



TUGAS AKHIR - MN 234801

**ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR *TOWING HOOK* PADA
TUGBOAT MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Ahmad Fatih Arkan Hanif
NRP 5018211012**

**Dosen Pembimbing
Ir. Mohammad Nurul Misbah, S.T., M.T.
Ir. Rizky Chandra Ariesta, S.T., M.T.**

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



TUGAS AKHIR - MN 234801

ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR *TOWING HOOK* PADA *TUGBOAT* MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Ahmad Fatih Arkan Hanif
NRP 5018211012

Dosen Pembimbing
Ir. Mohammad Nurul Misbah, S.T., M.T.
Ir. Rizky Chandra Ariesta, S.T., M.T.

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



FINAL PROJECT - MN 234801

STRENGTH ANALYSIS OF TOWING HOOK STRUCTURE ON TUGBOAT USING FINITE ELEMENT METHOD

Ahmad Fatih Arkan Hanif
NRP 5018211012

Supervisor
Ir. Mohammad Nurul Misbah, S.T., M.T.
Ir. Rizky Chandra Ariesta, S.T., M.T.

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

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR *TOWING HOOK* PADA *TUGBOAT* MENGGUNAKAN 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:

AHMAD FATIH ARKAN HANIF
NRP 5018211012

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing II



Ir. Rizky Chandra Ariesta, S.T., M.T.
NIP 19960803 202406 1 001

Dosen Pembimbing I



Ir. Mohammad Nurul Misbah, S.T., M.T.
NIP 19730404 199702 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Ir. Teguh Putranto, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 19900513 201404 1 001

SURABAYA, 28 JULI 2025

LEMBAR REVISI

ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR *TOWING HOOK* PADA *TUGBOAT* MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 21 Juli 2025

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

Oleh:

AHMAD FATIH ARKAN HANIF
NRP 5018211012

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T., M.T.
2. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
3. Dr. Ir. Dony Setyawan, S.T., M.Eng., IPU



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Mohammad Nurul Misbah, S.T., M.T.
2. Ir. Rizky Chandra Ariesta, S.T., M.T.



SURABAYA, 28 JULI 2025

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

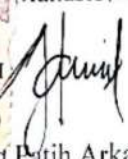
Nama mahasiswa / NRP : Ahmad Fatih Arkan Hanif / 5018211012
Departemen : Teknik Perkapalan
Dosen Pembimbing / NIP : Ir. Mohammad Nurul Misbah, S.T., M.T./
19730404 199702 1 001
Ir. Rizky Chandra Ariesta, S.T., M.T./
19960803 202406 1 001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisis Kekuatan Struktur *Towing Hook* Pada *Tugboat* Menggunakan 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, 28 Juli 2025

Mengetahui,

Mahasiswa

Ahmad Fatih Arkan Hanif
NRP 5018211012



Dosen Pembimbing II



Ir. Rizky Chandra Ariesta, S.T., M.T.
NIP 19960803 202406 1 001

Dosen Pembimbing I



Ir. Mohammad Nurul Misbah, S.T., M.T.
NIP 19730404 199702 1 001

HALAMAN PERUNTUKAN

Dipersembahkan kepada ibuku Wiji Sanjaya 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. Mohammad Nurul Misbah, S.T., M.T. dan Ir. Rizky Chandra Ariesta, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Tim Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
3. Ir. Mohammad Nurul Misbah, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Struktur Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
4. Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc. selaku Dosen Wali atas bimbingan selama perkuliahan di Departemen Teknik Perkapalan FTK-ITS.
5. Ibu dan kedua adik Penulis yang senantiasa memberikan dukungan dan motivasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini;
6. Mas Richard, Mas Alif, dan Yogi yang telah memberikan banyak pertolongan dan ilmu selama pengerjaan Tugas Akhir ini;
7. Hana Bahesti Rachima yang telah memberikan bantuan dan dukungan sepanjang pengerjaan Tugas Akhir ini;
8. Teman-teman angkatan P-61 Panzerschiffe yang telah berjuang bersama dalam pengerjaan Tugas Akhir;
9. Semua pihak yang telah membantu penyelesaian Tugas Akhir ini dan tidak dapat disebutkan satu per satu.

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, 7 Agustus 2025

Ahmad Fatih Arkan Hanif

ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR *TOWING HOOK* PADA *TUGBOAT* MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Nama Mahasiswa : Ahmad Fatih Arkan Hanif
NRP : 5018211012
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Mohammad Nurul Misbah, S.T., M.T.
2. Ir. Rizky Chandra Ariesta, S.T., M.T.

ABSTRAK

Operasi penarikan kapal menggunakan *tugboat* merupakan aktivitas penting dalam dunia pelayaran, di mana struktur *towing hook* berperan sebagai komponen dalam menerima gaya tarik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan struktur *towing hook* pada *tugboat* terhadap variasi *load case* penarikan *barge* dan ketebalan kupingan *towing hook* menggunakan metode elemen hingga. Simulasi dilakukan dalam dua tahap yaitu simulasi penarikan *barge* menggunakan Ansys AQWA dan simulasi struktur *towing hook* menggunakan Ansys *Static Structural*. Empat variasi *load case* yang dianalisis meliputi sudut tarikan 0°, 45°, kondisi *trim by stern*, dan *trim by bow* dengan variasi ketebalan kupingan *towing hook* sebesar 20 mm, 22 mm, dan 24 mm. Hasil menunjukkan gaya tarik tertinggi terjadi pada kondisi *trim by bow* sebesar 241,584 kN, sedangkan tegangan maksimum yang dihasilkan masih berada di bawah batas izin BKI. Penelitian ini menunjukkan bahwa struktur *towing hook* memiliki desain struktural yang kuat untuk menghadapi beberapa kondisi operasional.

Kata kunci: *towing hook*, *tugboat*, tegangan izin, metode elemen hingga.

STRENGTH ANALYSIS OF TOWING HOOK STRUCTURE ON TUGBOAT USING FINITE ELEMENT METHOD

Author : Ahmad Fatih Arkan Hanif
Student Number : 5018211012
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : 1. Ir. Mohammad Nurul Misbah, S.T., M.T.
2. Ir. Rizky Chandra Ariesta, S.T., M.T.

ABSTRACT

Towing operations using tugboats are critical activities in maritime operations, where the towing hook structure functions as a key component in receiving towing forces. This study aims to analyze the structural strength of the towing hook on a tugboat under various load cases during barge towing operations, as well as different lug plate thicknesses, using the finite element method. The simulation is conducted in two stages: barge towing simulation using Ansys AQWA and structural analysis of the towing hook using Ansys Static Structural. Four load case variations are analyzed, including towing angles of 0°, 45°, trim by stern, and trim by bow, with lug plate thickness variations of 20 mm, 22 mm, and 24 mm. The results show that the highest towing force occurs under the trim by bow condition, reaching 241.584 kN, while the maximum stress remains below the allowable limit specified by BKI. This study demonstrates that the towing hook structure possesses adequate structural strength to withstand various operational conditions.

Keywords: towing hook, tugboat, allowable stress, finite element method

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
LEMBAR REVISI.....	vi
HALAMAN PERUNTUKAN.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
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. Penarikan Kapal	5
2.1.2. Karakteristik Hidrostatik Kapal	6
2.1.3. Gerakan Kapal	7
2.1.4. Arah Datang Gelombang.....	7
2.1.5. Frekuensi Natural	8
2.1.6. Struktur <i>Towing Hook</i>	9
2.1.7. Tumpuan.....	10
2.1.8. Tegangan Normal.....	11
2.1.9. Tegangan Geser.....	11
2.1.10. Tegangan Von Mises.....	12
2.1.11. Deformasi	12
2.1.12. Tegangan Izin Maksimum pada Struktur <i>Towing Hook</i>	13
2.1.13. Metode Elemen Hingga.....	14
2.1.14. Faktor Keamanan	16
2.2. Tinjauan Pustaka.....	16
BAB 3 METODOLOGI.....	19
3.1. Bagan Alir	19
3.2. Pengumpulan Data dan Studi Literatur.....	20
3.3. Perhitungan <i>Bollard Pull</i>	24
3.4. Pemodelan dan Simulasi Penarikan <i>Barge</i>	25
3.4.1. Pemodelan Lambung.....	25
3.4.2. Simulasi Ansys AQWA.....	30
3.5. Pemodelan dan Simulasi Struktur <i>Towing Hook</i>	37
3.5.1. Pemodelan Struktur <i>Towing Hook</i>	37
3.5.2. Simulasi Ansys <i>Static Structural</i>	38

3.6. Konvergensi <i>Meshing</i>	40
3.7. Perbandingan Beban Tarik Hasil Simulasi dan Perhitungan <i>Bollard Pull</i>	40
BAB 4 ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1. Analisis Konvergensi Model	43
4.2. Analisis Simulasi Penarikan Barge.....	47
4.2.1. Validasi Model Berdasarkan Data Hidrostatik	47
4.2.2. Analisis Tekanan Hidrodinamik Terhadap Panel Lambung.....	48
4.2.3. Analisis Frekuensi Natural Gerakan Kapal	50
4.2.4. Analisis Gaya Tarik yang Dihasilkan.....	53
4.3. Analisis Simulasi Struktur <i>Towing Hook</i>	55
4.3.1. Analisis Tegangan dan Deformasi Maksimum pada <i>Load Case 0°</i>	55
4.3.2. Analisis Tegangan dan Deformasi Maksimum pada <i>Load Case 45°</i>	62
4.3.3. Analisis Tegangan dan Deformasi Maksimum pada <i>Load Case Trim by Stern</i> 69	
4.3.4. Analisis Tegangan dan Deformasi Maksimum pada <i>Load Case Trim by Bow</i>	75
4.3.5. Perbandingan Tegangan Maksimum dengan Tegangan Izin BKI	82
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	87
5.1. Kesimpulan.....	87
5.2. Saran	87
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN	
LAMPIRAN A <i>Linesplan Tugboat</i>	
LAMPIRAN B <i>Construction Profile Tugboat</i>	
LAMPIRAN C <i>Towing & Bolder Construction Tugboat</i>	
LAMPIRAN D Data Ketinggian Gelombang Laut	
LAMPIRAN E Perhitungan Tegangan Izin BKI	
LAMPIRAN F Hasil <i>Running</i> Variasi Model	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penarikan <i>Barge</i>	5
Gambar 2.2 Enam Derajat Kebebasan Kapal	7
Gambar 2.3 Arah Datang Gelombang Terhadap Kapal	8
Gambar 2.4 Tumpuan Jepit	10
Gambar 2.5 Tumpuan Rol.....	10
Gambar 2.6 Tumpuan Engsel	10
Gambar 2.7 <i>Permissible Stress For Towing Gear</i>	14
Gambar 2.8 Elemen Satu Dimensi.....	15
Gambar 2.9 Elemen Dua Dimensi	15
Gambar 2.10 Elemen Tiga Dimensi.....	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Penelitian	19
Gambar 3.2 <i>Lines Plan Tugboat</i>	21
Gambar 3.3 <i>Construction Profile Tugboat</i>	21
Gambar 3.4 <i>Towing & Bolder Construction Tugboat</i>	22
Gambar 3.5 <i>Sample Design Barge</i>	22
Gambar 3.6 Kedalaman Laut di Wilayah Operasional Kapal	23
Gambar 3.7 Data Ketinggian Gelombang di Wilayah Operasional Kapal Tahun 2024	24
Gambar 3.8 Impor <i>Lines Plan Tugboat</i>	25
Gambar 3.9 Pengaturan <i>Image Reference Point</i>	26
Gambar 3.10 Lambung <i>Tugboat</i> di Maxsurf.....	26
Gambar 3.11 <i>Design Grid</i>	26
Gambar 3.12 Ekspor Geometri Lambung <i>Tugboat</i>	27
Gambar 3.13 Geometri <i>Tugboat</i> di Rhinoceros.....	27
Gambar 3.14 <i>File Sample Design Barge</i>	28
Gambar 3.15 <i>Parametric Transformation</i>	28
Gambar 3.16 <i>Frame of Reference</i>	29
Gambar 3.17 Geometri <i>Barge</i> di Rhinoceros	29
Gambar 3.18 Geometri Lambung di DesignModeler	30
Gambar 3.19 Posisi 0°	30
Gambar 3.20 Posisi 45°	31
Gambar 3.21 Posisi <i>Trim by Stern</i>	31
Gambar 3.22 Kondisi <i>Trim by Bow</i>	31
Gambar 3.23 Pembagian Lambung <i>Tugboat</i> dan <i>Barge</i>	32
Gambar 3.24 <i>Part</i>	32
Gambar 3.25 <i>Point Mass Tugboat</i> (a) dan <i>Point Mass Barge</i> (b)	33
Gambar 3.26 <i>Connection Point Tugboat</i> (a) dan <i>Connection Point Barge</i> (b).....	33
Gambar 3.27 Titik <i>Connection Point</i>	34
Gambar 3.28 <i>Catenary Section</i>	34
Gambar 3.29 <i>Cable</i>	34
Gambar 3.30 <i>Meshing Model Lambung</i>	35
Gambar 3.31 <i>Analysis Setting</i> pada <i>Hydrodynamic Diffraction</i>	35
Gambar 3.32 <i>Structure Selection</i>	36
Gambar 3.33 Pengaturan <i>Wave Directions</i>	36
Gambar 3.34 <i>Analysis Setting</i> pada <i>Hydrodynamic Response</i>	36

