



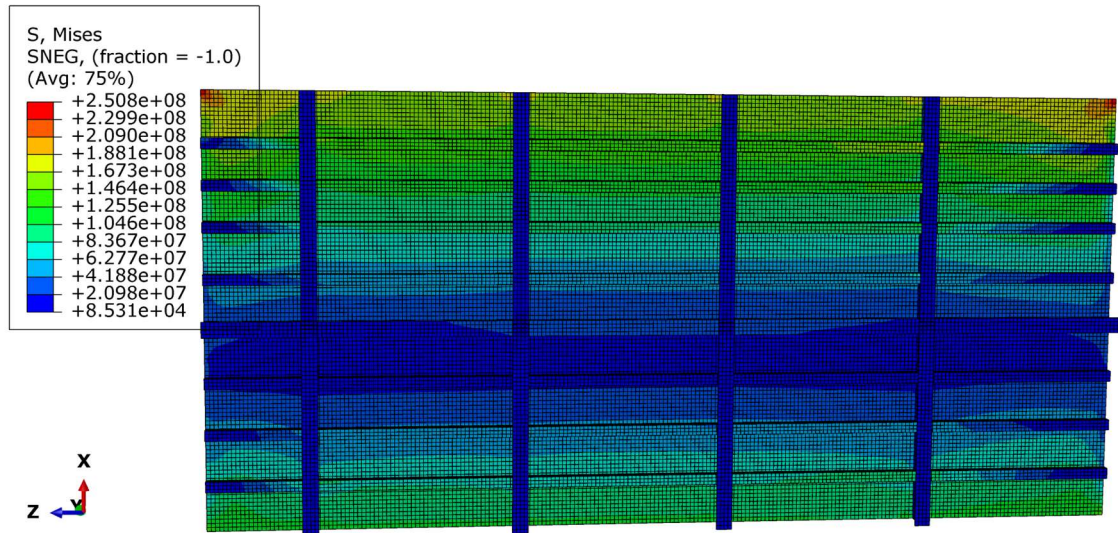
3. Model 3



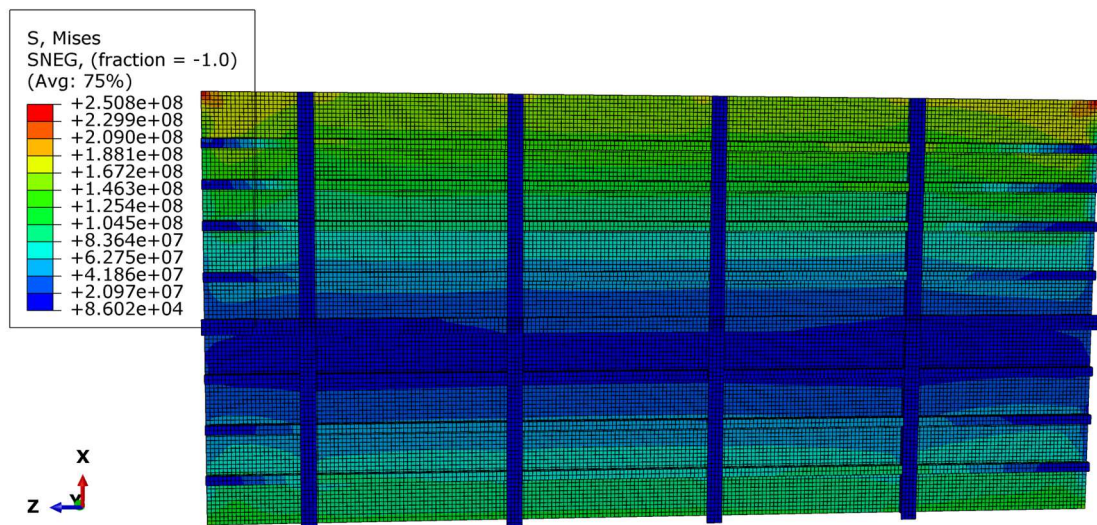
4. Model 4



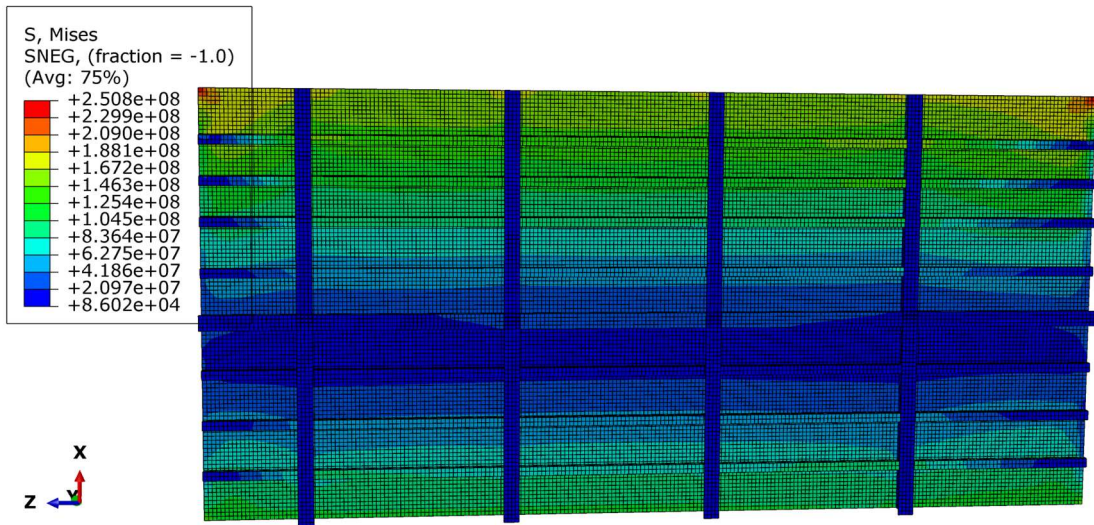
5. Model 5



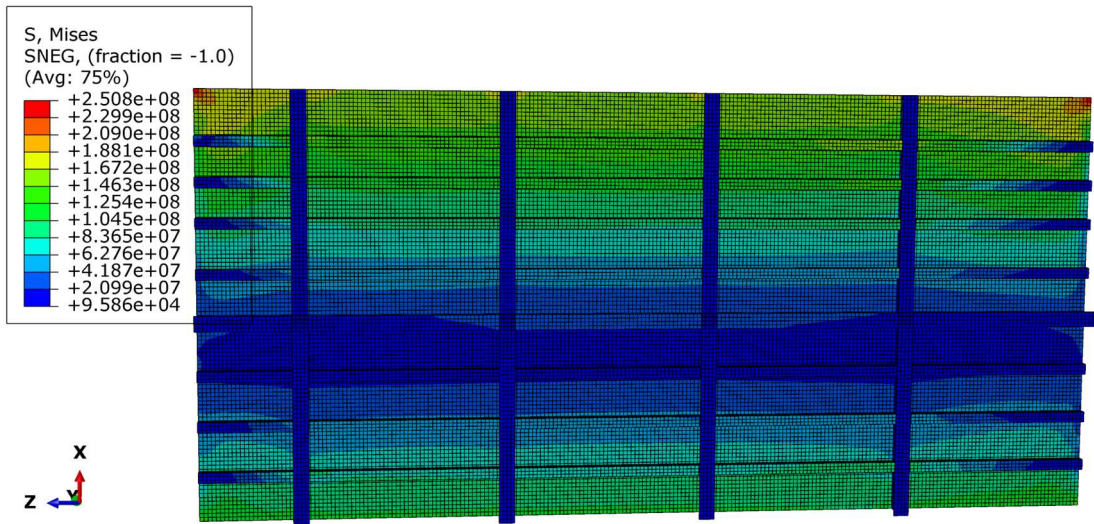
6. Model 6



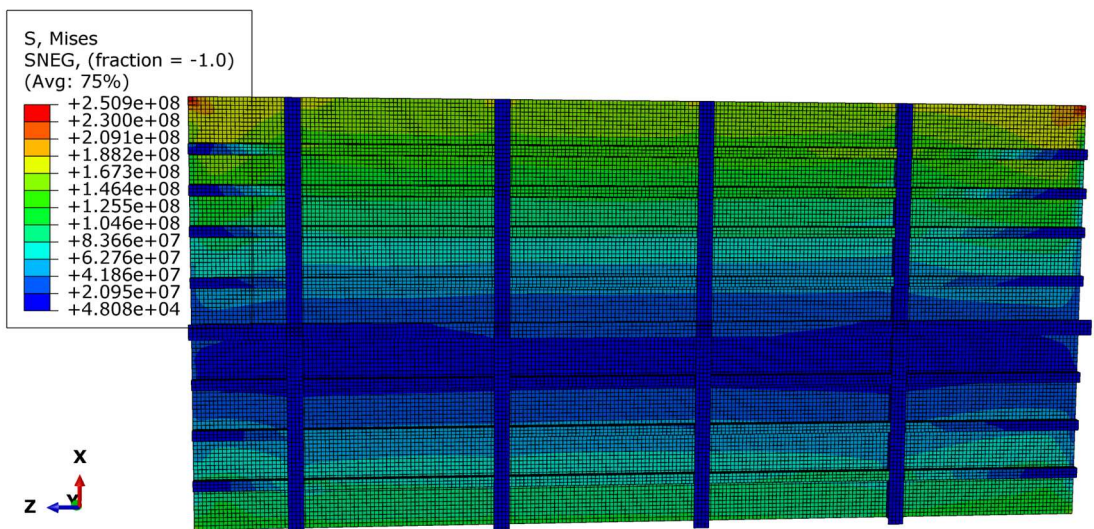
7. Model 7



8. Model 8



9. Model 9



BIODATA PENULIS



Hafifah Aprilia Indrianingrum, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Surabaya 13 April 2004 silam, Penulis merupakan anak pertama dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Dharma Wanita, kemudian melanjutkan ke SDN Gelam II, SMPN 3 Sidoarjo dan SMA HANG TUAH 5. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2021 melalui jalur SBMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Struktur Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff* Departemen Sosial Masyarakat BEM FTK ITS 2023/2024 serta *staff* Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa Himatekpal 2023/2024.

Email: 5018211062@student.ac.id/apriliahafifah13@gmail.com