Gambar 3.35 Model Struktur <i>Towing Hook</i>	37
Gambar 3.36 <i>Engineering Data</i>	38
Gambar 3.37 Geometri Struktur <i>Towing Hook</i>	38
Gambar 3.38 <i>Meshing</i> Pada Model Struktur <i>Towing Hook</i>	39
Gambar 3.39 <i>Boundary Condition</i>	39
Gambar 3.40 Gaya Tarik Maksimum pada Setiap <i>Load Case</i>	41
Gambar 3.41 Hasil Tegangan <i>Deck Plate</i> Variasi <i>Trim by Bow</i>	80
Gambar 3.42 Hasil Deformasi <i>Deck Plate</i> Variasi <i>Trim by Bow</i>	80
Gambar 4.1 Grafik Konvergensi Simulasi Penarikan Barge Variasi 0°	43
Gambar 4.2 Grafik Konvergensi Simulasi Penarikan Barge Variasi 45°	44
Gambar 4.3 Grafik Konvergensi Simulasi Penarikan Barge Variasi <i>Trim by Stern</i>	44
Gambar 4.4 Grafik Konvergensi Simulasi Penarikan Barge Variasi <i>Trim by Bow</i>	45
Gambar 4.5 Grafik Konvergensi Simulasi Struktur <i>Towing Hook</i> Variasi 0°	45
Gambar 4.6 Grafik Konvergensi Simulasi Struktur <i>Towing Hook</i> Variasi 45°	46
Gambar 4.7 Grafik Konvergensi Simulasi Struktur <i>Towing Hook</i> Variasi <i>Trim by Stern</i>	46
Gambar 4.8 Grafik Konvergensi Simulasi Struktur <i>Towing Hook</i> Variasi <i>Trim by Bow</i>	47
Gambar 4.9 Tekanan Hidrodinamik Panel Lambung Variasi 0°	48
Gambar 4.10 Tekanan Hidrodinamik Panel Lambung Variasi 45°	49
Gambar 4.11 Tekanan Hidrodinamik Panel Lambung Variasi <i>Trim by Stern</i>	49
Gambar 4.12 Tekanan Hidrodinamik Panel Lambung Variasi <i>Trim by Bow</i>	50
Gambar 4.13 Grafik <i>Natural Modes</i> Variasi 0°	50
Gambar 4.14 Grafik <i>Natural Modes</i> Variasi 45°	51
Gambar 4.15 Grafik <i>Natural Modes</i> Variasi <i>Trim by Stern</i>	52
Gambar 4.16 Grafik <i>Natural Modes</i> Variasi <i>Trim by Bow</i>	52
Gambar 4.17 Grafik Gaya Tarik yang Dihasilkan Terhadap Frekuensi Gelombang Variasi 0°	53
Gambar 4.18 Grafik Gaya Tarik yang Dihasilkan Terhadap Frekuensi Gelombang Variasi 45°	54
Gambar 4.19 Grafik Gaya Tarik yang Dihasilkan Terhadap Frekuensi Gelombang Variasi <i>Trim by Stern</i>	54
Gambar 4.20 Grafik Gaya Tarik yang Dihasilkan Terhadap Frekuensi Gelombang Variasi <i>Trim by Bow</i>	54
Gambar 4.21 Hasil Tegangan <i>All Structure</i> Variasi 0°	55
Gambar 4.22 Hasil Deformasi <i>All Structure</i> Variasi 0°	56
Gambar 4.23 Hasil Tegangan <i>Towing Hook Foundation</i> Variasi 0°	57
Gambar 4.24 Hasil Deformasi <i>Towing Hook Foundation</i> Variasi 0°	57
Gambar 4.25 Hasil Tegangan <i>Base Connection</i> Variasi 0°	58
Gambar 4.26 Hasil Deformasi <i>Base Connection</i> Variasi 0°	58
Gambar 4.27 Hasil Tegangan <i>Deck Plate</i> Variasi 0°	59
Gambar 4.28 Hasil Deformasi <i>Deck Plate</i> Variasi 0°	60
Gambar 4.29 Hasil Tegangan <i>Deck Beam</i> Variasi 0°	61
Gambar 4.30 Hasil Deformasi <i>Deck Beam</i> Variasi 0°	61
Gambar 4.31 Hasil Tegangan <i>All Structure</i> Variasi 45°	62
Gambar 4.32 Hasil Deformasi <i>All Structure</i> Variasi 45°	63
Gambar 4.33 Hasil Tegangan <i>Towing Hook Foundation</i> Variasi 45°	64
Gambar 4.34 Hasil Deformasi <i>Towing Hook Foundation</i> Variasi 45°	64
Gambar 4.35 Hasil Tegangan <i>Base Connection</i> Variasi 45°	65
Gambar 4.36 Hasil Deformasi <i>Base Connection</i> Variasi 45°	65
Gambar 4.37 Hasil Tegangan <i>Deck Plate</i> Variasi 45°	66

Gambar 4.38 Hasil Deformasi <i>Deck Plate</i> Variasi 45°	67
Gambar 4.39 Hasil Tegangan <i>Deck Beam</i> Variasi 45°	68
Gambar 4.40 Hasil Deformasi <i>Deck Beam</i> Variasi 45°	68
Gambar 4.41 Hasil Tegangan <i>All Structure</i> Variasi <i>Trim by Stern</i>	69
Gambar 4.42 Hasil Deformasi <i>All Structure</i> Variasi <i>Trim by Stern</i>	69
Gambar 4.43 Hasil Tegangan <i>Towing Hook Foundation</i> Variasi <i>Trim by Stern</i>	70
Gambar 4.44 Hasil Deformasi <i>Towing Hook Foundation</i> Variasi <i>Trim by Stern</i>	71
Gambar 4.45 Hasil Tegangan <i>Base Connection</i> Variasi <i>Trim by Stern</i>	72
Gambar 4.46 Hasil Deformasi <i>Base Connection</i> Variasi <i>Trim by Stern</i>	72
Gambar 4.47 Hasil Tegangan <i>Deck Plate</i> Variasi <i>Trim by Stern</i>	73
Gambar 4.48 Hasil Deformasi <i>Deck Plate</i> Variasi <i>Trim by Stern</i>	73
Gambar 4.49 Hasil Tegangan <i>Deck Beam</i> Variasi <i>Trim by Stern</i>	74
Gambar 4.50 Hasil Deformasi <i>Deck Beam</i> Variasi <i>Trim by Stern</i>	75
Gambar 4.51 Hasil Tegangan <i>All Structure</i> Variasi <i>Trim by Bow</i>	76
Gambar 4.52 Hasil Deformasi <i>All Structure</i> Variasi <i>Trim by Bow</i>	76
Gambar 4.53 Hasil Tegangan <i>Towing Hook Foundation</i> Variasi <i>Trim by Bow</i>	77
Gambar 4.54 Hasil Deformasi <i>Towing Hook Foundation</i> Variasi <i>Trim by Bow</i>	77
Gambar 4.55 Hasil Tegangan <i>Base Connection</i> Variasi <i>Trim by Bow</i>	78
Gambar 4.56 Hasil Deformasi <i>Base Connection</i> Variasi <i>Trim by Bow</i>	79
Gambar 4.57 Hasil Tegangan <i>Deck Beam</i> Variasi <i>Trim by Bow</i>	81
Gambar 4.58 Hasil Deformasi <i>Deck Beam</i> Variasi <i>Trim by Bow</i>	81
Gambar 4.59 Perbandingan Tegangan Maksimum dengan Tegangan Izin BKI pada Setiap Variasi	85

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Ukuran Utama <i>Tugboat</i>	20
Tabel 3.2 Ukuran Utama <i>Barge</i>	20
Tabel 3.3 Spesifikasi <i>Towrope</i>	23
Tabel 3.4 Perbandingan Beban Tarik Hasil Simulasi dan Perhitungan <i>Bollard Pull</i>	40
Tabel 4.1 Konvergensi Simulasi Penarikan <i>Barge</i> Variasi 0°	43
Tabel 4.2 Konvergensi Simulasi Penarikan <i>Barge</i> Variasi 45°	43
Tabel 4.3 Konvergensi Simulasi Penarikan <i>Barge</i> Variasi <i>Trim by Stern</i>	44
Tabel 4.4 Konvergensi Simulasi Penarikan <i>Barge</i> Variasi <i>Trim by Bow</i>	44
Tabel 4.5 Konvergensi Simulasi Struktur <i>Towing Hook</i> Variasi 0°	45
Tabel 4.6 Konvergensi Simulasi Struktur <i>Towing Hook</i> Variasi 45°	45
Tabel 4.7 Konvergensi Simulasi Struktur <i>Towing Hook</i> Variasi <i>Trim by Stern</i>	46
Tabel 4.8 Konvergensi Simulasi Struktur <i>Towing Hook</i> Variasi <i>Trim by Bow</i>	46
Tabel 4.9 Perbandingan Geometri Lambung <i>Tugboat</i> Pada Ansys AQWA dan Maxsurf	47
Tabel 4.10 Perbandingan Geometri Lambung <i>Barge</i> Pada Ansys AQWA dan Maxsurf	48
Tabel 4.11 Tekanan Maksimum dan Minimum Panel Lambung Variasi 0°	48
Tabel 4.12 Tekanan Maksimum dan Minimum Panel Lambung Variasi 45°	49
Tabel 4.13 Tekanan Maksimum dan Minimum Panel Lambung Variasi <i>Trim by Stern</i>	49
Tabel 4.14 Tekanan Maksimum dan Minimum Panel Lambung Variasi <i>Trim by Bow</i>	49
Tabel 4.15 Frekuensi Natural Variasi 0°	51
Tabel 4.16 Frekuensi Natural Variasi 45°	51
Tabel 4.17 Frekuensi Natural Variasi <i>Trim by Stern</i>	52
Tabel 4.18 Frekuensi Natural Variasi <i>Trim by Bow</i>	53
Tabel 4.19 Tegangan dan Deformasi Maksimum <i>All Structure</i> Variasi 0°	56
Tabel 4.20 Tegangan dan Deformasi Maksimum <i>Towing Hook Foundation</i> Variasi 0°	58
Tabel 4.21 Tegangan dan Deformasi Maksimum <i>Base Connection</i> Variasi 0°	59
Tabel 4.22 Tegangan dan Deformasi Maksimum <i>Deck Plate</i> Variasi 0°	60
Tabel 4.23 Tegangan dan Deformasi Maksimum <i>Deck Beam</i> Variasi 0°	62
Tabel 4.24 Tegangan dan Deformasi Maksimum <i>All Structure</i> Variasi 45°	63
Tabel 4.25 Tegangan dan Deformasi Maksimum <i>Towing Hook Foundation</i> Variasi 45°	65
Tabel 4.26 Tegangan dan Deformasi Maksimum <i>Base Connection</i> Variasi 45°	66
Tabel 4.27 Tegangan dan Deformasi Maksimum <i>Deck Plate</i> Variasi 45°	67
Tabel 4.28 Tegangan dan Deformasi Maksimum <i>Deck Beam</i> Variasi 45°	69
Tabel 4.29 Tegangan dan Deformasi Maksimum <i>All Structure</i> Variasi <i>Trim by Stern</i>	70
Tabel 4.30 Tegangan dan Deformasi Maksimum <i>Towing Hook Foundation</i> Variasi <i>Trim by Stern</i>	71
Tabel 4.31 Tegangan dan Deformasi Maksimum <i>Base Connection</i> Variasi <i>Trim by Stern</i>	73
Tabel 4.32 Tegangan dan Deformasi Maksimum <i>Deck Plate</i> Variasi <i>Trim by Stern</i>	74
Tabel 4.33 Tegangan dan Deformasi Maksimum <i>Deck Beam</i> Variasi <i>Trim by Stern</i>	75
Tabel 4.34 Tegangan dan Deformasi Maksimum <i>All Structure</i> Variasi <i>Trim by Bow</i>	77
Tabel 4.35 Tegangan dan Deformasi Maksimum <i>Towing Hook Foundation</i> Variasi <i>Trim by Bow</i>	78
Tabel 4.36 Tegangan dan Deformasi Maksimum <i>Base Connection</i> Variasi <i>Trim by Bow</i>	79
Tabel 4.37 Tegangan dan Deformasi Maksimum <i>Deck Plate</i> Variasi <i>Trim by Bow</i>	81
Tabel 4.38 Tegangan dan Deformasi Maksimum <i>Deck Beam</i> Variasi <i>Trim by Bow</i>	82

Tabel 4.39 Perbandingan Tegangan Maksimum dengan Tegangan Izin BKI Variasi 0°	82
Tabel 4.40 Perbandingan Tegangan Maksimum dengan Tegangan Izin BKI Variasi 45°	83
Tabel 4.41 Perbandingan Tegangan Maksimum dengan Tegangan Izin BKI Variasi <i>Trim by Stern</i>	84
Tabel 4.42 Perbandingan Tegangan Maksimum dengan Tegangan Izin BKI Variasi <i>Trim by Bow</i>	84

DAFTAR SIMBOL

σ	: Tegangan normal (MPa)
P	: Gaya yang bekerja dalam arah tegak lurus terhadap penampang (N)
A	: Luas penampang (m ²)
τ	: Tegangan geser (Mpa)
V	: Gaya yang bekerja dalam arah sejajar terhadap penampang (N)
σ_v	: Tegangan Von Mises (MPa)
σ_x	: Tegangan arah sumbu x (MPa)
σ_y	: Tegangan arah sumbu y (MPa)
σ_z	: Tegangan arah sumbu z (MPa)
τ_{xy}	: Tegangan geser arah sumbu xy (MPa)
τ_{xz}	: Tegangan geser arah sumbu xz (MPa)
τ_{yz}	: Tegangan geser arah sumbu yz (MPa)
E	: Modulus Young atau modulus elastisitas (MPa)
ε	: Regangan
ΔL	: Perubahan panjang (m)
L	: Panjang konstruksi kapal (m)
Vs	: Kecepatan dinas kapal (knot)
k	: Faktor material
σ_b	: Tegangan normal <i>bending</i> (MPa)
FoS	: <i>Factor of Safety</i>
σ_{perm}	: Tegangan izin (MPa)
σ_{max}	: Tegangan maksimum (MPa)
k_{xx}	: Radius girasi pada sumbu x (m)
k_{yy}	: Radius girasi pada sumbu y (m)
k_{zz}	: Radius girasi pada sumbu z (m)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Industri maritim memiliki peran vital dalam perekonomian global, mengingat lebih dari 80% perdagangan internasional dilakukan melalui jalur laut. Keandalan dan keselamatan operasi kapal sangat penting untuk menjamin kelancaran transportasi barang dan menghindari kecelakaan yang dapat menimbulkan kerugian besar, baik dari segi finansial maupun lingkungan. Salah satu pendukung operasi kapal yang penting adalah *tugboat*. *Tugboat* merupakan kapal pendukung yang memainkan peran utama dalam membantu kapal lain yang sulit bermanuver sendiri. Salah satu peran utama *tugboat* adalah penarikan kapal. Penarikan kapal merupakan bagian dari aktivitas penundaan dengan mempergunakan kapal tunda sesuai ketentuan yang dipersyaratkan, (Peraturan Menteri Perhubungan No.93 Tahun 2014). Dalam proses ini, perlengkapan tarik seperti *towing hook* memiliki peran krusial.

Towing hook harus didukung oleh struktur yang memiliki kekuatan yang memadai, mengingat komponen ini akan menerima gaya tarik yang sangat besar saat proses penundaan berlangsung. Seluruh beban dari *towrope* akan didistribusikan melalui struktur *towing hook* seperti *bracket*, *base plate*, dan *main deck*. Apabila struktur tersebut tidak dirancang dengan benar, maka dapat terjadi kegagalan struktur seperti deformasi plastis, retakan akibat kelelahan material (*fatigue*), atau bahkan kegagalan total yang dapat membahayakan keselamatan operasional kapal (Mulyatno & Alan, 2013).

Suatu metode analisis diperlukan untuk mengetahui kekuatan struktur *towing hook* yang mampu mengevaluasi kondisi tegangan dan deformasi secara detail. Salah satu pendekatan yang paling umum dan banyak digunakan dalam bidang rekayasa struktur adalah Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*). Metode ini memungkinkan visualisasi distribusi tegangan dan konsentrasi beban pada struktur yang kompleks secara numerik dan akurat, serta mampu memodelkan kondisi batas dan geometri yang tidak dapat diselesaikan secara analitik. Dengan demikian, perancang dapat mengevaluasi performa struktur *towing hook* terhadap berbagai variasi beban dan memastikan bahwa desain tersebut telah memenuhi batas keamanan yang ditetapkan untuk keperluan operasional. Oleh karena itu, metode elemen hingga menjadi

pendekatan yang esensial dalam memastikan bahwa struktur *towing hook* mampu beroperasi secara aman dalam kondisi beban tarik yang bervariasi.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diangkat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh perbedaan *load case* penarikan *barge* terhadap respons struktur dan gaya tarik yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh beban tarik terhadap tegangan dan deformasi struktur *towing hook*?
3. Bagaimana perbandingan antara tegangan maksimum yang terjadi pada struktur *towing hook* dengan tegangan yang diizinkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia?

1.3. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh perbedaan *load case* penarikan *barge* terhadap respons struktur dan gaya tarik yang dihasilkan.
2. Mengetahui pengaruh beban tarik terhadap tegangan dan deformasi struktur *towing hook*.
3. Mengetahui perbandingan antara tegangan maksimum yang terjadi pada struktur *towing hook* dengan tegangan yang diizinkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia.

1.4. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah, antara lain sebagai berikut:

1. Analisis kekuatan struktur dilakukan dengan simulasi menggunakan *software* Ansys.
2. Simulasi penarikan *barge* dilakukan tanpa mempertimbangkan dinamika olah gerak kapal.
3. Pemodelan mencakup lambung *tugboat* dan *barge* serta struktur lokal *tugboat* pada *frame* 10 sampai 25 meliputi struktur *towing hook* hingga *main deck*.
4. Perhitungan tegangan izin berdasarkan aturan Biro Klasifikasi Indonesia.
5. Variasi dilakukan pada *load case* penarikan *barge* meliputi sudut 0°, 45°, kondisi *trim by stern*, dan *trim by bow* serta ketebalan kupingan *towing hook* sebesar 20 mm, 22 mm, dan 24 mm.

1.5. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat, antara lain sebagai berikut:

1. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan kajian struktur *towing hook* dengan memperluas cakupan analisis, khususnya melalui pendekatan numerik terhadap kondisi pembebanan yang lebih variatif dan realistis.
2. Hasil penelitian ini dapat menjadi panduan untuk mengetahui kekuatan struktur *towing hook* pada *tugboat*, sehingga dapat membantu dalam merencanakan desain yang lebih kuat dan andal.
3. Penelitian ini dapat membantu industri perkapalan dalam meningkatkan keselamatan operasional dengan memastikan bahwa struktur *towing hook* mampu menahan beban tarik yang diterapkan tanpa mengalami kegagalan struktural.

1.6. Hipotesis

Struktur *towing hook* diduga mampu menahan beban tarik hasil simulasi dengan tegangan maksimum yang tidak melebihi tegangan izin.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

STUDI LITERATUR

2.1. Dasar Teori

Dalam pengerjaan penelitian ini, terdapat dasar teori yang berkaitan langsung dan digunakan dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut.

2.1.1. Penarikan Kapal

Penarikan kapal merupakan salah satu metode utama dalam mendukung aktivitas pelayaran. Proses penarikan ini umumnya dilakukan oleh kapal tunda (*tugboat*), yakni kapal kecil yang memiliki tenaga tinggi dengan kemampuan manuver yang sangat baik. *Tugboat* berfungsi untuk menarik atau mendorong kapal lain yang tidak dapat bergerak sendiri atau yang membutuhkan bantuan manuver pada kondisi tertentu, seperti saat bersandar, keluar dari galangan, atau dalam proses evakuasi (Rinaldi & Koenhardono, 2024).

Di Indonesia, *tugboat* sering digunakan untuk operasi penarikan *barge* seperti pada Gambar 2.1. Untuk menunjang operasi tersebut, *tugboat* dilengkapi dengan berbagai fitur. Salah satu fitur utamanya adalah sistem propulsi yang kuat dengan daya yang besar. Terdapat juga perlengkapan tarik seperti *towing hook* yang sangat penting untuk menahan beban tarik besar dengan kekuatan struktural yang tinggi. Selain itu, *tugboat* memiliki sistem komunikasi dan navigasi modern seperti radar, GPS, dan radio komunikasi untuk memastikan operasi berjalan lancar dan aman (Khrisdiyanto, 2024).



Gambar 2.1 Penarikan *Barge*
(Sumber: Maritime Mutual Insurance Association, 2020)

Selain aspek mekanis, penarikan kapal juga melibatkan aspek teknis seperti gaya tahan kapal (*resistance*), arah dan kekuatan arus, serta posisi penarikan apakah dilakukan secara *astern towing* (ditarik dari belakang) atau *push-pull* (didorong dari sisi samping). Perhitungan kekuatan tarik (*bollard pull*) *tugboat* menjadi variabel kunci dalam perencanaan operasi penarikan agar kapal tidak mengalami kerusakan struktural akibat distribusi beban yang tidak merata (Novri, 2018).

Secara keseluruhan, operasi penarikan kapal merupakan bagian penting dalam sistem transportasi laut yang memerlukan kolaborasi antara teknologi maritim, keahlian operasional, dan regulasi keselamatan untuk memastikan kelancaran dan keamanan pelayaran. Efektivitas penarikan kapal sangat dipengaruhi oleh desain teknis *tugboat*, spesifikasi peralatan *towing*, serta manajemen risiko (Cahyono, 2017).

2.1.2. Karakteristik Hidrostatik Kapal

Karakteristik hidrostatik kapal merupakan seperangkat parameter yang menggambarkan bagaimana sebuah kapal berinteraksi dengan air dalam kondisi diam atau setimbang. Parameter ini digunakan dalam desain lambung, analisis stabilitas, dan perencanaan operasional kapal. Di antara parameter penting dalam hidrostatik kapal adalah *draft*, *displacement*, *metacentric height*, dan *water plane area* (Rawson & Tupper, 2001).

Draft adalah jarak vertikal antara garis air dan dasar kapal yang terendam air. *Displacement* merupakan berat air yang dipindahkan oleh kapal, yang secara prinsip sama dengan berat kapal itu sendiri berdasarkan hukum Archimedes. *Metacentric height* dapat diukur dari *center of buoyancy* maupun *center of gravity* dimana ketinggiannya menunjukkan jarak terhadap pusat pendulum yang mempengaruhi kemampuan kapal untuk kembali ke posisi tegak setelah mengalami kemiringan (Lewis, 1988).

Data hidrostatik merupakan kumpulan informasi penting mengenai karakteristik apung kapal yang biasanya disajikan dalam bentuk kurva hidrostatik atau tabel hidrostatik (Muckle, 1983). Data ini mencakup berbagai parameter yang menjadi dasar utama dalam evaluasi stabilitas transversal dan longitudinal kapal. Evaluasi karakteristik hidrostatik sangat krusial karena memungkinkan perancang dan operator kapal untuk memprediksi respons kapal terhadap berbagai kondisi operasional termasuk perubahan beban, perpindahan muatan, dan pengaruh gelombang laut. Informasi ini juga digunakan untuk melakukan penyesuaian terhadap desain lambung kapal dan memastikan keselamatan kapal selama beroperasi di laut (Rawson & Tupper, 2001).

2.1.3. Gerakan Kapal

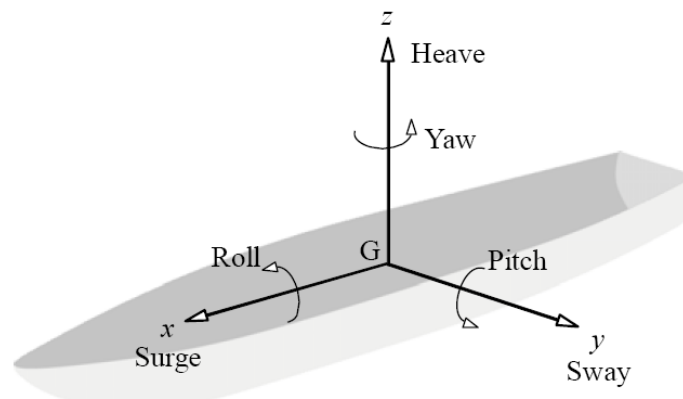
Saat kapal beroperasi di perairan yang bergelombang, pergerakannya sangat dipengaruhi oleh gelombang yang menghantam badan kapal. Selain itu, faktor-faktor lainnya seperti muatan, angin, serta arus laut baik di perairan dangkal maupun dalam juga turut memengaruhi dinamika gerak kapal. Gerakan kapal di laut dapat dikategorikan ke dalam enam derajat kebebasan (*degrees of freedom*) seperti pada Gambar 2.2 yang terbagi menjadi dua kelompok utama, yaitu gerakan translasi dan gerakan rotasi (Bhattacharya, 1978). Adapun keenam jenis gerakan tersebut meliputi:

1. Gerakan Translasi:

- *Surge*: gerakan translasi sepanjang sumbu longitudinal (x)
- *Sway*: gerakan translasi sepanjang sumbu lateral (y)
- *Heave*: gerakan translasi sepanjang sumbu vertikal (z)

2. Gerakan Rotasi:

- *Roll*: gerakan rotasi terhadap sumbu longitudinal (x)
- *Pitch*: gerakan rotasi terhadap sumbu lateral (y)
- *Yaw*: gerakan rotasi terhadap sumbu vertikal (z)



Gambar 2.2 Enam Derajat Kebebasan Kapal
(Sumber: Ma'ruf & Pranatal, 2020)

2.1.4. Arah Datang Gelombang

Arah datang gelombang merupakan sudut antara arah datangnya gelombang dengan arah datangnya kapal. Pada umumnya terdapat empat tipe sudut arah datangnya gelombang seperti pada Gambar 2.3 yang biasanya digunakan dalam proses analisis, yaitu:

a. *Following seas*

Arah datang gelombang searah dengan arah kapal, dengan kata lain gelombang datang dari buritan kapal menuju haluan. Sudut datang gelombang pada tipe ini yaitu 0° .

b. *Head seas*

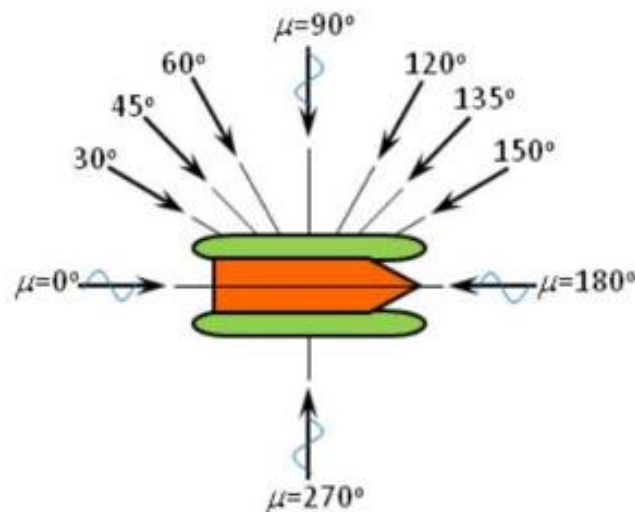
Arah datang gelombang berlawanan dengan arah kapal, dengan kata lain gelombang datang dari haluan kapal menuju buritan. Sudut datang pada tipe ini yaitu 180° .

c. *Beam seas*

Arah datang gelombang tegak lurus dengan arah kapal, dengan kata lain gelombang datang dari sisi kapal. ketika gelombang dari sisi kiri kapal maka sudut datang gelombang 90° atau biasa disebut *portbeam*. Sedangkan jika gelombang datang dari sisi kanan kapal, sudut datang gelombang yaitu 270° yang biasa disebut *starboardbeam*.

d. *Oblique seas*

Arah datang gelombang miring atau menyilang terhadap arah kapal, dengan kata lain gelombang datang dari sisi kanan haluan kapal menuju sisi kiri buritan kapal atau sebaliknya. Sudut datang gelombang pada tipe ini berbagai macam antara lain 45° , 135° , 215° , dan 315° . (Djarmiko, 2012)



Gambar 2.3 Arah Datang Gelombang Terhadap Kapal
(Sumber: Djarmiko, 2012)

2.1.5. Frekuensi Natural

Pada kondisi ideal dimana suatu sistem bergerak tanpa menerima redaman (*damping*), maka bila pada sistem tersebut diberikan simpangan dan kemudian dilepaskan, sistem tersebut akan berosilasi terus dengan amplitudo dan frekuensi yang tetap. Frekuensi adalah banyaknya *cycle* yang terjadi selama satu detik. Periode adalah kebalikan dari frekuensi yaitu waktu yang diperlukan untuk satu *cycle* terpendek pada suatu getaran. Dalam hal demikian, yang dinamakan sistem tak teredam atau *undamped* maka frekuensi geraknya disebut frekuensi natural dan periodenya disebut periode natural (Bhattacharya, 1978).

Frekuensi natural penting untuk diketahui pada suatu sistem dinamis yang bergerak dalam mode osilasi, seperti bangunan apung ataupun kapal di atas gelombang. Pemahaman tentang frekuensi natural akan memberikan acuan bagi perancang atau operator untuk menghindari terjadinya resonansi akan menjadi respon, gerakan bangunan apung dalam hal ini menjadi berlebihan dan tentunya akan membahayakan tingkat keselamatan dari bangunan laut tersebut.

2.1.6. Struktur *Towing Hook*

Towing hook atau kait penarik merupakan komponen vital dalam sistem penarikan kapal yang berfungsi sebagai titik sambung utama antara kapal utama dan kapal penunda (*tugboat*). Komponen ini berperan penting dalam mentransmisikan gaya tarik secara langsung dan stabil selama operasi penarikan, terutama pada kondisi laut yang dinamis dan penuh ketidakpastian. Berdasarkan ketentuan *Rules for the Classification and Survey of Steel Ships* yang dikeluarkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), *towing hook* harus dirancang menggunakan material baja berkekuatan tinggi yang mampu menahan beban tarik statik maupun dinamis. Selain itu, *towing hook* wajib dilengkapi dengan *quick release mechanism* sebagai langkah pengamanan untuk melepaskan sambungan secara cepat apabila terjadi lonjakan beban di luar batas desain. Proses perancangan dan instalasi *towing hook* harus disertai dengan uji beban statik, dan seluruh kelayakannya harus divalidasi oleh surveyor klasifikasi untuk memperoleh sertifikasi resmi (BKI, 2021).

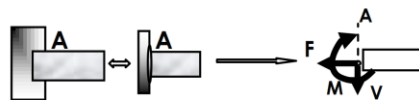
Dari sisi struktural, *towing hook* harus didukung oleh fondasi yang kuat agar gaya tarik yang ditransfer selama operasi tidak menyebabkan kegagalan lokal pada dek kapal. Komponen ini menerima beban tarik yang besar dan fluktuatif. Oleh karena itu, struktur pendukung perlu diperkuat menggunakan *base plate*, penegar (*stiffeners*), dan elemen struktural lain yang terintegrasi dengan sistem konstruksi kapal. Penguatan ini bertujuan untuk menyebarkan beban ke struktur sekitarnya dan menghindari konsentrasi tegangan pada area tertentu. Evaluasi kekuatan struktur dapat dilakukan dengan metode *Finite Element Analysis* (FEA), guna memastikan bahwa tegangan kerja tidak melebihi batas elastis material dan tidak terjadi konsentrasi tegangan (*stress concentration*) yang berpotensi menimbulkan retak atau kegagalan lokal. Selain itu, analisis juga mencakup penentuan faktor keamanan (*safety factor*) yang memadai terhadap variasi beban operasional serta ketidakpastian kondisi lingkungan. Seluruh tahapan mulai dari desain, fabrikasi, pengelasan, hingga inspeksi akhir harus mengikuti standar klasifikasi yang berlaku, seperti yang ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI, 2021).

2.1.7. Tumpuan

Menurut (Hibbler, 2011), tumpuan adalah tempat perletakan konstruksi untuk dukungan bagi konstruksi dalam meneruskan gaya-gaya yang bekerja menuju pondasi. Sifat-sifat gaya reaksi yang muncul pada suatu benda yang menerima beban tergantung bagaimana benda tersebut ditumpu. Tumpuan terdiri dari berbagai jenis yang dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Tumpuan Jepit

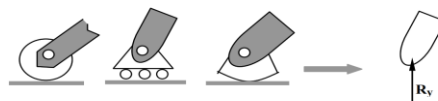
Tumpuan jepit merupakan tumpuan yang dapat menahan momen dan gaya dalam arah vertikal maupun horizontal. Pada Gambar 2.4 ditunjukkan gaya-gaya dan momen pada jepitan, dimana A adalah titik tumpuan, V gaya reaksi pada sumbu y dalam arah vertikal, F adalah gaya reaksi pada sumbu x dalam arah horizontal, dan M adalah momen.



Gambar 2.4 Tumpuan Jepit
(Sumber: Hibbler, 2011)

2. Tumpuan Rol

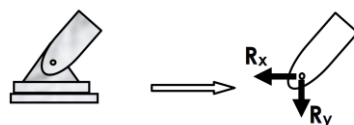
Tumpuan rol dapat menahan gaya vertikal yang bekerja padanya. Pada gambar 2.5 ditunjukkan gaya reaksi yang terjadi pada tumpuan rol, dimana R_y adalah gaya reaksi pada sumbu y dalam arah vertikal.



Gambar 2.5 Tumpuan Rol
(Sumber: Hibbler, 2011)

3. Tumpuan Engsel

Tumpuan engsel, juga dikenal sebagai tumpuan pin atau *hinge support* adalah jenis tumpuan yang memungkinkan rotasi bebas tetapi menahan perpindahan translasi (gerakan linier) dalam satu atau lebih arah. Ilustrasi tumpuan engsel dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Tumpuan Engsel
(Sumber: Hibbler, 2011)

2.1.8. Tegangan Normal

Tegangan normal merupakan salah satu parameter utama dalam analisis kekuatan material, yang digunakan untuk menggambarkan besarnya gaya internal per satuan luas yang timbul akibat adanya gaya aksial yang bekerja tegak lurus terhadap penampang suatu elemen struktur. Tegangan ini timbul ketika suatu komponen mengalami pembebanan tarik atau tekan yang terdistribusi merata pada penampang lintangnya. Apabila gaya bekerja menjauhi permukaan penampang, maka tegangan yang timbul disebut sebagai tegangan tarik (tensile stress), sedangkan apabila gaya bekerja mendekati penampang, maka disebut tegangan tekan (compressive stress). Tegangan normal ini secara matematis dirumuskan seperti pada Persamaan 2.1 (Hibbler, 2011).

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

Pemahaman tentang tegangan normal sangat penting dalam perancangan elemen struktural, karena tegangan ini berhubungan langsung dengan kapasitas suatu material untuk menahan beban tanpa mengalami kerusakan atau deformasi permanen. Jika tegangan yang bekerja melebihi batas elastis material, maka akan terjadi deformasi plastis yang berujung pada kegagalan struktural. Oleh karena itu, dalam perancangan sangat penting untuk memastikan bahwa tegangan yang terjadi akibat pembebanan operasional tidak melebihi batas tegangan izin dari material yang digunakan.

2.1.9. Tegangan Geser

Tegangan geser (*shear stress*) adalah gaya per satuan luas yang bekerja sejajar dengan bidang penampang suatu material. Tegangan ini berbeda dari tegangan normal yang bekerja tegak lurus terhadap penampang. Pada tegangan geser, gaya bekerja sepanjang bidang dan cenderung menggeser satu bagian material terhadap bagian lainnya. Secara matematis, tegangan geser dirumuskan seperti pada Persamaan 2.2. Dalam konteks mekanika bahan, konsep tegangan geser sangat penting karena banyak elemen struktur seperti baut, pin, dan sambungan mengalami gaya jenis ini selama operasi (Beer et al., 2015).

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (2.2)$$

Dalam praktik teknik, tegangan geser sering menjadi faktor kritis dalam menentukan keamanan suatu sambungan atau elemen struktural. Kegagalan akibat tegangan geser tidak selalu diawali oleh deformasi yang jelas, melainkan dapat terjadi secara tiba-tiba ketika gaya melebihi kekuatan geser material. Oleh karena itu, perancangan komponen yang rawan

terhadap geser harus memperhitungkan tidak hanya nilai gaya yang bekerja, tetapi juga konfigurasi sambungan, luas bidang geser, serta faktor keamanan yang memadai. Peninjauan terhadap kondisi-kondisi ini sangat penting untuk memastikan bahwa komponen tetap mampu menjalankan fungsinya meskipun mengalami pembebanan lateral yang signifikan.

2.1.10. Tegangan Von Mises

Tegangan Von Mises merupakan salah satu pendekatan paling umum digunakan dalam mengevaluasi kegagalan plastis pada material. Kriteria ini pertama kali diperkenalkan oleh Richard von Mises pada tahun 1913 dalam karyanya tentang mekanika padatan dalam kondisi deformasi plastis (von Mises, 1913). Teori ini dikenal juga sebagai *distortion energy theory*, yang menyatakan bahwa kegagalan plastis suatu material akan terjadi jika energi distorsi yang dihasilkan oleh kombinasi tegangan mencapai nilai yang setara dengan energi distorsi pada saat material mengalami luluh dalam uji tarik satu arah (Ugural & Fenster, 2011). Dalam praktik rekayasa, konsep ini sangat berguna karena kondisi tegangan dalam dunia nyata jarang bersifat uniaxial, melainkan terdiri dari kombinasi kompleks tegangan normal dan tegangan geser. Oleh karena itu, kriteria Von Mises memberikan pendekatan yang lebih realistis dalam meramalkan kegagalan dibandingkan dengan kriteria lainnya (Dieter, 1988; Shigley & Mischke, 2015). Secara matematis, tegangan Von Mises (σ_v) dinyatakan dalam Persamaan 2.3.

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}{2}} \quad (2.3)$$

Persamaan ini menyatukan semua komponen tegangan tiga dimensi menjadi satu nilai tunggal, yang dapat dibandingkan secara langsung dengan tegangan luluh material untuk menentukan apakah suatu titik pada struktur aman atau mengalami risiko deformasi plastis (Gere & Goodno, 2012). Dalam perangkat lunak analisis elemen hingga (*Finite Element Analysis* atau FEA), tegangan Von Mises dihitung pada setiap elemen untuk memverifikasi kekuatan struktur terhadap beban kompleks. Pendekatan ini banyak digunakan dalam desain komponen mesin, jembatan, pesawat terbang, serta struktur bawah laut dan nuklir karena kemampuannya menangkap interaksi multi-aksial tegangan secara efektif (Hibbler, 2011).

2.1.11. Deformasi

Deformasi merupakan perubahan bentuk atau ukuran suatu benda akibat pengaruh gaya luar (beban) yang bekerja padanya. Dalam konteks mekanika teknik, deformasi terjadi ketika struktur atau material menerima beban yang menyebabkan pergeseran atom-atom dalam material tersebut sehingga panjang, bentuk, atau volume benda berubah (Gere & Goodno,

2012). Deformasi dapat bersifat elastis maupun plastis. Deformasi elastis adalah perubahan bentuk sementara, di mana material akan kembali ke bentuk semula setelah beban dihilangkan. Sebaliknya, deformasi plastis bersifat permanen dan terjadi ketika tegangan melebihi batas elastis material (Hibbler, 2011). Konsep deformasi sangat penting dalam desain struktur teknik karena memungkinkan insinyur memprediksi apakah suatu komponen akan mempertahankan integritas bentuknya di bawah beban yang diberikan atau tidak.

Jenis deformasi diklasifikasikan berdasarkan bentuknya menjadi deformasi aksial, geser, dan volumetrik. Deformasi aksial terjadi ketika benda ditarik atau ditekan sepanjang satu sumbu utama. Perubahan panjang (ΔL) yang terjadi dinyatakan dalam bentuk regangan (ε). Hubungan antara gaya (F), panjang awal (L), dan luas penampang (A) dengan regangan dan tegangan dalam kondisi elastis dapat dirumuskan dengan hukum Hooke seperti pada Persamaan 2.4 dan 2.5 berikut.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.4)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.5)$$

Penggunaan hukum Hooke penting untuk mengetahui seberapa jauh suatu benda akan terdeformasi saat diberi gaya tertentu, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan batas aman desain (Ugural & Fenster, 2011). Selain itu, deformasi juga dipengaruhi oleh sifat mekanik material seperti keuletan (*ductility*), kekakuan (*stiffness*), dan kekuatan luluh (*yield strength*). Material yang ulet seperti baja lunak mampu mengalami deformasi besar sebelum patah, sedangkan material getas seperti keramik atau kaca akan patah dengan sedikit atau tanpa deformasi plastis sebelumnya (Dieter, 1988). Dalam perancangan teknik, deformasi harus dipertimbangkan untuk menghindari kegagalan fungsi komponen di mana deformasi berlebih bisa menyebabkan ketidakselarasan atau kegagalan struktural. Oleh karena itu, pengukuran dan perhitungan deformasi tidak hanya penting untuk menganalisis kekuatan, tetapi juga untuk menjamin performa dan keamanan suatu struktur dalam siklus beban tertentu (Shigley & Mischke, 2015).

2.1.12. Tegangan Izin Maksimum pada Struktur *Towing Hook*

Berdasarkan aturan yang ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), terdapat beberapa persyaratan mengenai batas tegangan maksimum yang diizinkan untuk struktur *towing hook* guna menjamin keselamatan dan keandalan struktur saat beroperasi. *Rules* yang

digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan Persamaan 2.6 hingga 2.9.

a. BKI Pt 1 Vol II Sec 27 B.7 (*permissible for towing gear*)

Type of stress	Permissible stress
Axial and bending tension and axial and bending compression with box type girders and tubes	$\sigma = 0,83 \cdot R_{eH}$
Axial and bending compression with girders of open cross sections or with girders consisting of several members	$\sigma = 0,72 \cdot R_{eH}$
Shear	$\tau = 0,48 \cdot R_{eH}$
Equivalent stress	$\sigma_v = 0,85 \cdot R_{eH}$
R_{eH} = yield strength or 0,2% (proof stress)	

Gambar 2.7 Permissible Stress For Towing Gear

b. BKI Pt 1 Vol II Sec 6 A.2 (*permissible for shell plating*)

$$\sigma_{perm} = \left(0.8 + \frac{L}{450}\right) \cdot \frac{230}{k} [N/mm^2] \quad \text{For } L < 90 \text{ m} \quad (2.6)$$

c. BKI Pt 1 Vol II Sec 10 A.2 (*permissible for deck beam and supporting deck structures*)

$$\sigma_b = \frac{150}{k} [N/mm^2] \quad (2.7)$$

$$\tau = \frac{100}{k} [N/mm^2] \quad (2.8)$$

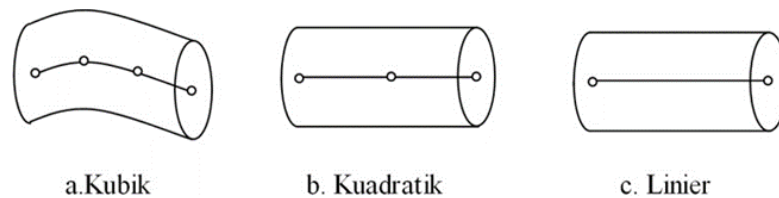
$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} < \frac{180}{k} \quad (2.9)$$

2.1.13. Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) adalah suatu teknik numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan fisis dan teknik yang kompleks, seperti analisis tegangan dalam struktur, perpindahan panas, dan aliran fluida. Metode ini bekerja dengan cara membagi suatu benda atau wilayah yang akan dianalisis menjadi bagian-bagian kecil yang disebut elemen hingga (*finite elements*). Setiap elemen ini memiliki titik-titik sudut yang disebut titik nodal (*nodes*), dan di dalam elemen-elemen inilah dilakukan pendekatan matematis terhadap perilaku fisik sistem. Dengan membagi wilayah menjadi elemen yang lebih sederhana, permasalahan yang awalnya sulit dipecahkan secara langsung dapat diselesaikan secara lebih terstruktur dan terukur. Model matematis dari sistem yang dianalisis kemudian dikonversikan menjadi sistem persamaan aljabar yang dapat diselesaikan secara numerik menggunakan komputer. Oleh karena itu, FEM sangat berguna dalam dunia teknik, karena mampu memberikan solusi pendekatan pada permasalahan yang tidak dapat diselesaikan secara analitik (Reddy, 2006).

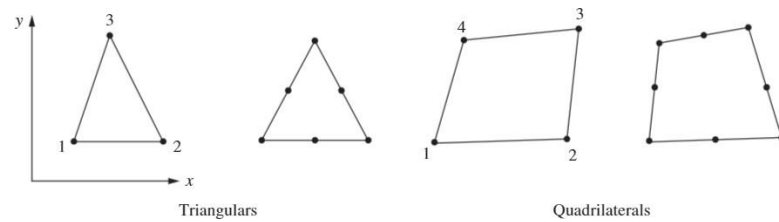
Jenis elemen dalam metode elemen hingga (FEM) diklasifikasikan berdasarkan dimensi dan bentuk geometrinya. Jenis yang pertama adalah elemen satu dimensi, berbentuk garis dan

umumnya digunakan untuk memodelkan komponen struktural seperti batang atau balok. Elemen linier merupakan bentuk paling sederhana, terdiri dari dua titik nodal di kedua ujung. Untuk kebutuhan analisis dengan tingkat akurasi lebih tinggi, tersedia elemen kuadratik dengan tiga titik nodal serta elemen kubik dengan empat titik nodal. Kedua jenis ini mampu merepresentasikan bentuk lengkung atau perubahan geometri secara lebih detail. Ilustrasi ketiga tipe elemen tersebut ditampilkan pada Gambar 2.8.



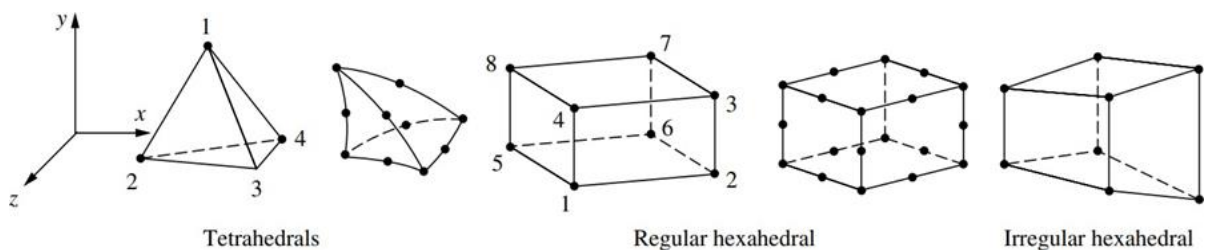
Gambar 2.8 Elemen Satu Dimensi
(Sumber: Logan, 2006)

Jenis kedua adalah elemen dua dimensi yang terdiri dari elemen segitiga dan elemen segi empat. Elemen-elemen linier ini memiliki sisi berbentuk garis lurus, garis lengkung, atau kombinasi keduanya. Contoh elemen dua dimensi dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Elemen Dua Dimensi
(Sumber: Logan, 2006)

Jenis ketiga adalah elemen tiga dimensi. Jenis elemen yang paling umum digunakan untuk elemen tiga dimensi adalah elemen tetrahedral dan heksahedral. Elemen ini memiliki node dan pada sudut sudut dan sepanjang sisinya, sementara elemen yang lebih kompleks memiliki node tambahan di tengah setiap sisi yang berbentuk kurva. Gambar 2.10 merupakan elemen tiga dimensi.



Gambar 2.10 Elemen Tiga Dimensi
(Sumber: Logan, 2006)

Konvergensi adalah salah satu konsep penting dalam FEM yang menunjukkan bahwa solusi numerik akan semakin mendekati solusi eksak seiring dengan peningkatan jumlah

elemen dan kualitas *mesh*. Dalam praktiknya, konvergensi diuji melalui studi *mesh refinement*, yaitu membandingkan hasil perhitungan dengan variasi jumlah elemen. Jika perbedaan hasil semakin kecil dengan penambahan elemen, maka solusi dianggap telah mengalami konvergensi. Konsep ini sangat penting untuk menjamin bahwa hasil simulasi yang diperoleh tidak hanya akurat, tetapi juga dapat diandalkan untuk pengambilan keputusan teknik (Bathe, 1996).

2.1.14. Faktor Keamanan

Faktor keamanan (*factor of safety*) merupakan konsep fundamental dalam rekayasa struktur yang digunakan untuk memastikan bahwa suatu elemen struktural memiliki kapasitas yang cukup untuk menahan beban kerja tanpa mengalami kegagalan. Secara umum, faktor keamanan didefinisikan sebagai perbandingan antara kekuatan maksimum material (baik kekuatan tarik, tekan, maupun geser) terhadap tegangan kerja yang diizinkan. Rumus faktor keamanan dapat dilihat pada Persamaan 2.7.

$$FS = \frac{\sigma_{perm}}{\sigma_{max}} \quad (2.7)$$

Penggunaan faktor keamanan memberikan margin perlindungan terhadap ketidakpastian dalam pembebanan, kualitas material, kesalahan dalam konstruksi, dan variasi kondisi lingkungan (Hibbler, 2011). Dalam analisis struktur, pemilihan nilai faktor keamanan yang tepat menjadi kunci untuk menjamin keseimbangan antara efisiensi material dan keselamatan. Faktor keamanan yang terlalu rendah dapat meningkatkan risiko kegagalan, sementara nilai yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pemborosan material dan biaya. Oleh karena itu, pendekatan rasional dan berbasis standar dalam penentuan faktor keamanan diperlukan dalam setiap tahap perancangan teknik sipil maupun mesin untuk memastikan keandalan dan umur panjang suatu sistem struktur (Gere & Goodno, 2012).

2.2. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka dilakukan berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, hal ini dilakukan untuk memperoleh data ataupun informasi yang dapat digunakan pada penelitian kali ini. Beberapa penelitian yang telah ditinjau yaitu penelitian terkait analisa kekuatan konstruksi *bracket towing hook* pada *tugboat* menggunakan metode elemen hingga dan aturan dari BKI. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik dan lokasi tegangan terbesar pada konstruksi *bracket towing hook* berdasarkan tiga variasi pembebanan yaitu kondisi *light weight barge*, *dead weight barge*, dan *maximum horse power*. Analisis ini

menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi pada kondisi beban *maximum horse power* sebesar 44,2 N/mm², yang masih dalam batas aman karena dibandingkan dengan σ_{yield} bahan sebesar 400 N/mm² dan σ_{izin} BKI sebesar 178,12 N/mm². Nilai faktor keamanan yang diperoleh adalah 9,05 dan 4,03. Hasil ini memastikan bahwa konstruksi *bracket towing hook* pada *tugboat* memenuhi standar kekuatan yang ditetapkan dan masih dalam kategori aman untuk kondisi pembebanan yang diuji (Mulyatno dan Alan, 2012).

Penelitian tentang analisis kekuatan struktur penyangga *towing hook* pada *tugboat* bertujuan untuk menentukan tegangan maksimum dan faktor keamanan (FOS) dari struktur tersebut. Penelitian ini melibatkan pembuatan model 3D dari gambar 2D dan melakukan analisis elemen hingga pada dua kondisi pembebanan yaitu *light weight barge* dan muatan penuh. Dua pendekatan berbeda digunakan untuk perbandingan yaitu resistansi tongkang dan rasio *maximum horse power tugboat* terhadap kecepatan. Hasilnya menunjukkan nilai tegangan maksimum masing-masing variasi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa keamanan struktur penyangga *towing hook* sangat bervariasi di bawah berbagai kondisi pembebanan dan kriteria yang berbeda (Valentino, Yudo, & Zakki, 2022).

Penelitian tentang analisis kelelahan pada konstruksi *main deck* sebagai penumpu *towing hook tugboat* 2 x 800 HP menggunakan metode elemen hingga bertujuan untuk mengevaluasi distribusi tegangan yang terjadi akibat beban tarik pada *towing hook*. Dengan bantuan perangkat lunak MSC Nastran Patran dan MSC Fatigue, hasil analisis menunjukkan bahwa pada kondisi muatan penuh, tegangan terbesar adalah 147 MPa dengan siklus terpendek sebanyak 0,973x10⁸ menghasilkan umur konstruksi sebesar 19,61 tahun. Hasil serupa ditemukan pada kondisi *shagging* dan *hogging*, dengan tegangan terbesar masing-masing 146 MPa dan 149 MPa, serta siklus dan umur yang sama dengan kondisi muatan penuh, (Rizky, Mulyatno, & Joko Sisworo, 2016).

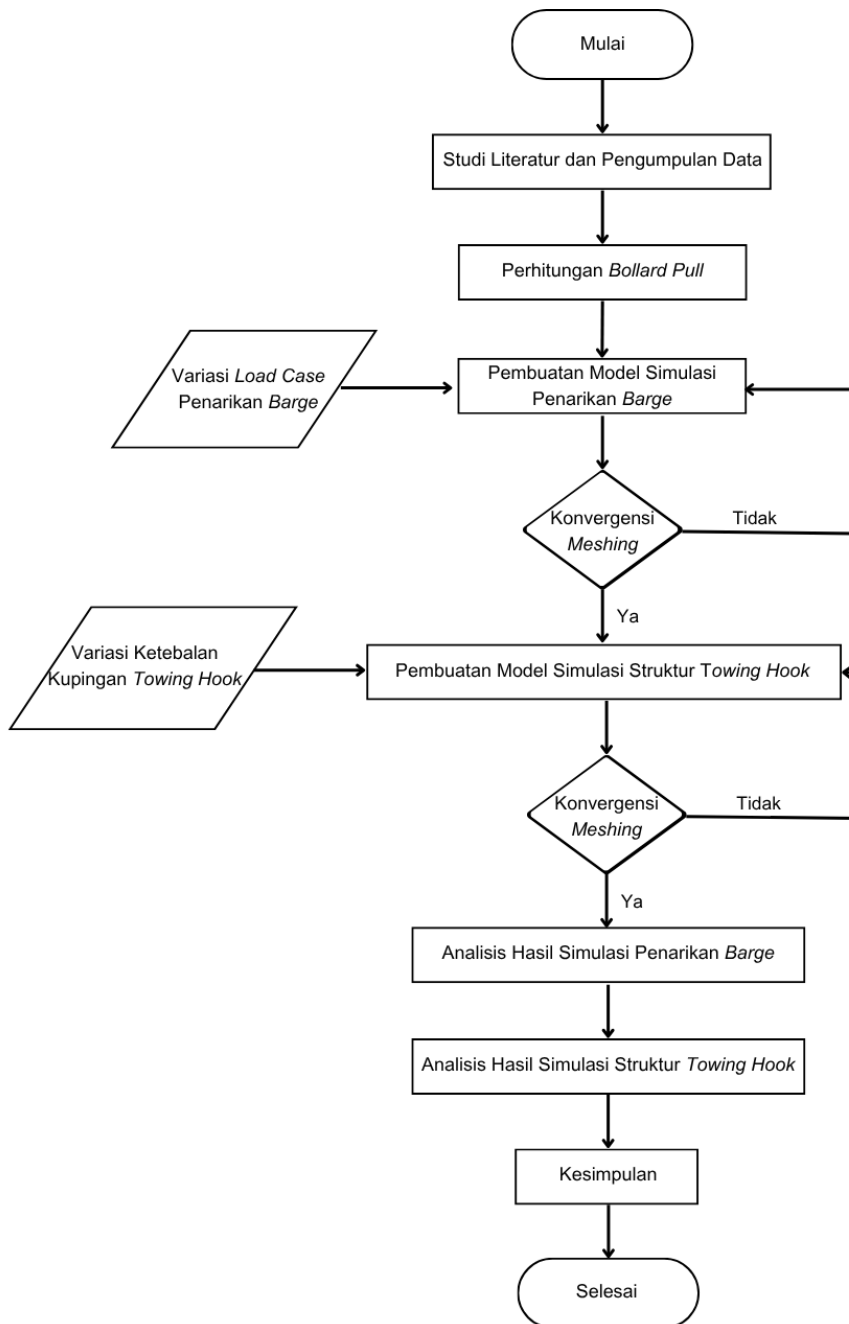
Penelitian tentang analisis umur lelah konstruksi *towing hook* pada *tugboat* menggunakan metode elemen hingga memberikan pemahaman tentang perhitungan umur lelah berdasarkan berbagai kondisi *volume displacement*, rekomendasi dimensi maksimal tongkang yang dapat ditarik oleh *tugboat*, dan memastikan konstruksi *towing hook* memenuhi umur desain 20 tahun, (Mapariorio & Dlukha, 2020).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3 METODOLOGI

3.1. Bagan Alir

Secara garis besar, proses pengerjaan penelitian ini digambarkan melalui diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Penelitian

3.2. Pengumpulan Data dan Studi Literatur

Pengumpulan data dan studi literatur merupakan tahap awal dalam proses penelitian, di mana studi literatur digunakan untuk mendalami pemahaman yang berkaitan dengan *towing force* dan kekuatan struktur *towing hook*. Studi literatur bertujuan untuk memahami konsep, metode, dan pendekatan yang relevan dengan topik yang sedang diteliti. Informasi yang diperoleh melalui tahap ini akan menjadi landasan dalam menyusun kerangka teori dan metodologi penelitian. Selain itu, dilakukan proses pengumpulan data yang diperlukan untuk mendukung pengerjaan pada tahap berikutnya. Data tersebut dapat berupa spesifikasi struktur, parameter material, atau kondisi operasional yang relevan dengan penelitian ini.

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan metode primer dari desain kapal yang sudah ada dan metode sekunder dari literatur yang terkait. Data yang diperoleh meliputi ukuran utama *tugboat* dan *barge*, gambar desain *tugboat* yang mencakup *lines plan*, *construction profile*, *towing & bolder construction*, *sample design barge*, spesifikasi *towrope*, kedalaman laut, dan ketinggian gelombang. Berikut merupakan data-data yang didapatkan untuk menunjang pengerjaan penelitian.

a. Ukuran Utama *Tugboat* dan *Barge*

Ukuran utama *tugboat* dan *barge* dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2

Tabel 3.1 Ukuran Utama *Tugboat*

Data Kapal	Keterangan
LOA	29,25 m
B	8,25 m
H	3,75 m
T	2,5 m
Vs	5 knot

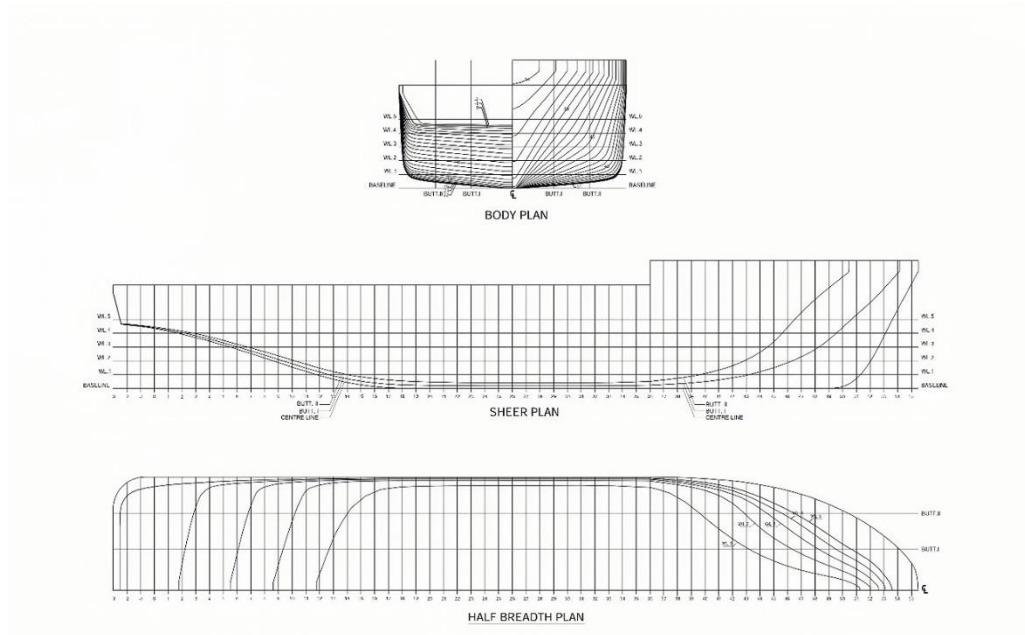
Tabel 3.2 Ukuran Utama *Barge*

Data Kapal	Keterangan
LOA	55,06 m
LPP	55,06 m
B	9,54 m
H	3,24 m
T	2,57 m

b. Gambar Desain *Tugboat*

- *Lines Plan*

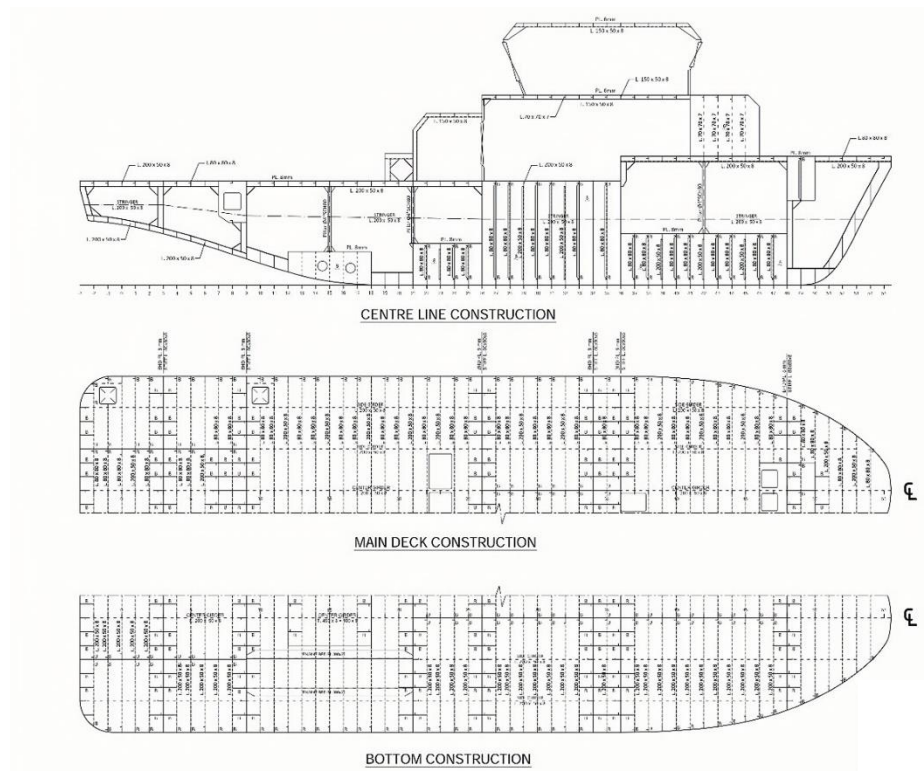
Berikut adalah *lines plan tugboat* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Lines Plan Tugboat*

- *Construction Profile*

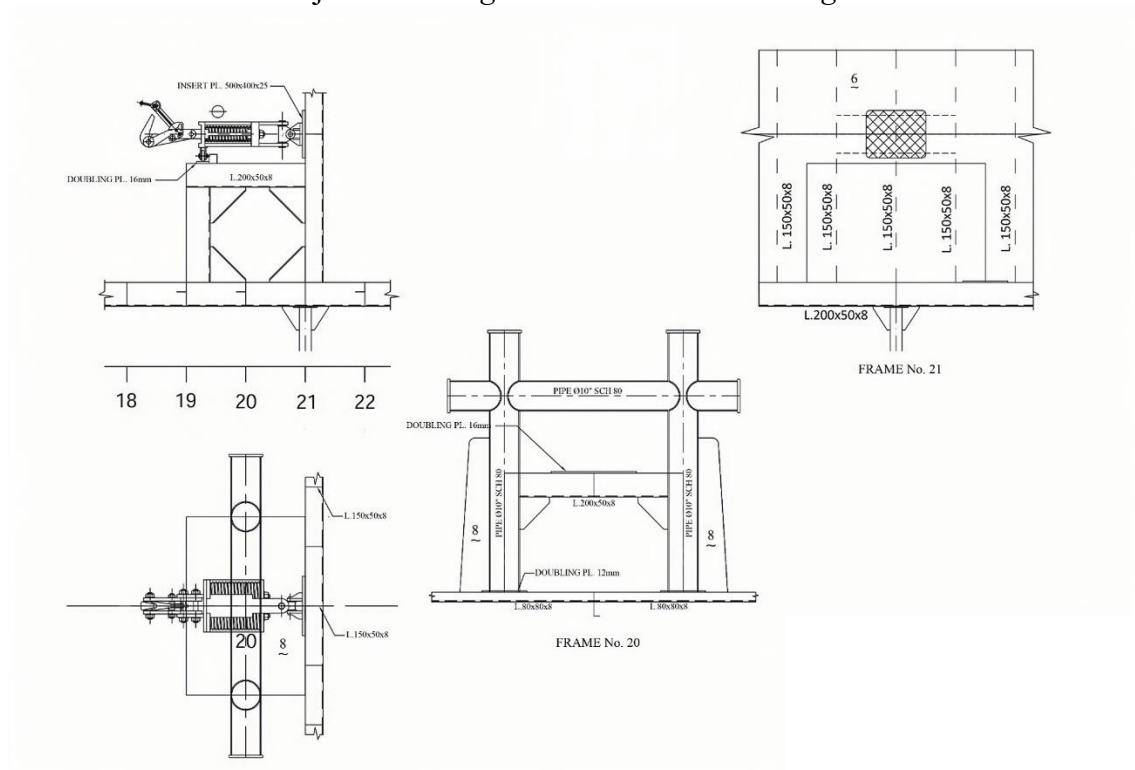
Adapun *construction profile tugboat* ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Construction Profile Tugboat*

- *Towing & Bolder Construction*

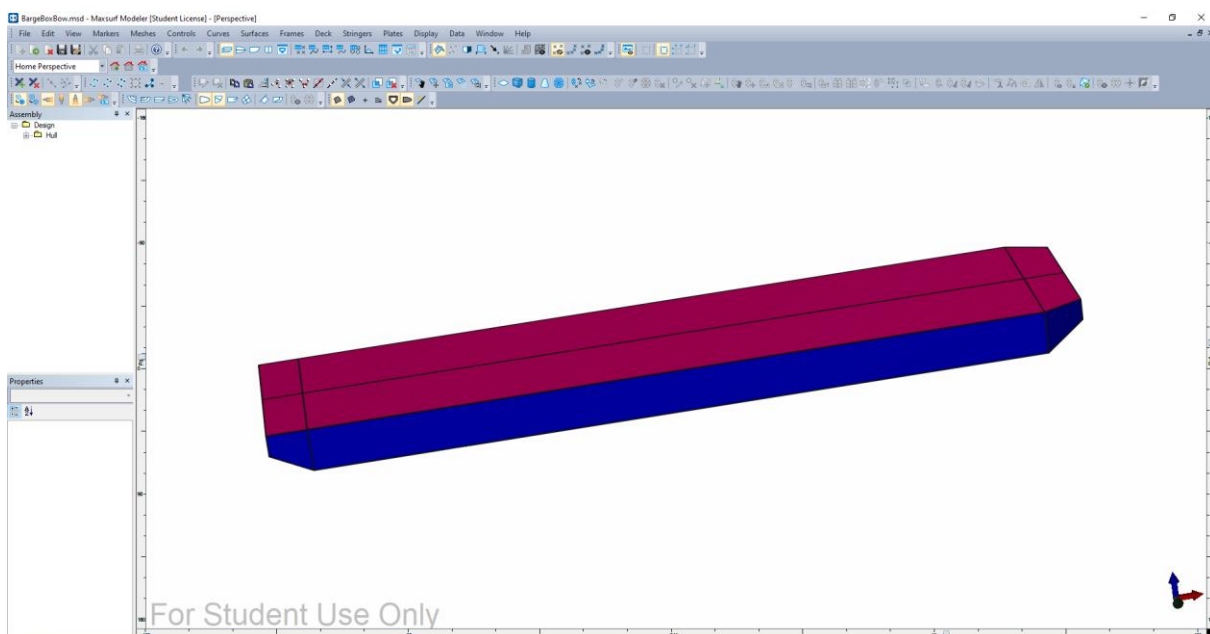
Gambar 3.4 menunjukkan *towing & bolder construction tugboat*.



Gambar 3.4 *Towing & Bolder Construction Tugboat*

c. *Sample Design Barge*

Sample design barge diperoleh dari Maxsurf sebagai bentuk awal dari lambung *barge* yang dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Sample Design Barge*

d. Spesifikasi *Towrope*

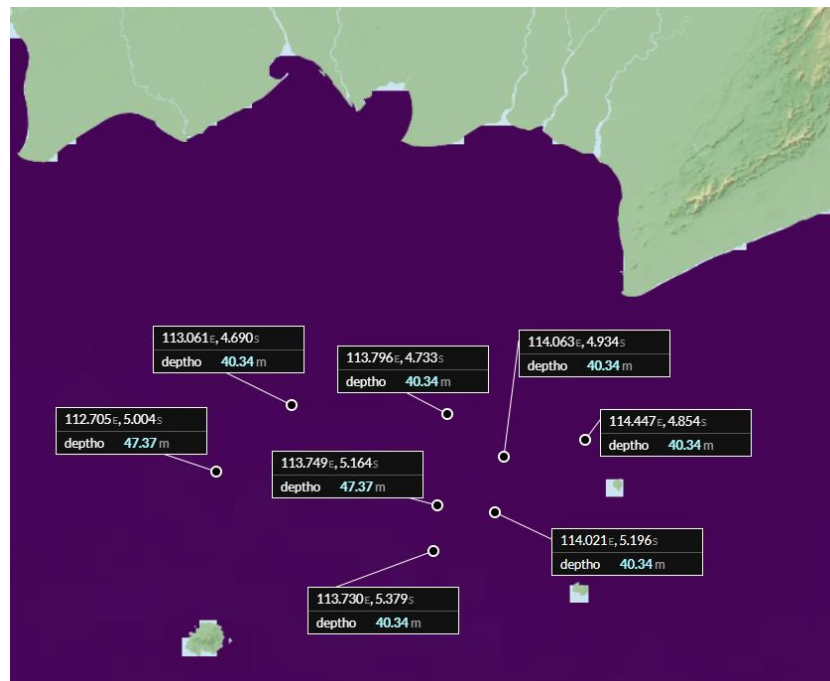
Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.3, berikut adalah spesifikasi *towrope* yang digunakan dalam simulasi.

Tabel 3.3 Spesifikasi *Towrope*
(Sumber: <https://www.asmarines.com/manho-pp-mono-3-strand-rope>)

Parameter	Keterangan
Material	<i>Polypropylene</i>
<i>Equivalent Diameter</i>	65 mm
Young Modulus	1300 MPa
<i>Mass</i>	199,5 kg
<i>Length</i>	100 m
<i>Minimum Breaking Load</i>	495,24 kN
<i>Mass/Unit Length</i>	1,995 kg/m
<i>Equivalent Cross Sectional Area</i>	0,003318 m ²
<i>Stiffness (EA)</i>	4313,4 kN
<i>Maximum Expected Tension</i>	495,24 kN

e. Kedalaman Laut

Gambar 3.6 menyajikan data kedalaman laut di wilayah operasional kapal.



Gambar 3.6 Kedalaman Laut di Wilayah Operasional Kapal
(Sumber: <https://data.marine.copernicus.eu/>)

Berdasarkan data yang diperoleh, kedalaman laut berkisar antara 40 hingga 50 meter. Pada penelitian ini, kedalaman laut yang digunakan sebagai data lingkungan yaitu 50 meter.

$$(t) = \text{BHP} \times 0,9 \times 1,1 \div 100 \text{ (ton)}$$

$$(t) = 2530 \times 0,9 \times 1,1 \div 100$$

$$(t) = 25,047 \text{ ton}$$

$$(t) = 245,63 \text{ kN}$$

3.4. Pemodelan dan Simulasi Penarikan *Barge*

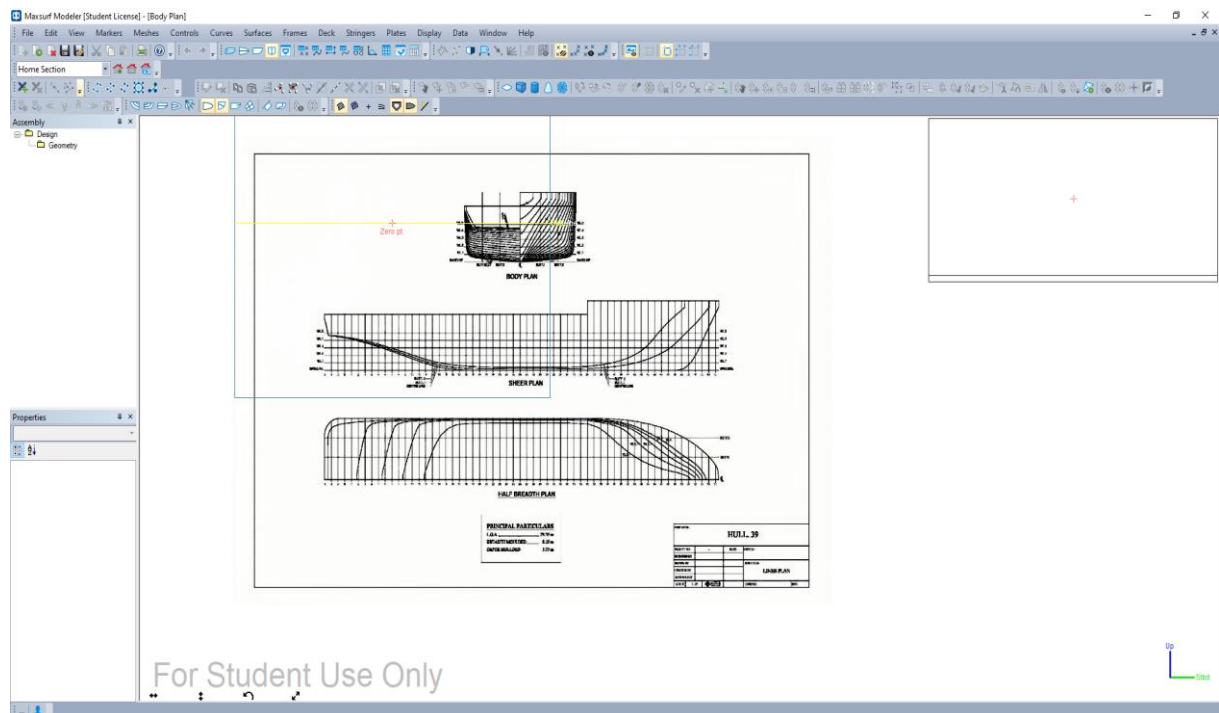
Setelah hasil perhitungan *bollard pull* didapatkan maka selanjutnya adalah pemodelan dan simulasi penarikan *barge*. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah simulasi numerik menggunakan perangkat lunak Ansys AQWA. Berikut adalah tahapan-tahapan yang dilakukan.

3.4.1. Pemodelan Lambung

Lambung dimodelkan pada *software* Maxsurf dan Rhinoceros berdasarkan ukuran utama dan desain yang sudah ada. Pemodelan lambung dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

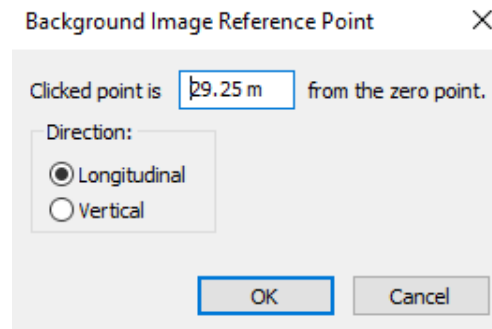
a. Lambung *tugboat*

1. Pemindahan *lines plan tugboat* dalam format jpg ke dalam Maxsurf seperti pada Gambar 3.8.



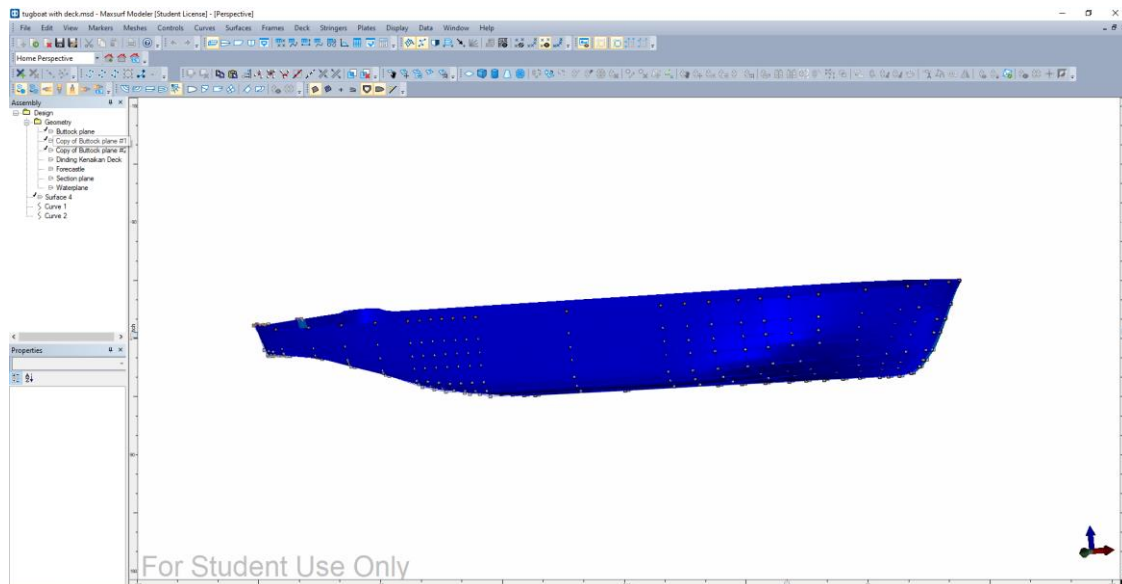
Gambar 3.8 Impor *Lines Plan Tugboat*

2. Pengaturan titik acuan gambar sesuai dengan *center line*, lebar, dan LOA seperti pada Gambar 3.9.



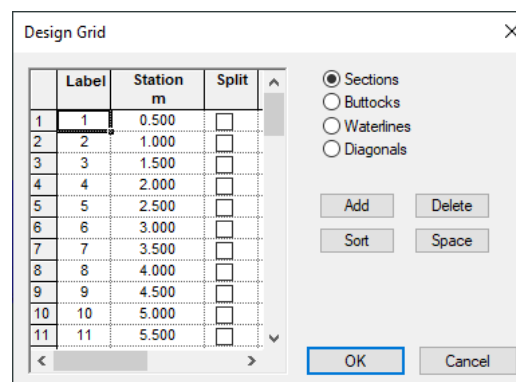
Gambar 3.9 Pengaturan *Image Reference Point*

3. Pembuatan *surface* dan *control point* untuk membentuk lambung sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.10.



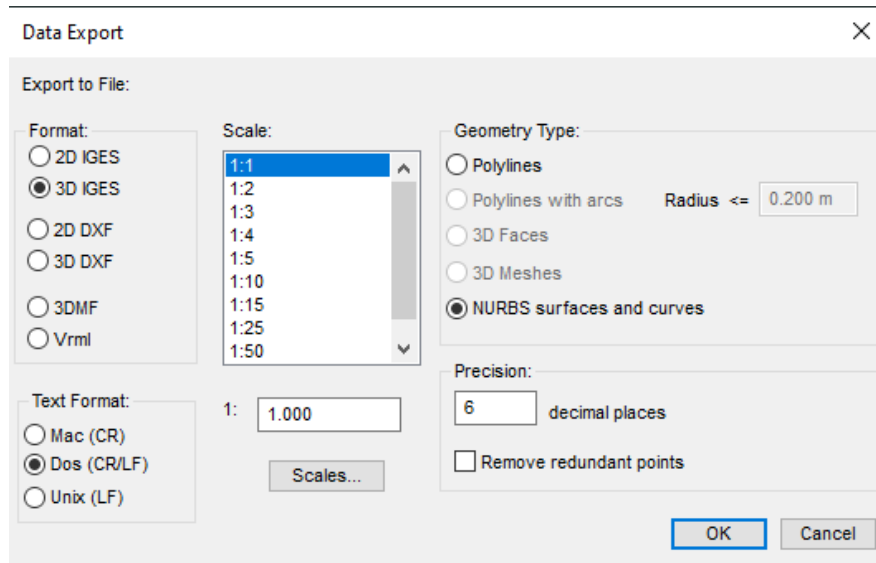
Gambar 3.10 Lambung *Tugboat* di Maxsurf

4. Pembuatan *design grid* sesuai dengan jumlah frame dan jarak gading seperti pada Gambar 3.11.



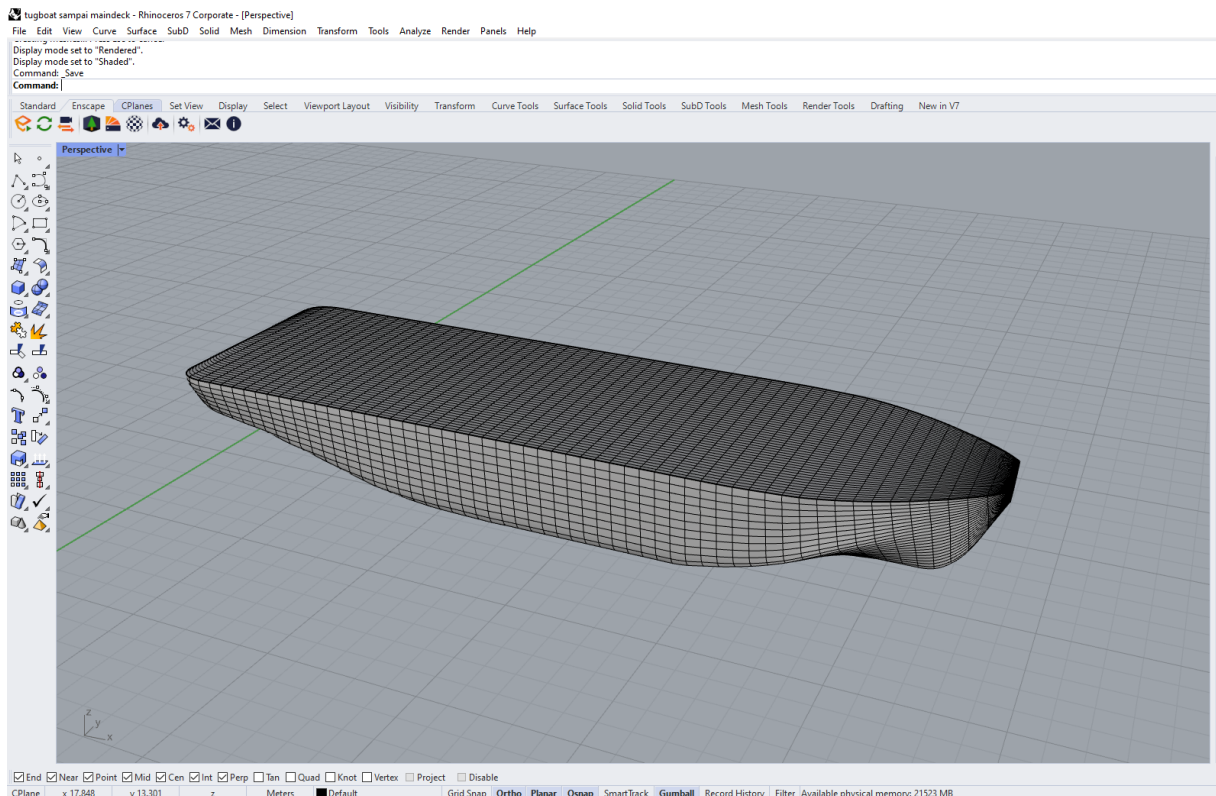
Gambar 3.11 *Design Grid*

5. Pengeksporan geometri dalam format 3D NURBS *surface and curves* sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Ekspor Geometri Lambung *Tugboat*

6. *Import* 3D NURBS *surface and curves* pada *software* Rhinoceros.
7. Penambahan *surface* pada *main deck* dan buritan untuk menutup semua permukaan seperti pada Gambar 3.13.

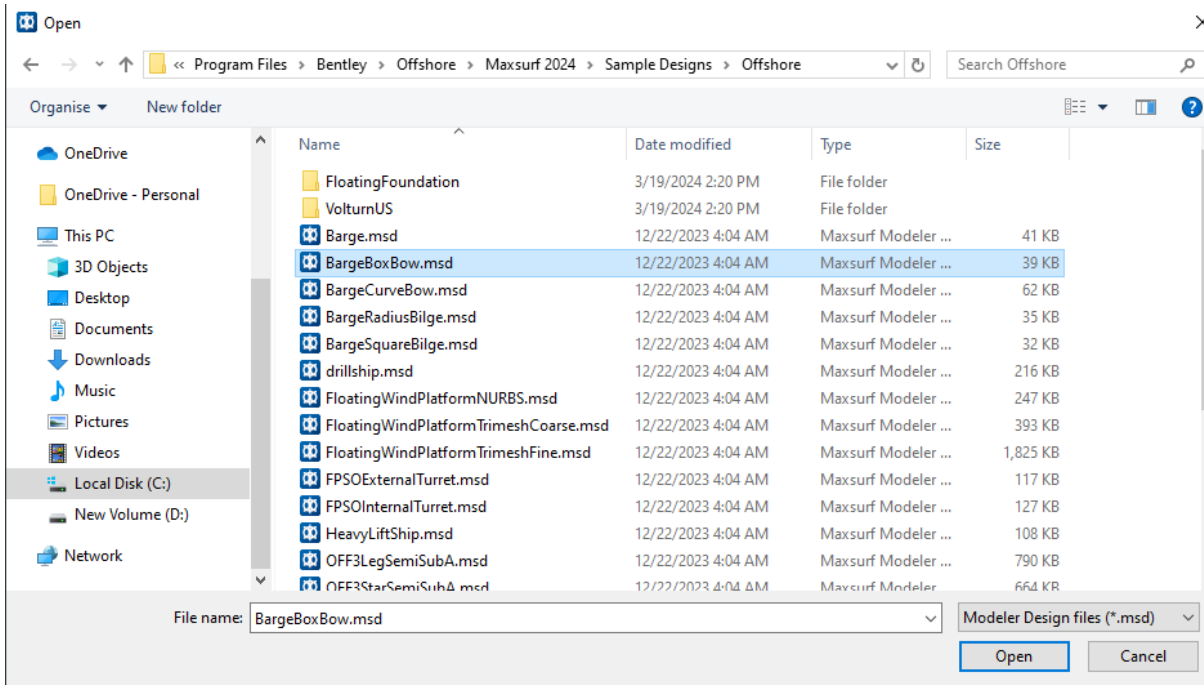


Gambar 3.13 Geometri *Tugboat* di Rhinoceros

8. *Export* lambung *tugboat* dalam format .IGS untuk dimasukkan ke Ansys.

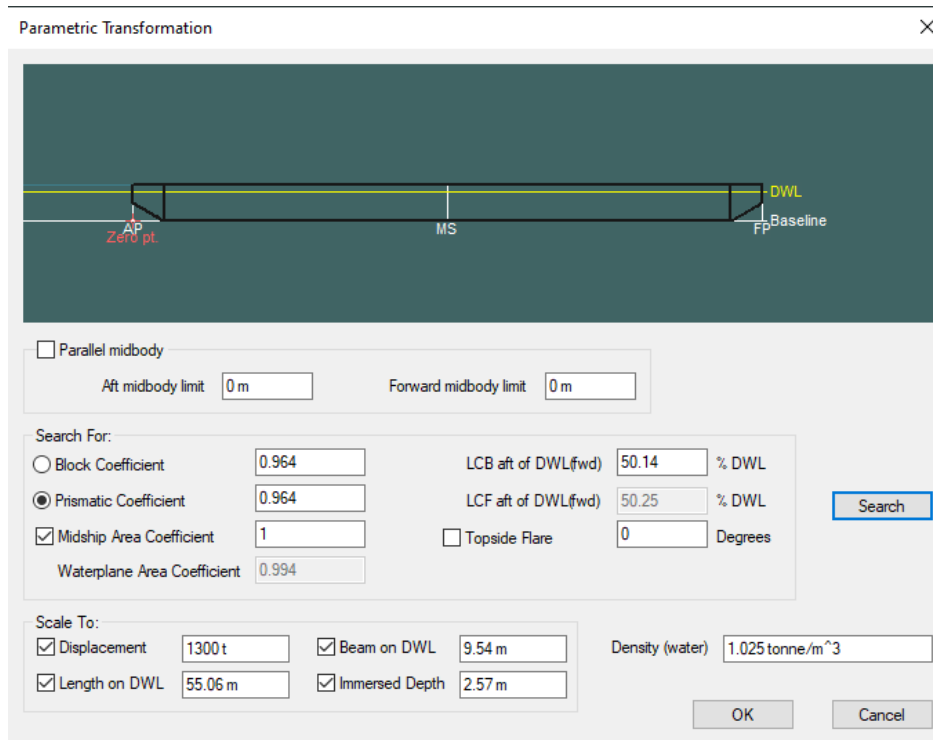
b. Lambung *barge*

1. Pembukaan *file sample design barge* yang tersedia dalam Maxsurf sebagai geometri awal seperti pada Gambar 3.14.



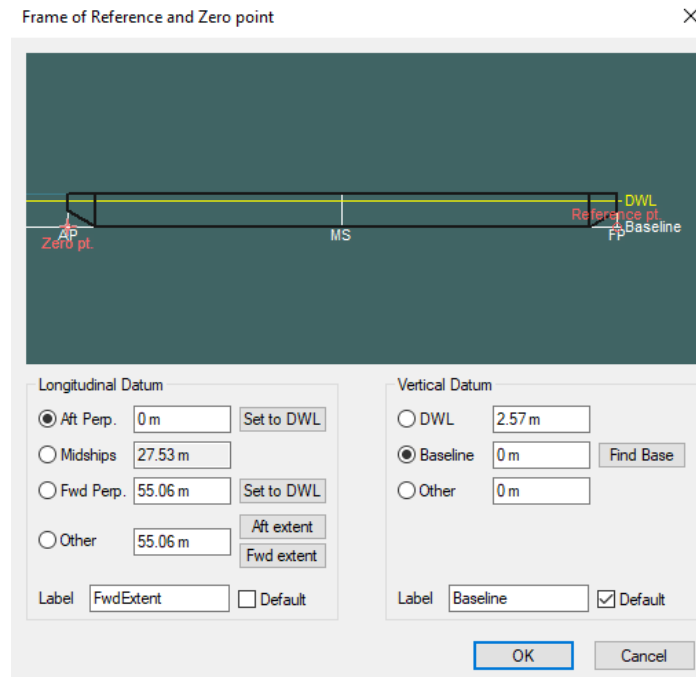
Gambar 3.14 *File Sample Design Barge*

2. Pengaturan *parametric transformation* sesuai ukuran utama *barge* yang digunakan sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.15.



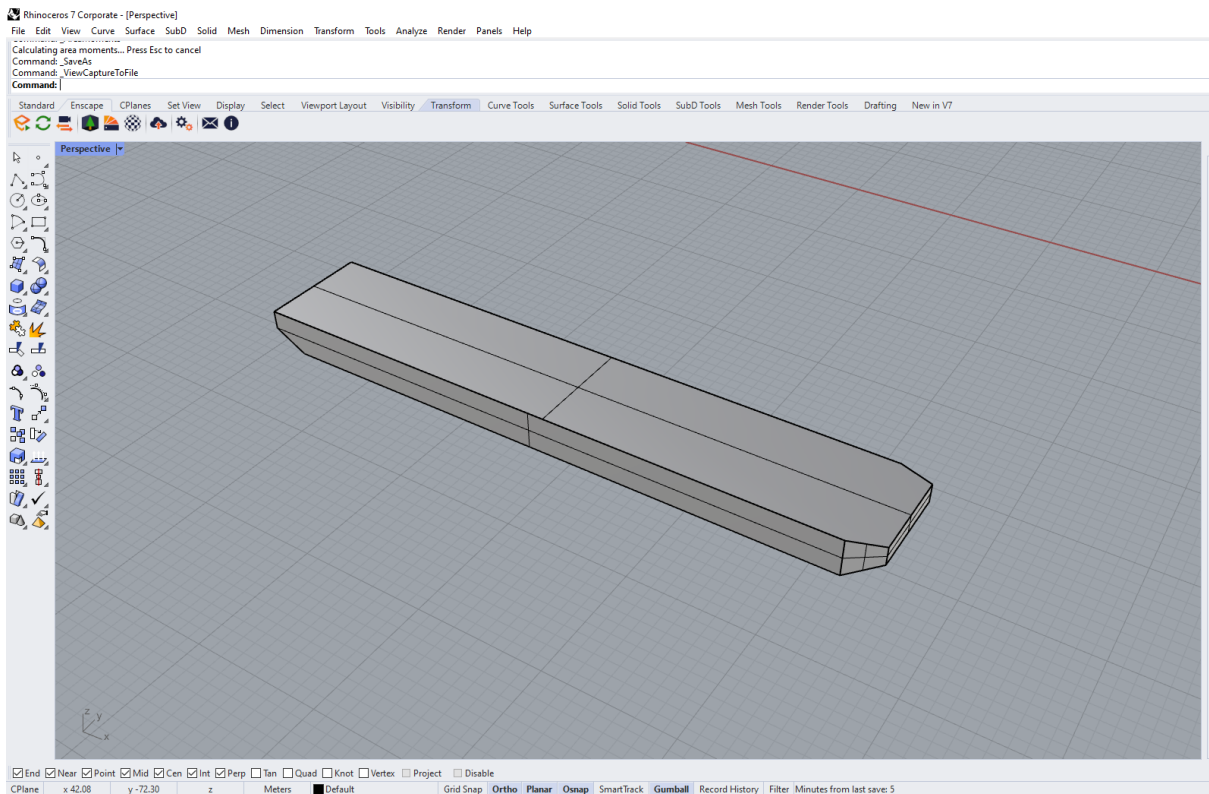
Gambar 3.15 *Parametric Transformation*

3. Pengaturan *frame of reference* sesuai dengan *draft barge* seperti Gambar 3.16.



Gambar 3.16 *Frame of Reference*

4. Pemindahan geometri dari Maxsurf ke Rhinoceros untuk mengecek semua *surface* menyatu seperti pada Gambar 3.17.



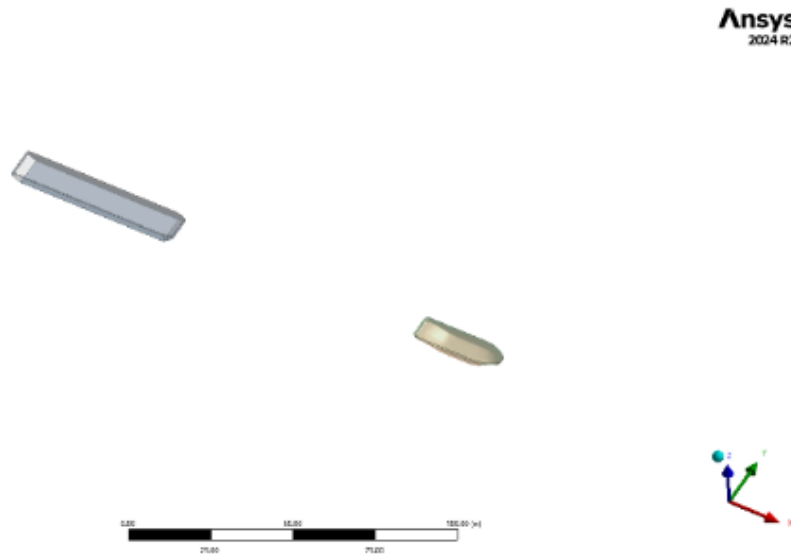
Gambar 3.17 Geometri *Barge* di Rhinoceros

5. Pengeksporan geometri dalam format 3D IGS untuk dimasukkan ke Ansys.

3.4.2. Simulasi Ansys AQWA

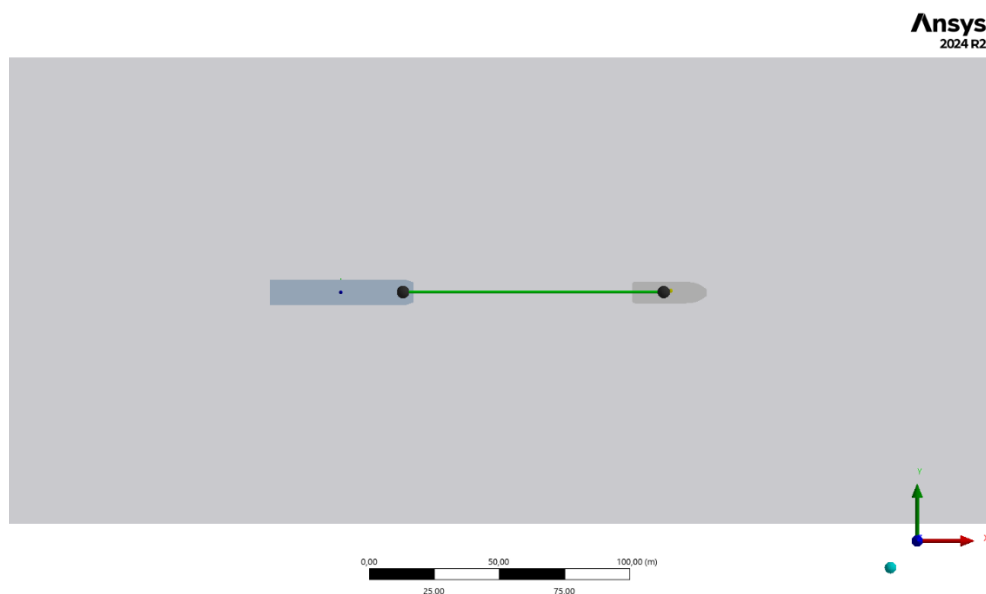
Ansys AQWA dipilih karena kemampuannya dalam melakukan analisis hidrodinamika berbasis metode elemen hingga (*Finite Element Method*) untuk struktur terapung di lingkungan laut. Simulasi dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut.

1. Pemindahan geometri lambung dari Rhinoceros ke DesignModeler seperti pada Gambar 3.18.

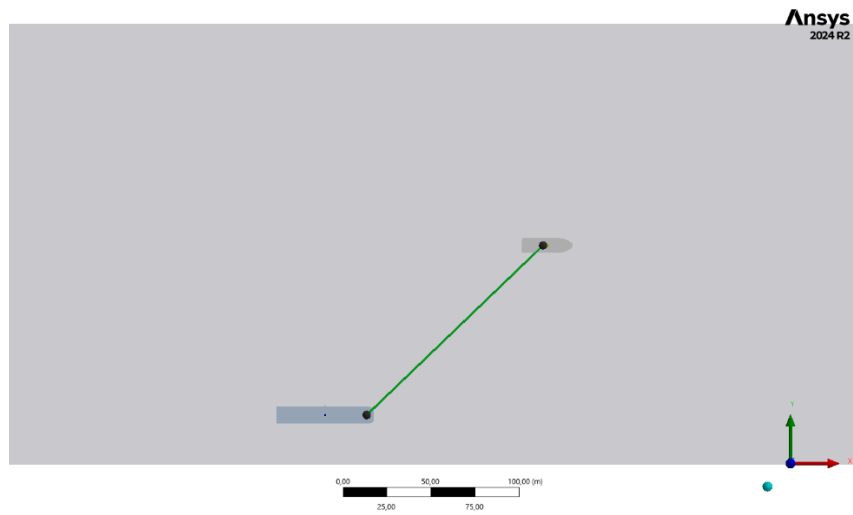


Gambar 3.18 Geometri Lambung di DesignModeler

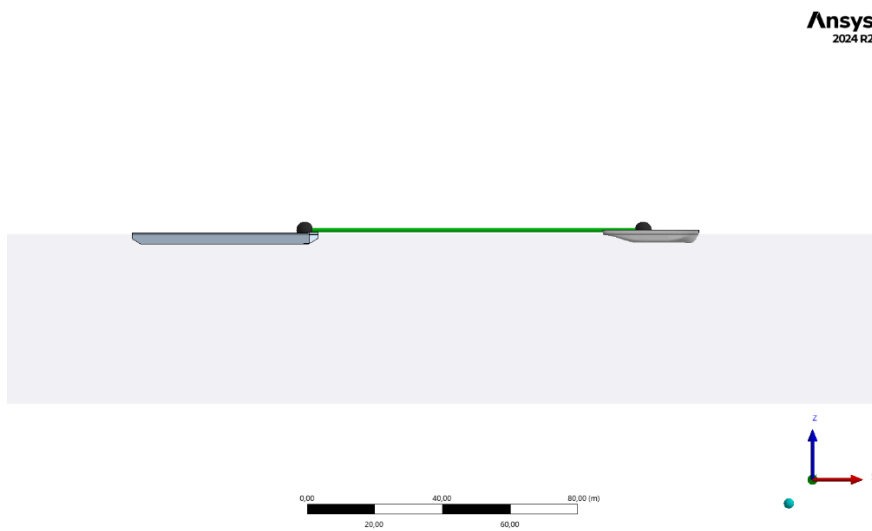
2. Pengaturan posisi *tugboat* dan *barge* dilakukan berdasarkan variasi *load case* penarikan *barge*, meliputi sudut 0° , 45° , kondisi *trim by stern*, dan *trim by bow* seperti pada Gambar 3.19 hingga Gambar 3.22.



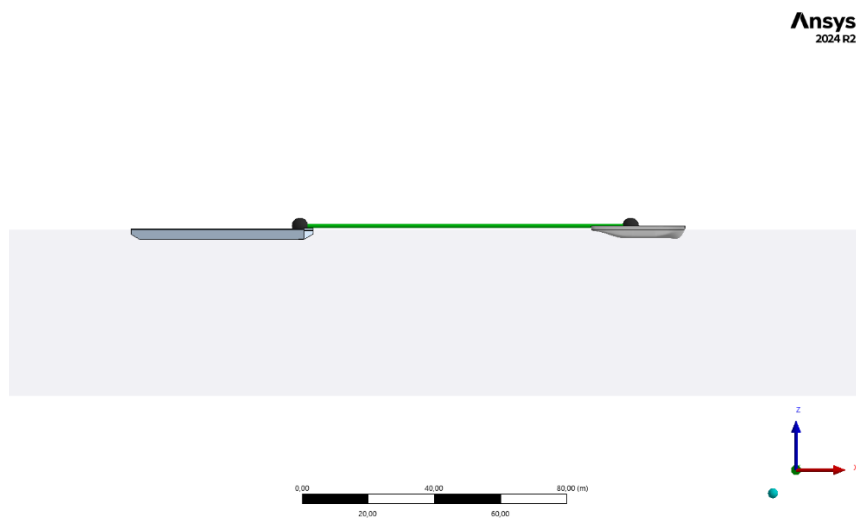
Gambar 3.19 Posisi 0°



Gambar 3.20 Posisi 45°



Gambar 3.21 Posisi *Trim by Stern*



Gambar 3.22 Kondisi *Trim by Bow*

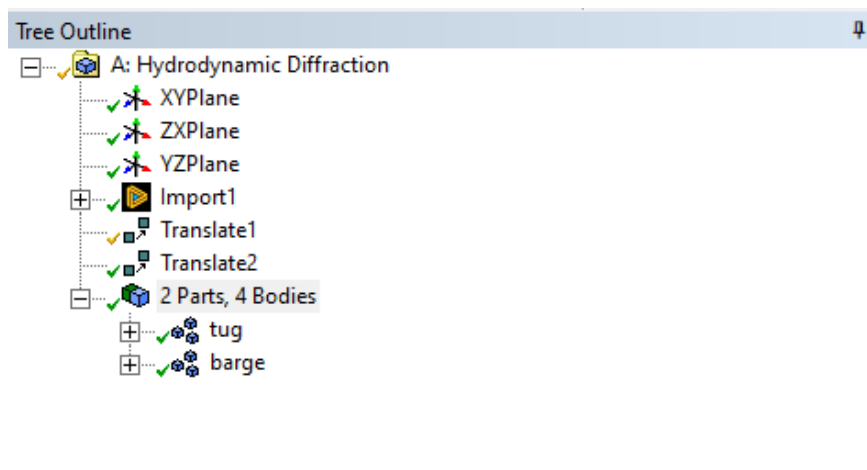
3. Pembagian lambung *tugboat* dan *barge* menjadi bagian di atas *draft* dan di bawah *draft* sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.23.

Ansys
2024 R2



Gambar 3.23 Pembagian Lambung *Tugboat* dan *Barge*

4. Pengelompokkan bagian *tugboat* dan *barge* menjadi *part* sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.24.



Gambar 3.24 *Part*

5. Pengaturan *point mass* pada masing-masing *part* dengan memasukkan radius girasi *tugboat* dan *barge* berdasarkan rumus (ITTC, 2014) seperti pada Persamaan 3.1 hingga 3.3.

$$k_{xx} = 0,34 \times B \quad (3.1)$$

$$k_{yy} = 0,25 \times LOA \quad (3.2)$$

$$k_{zz} = 0,25 \times LOA \quad (3.3)$$

Diperoleh hasil radius girasi yang dapat dilihat pada Gambar 3.25. Radius girasi menggambarkan sejauh mana distribusi massa kapal terhadap sumbu rotasinya, yang

menjadi parameter penting dalam menganalisis karakteristik dinamis serta respons gerak kapal terhadap eksitasi gelombang laut pada kondisi operasional tertentu.

Inertia Properties	
Define Inertia Values By	Radius of Gyration
☐ Kxx	2.805 m
☐ Kyy	7.3125 m
☐ Kzz	7.3125 m
box	2881308.45598035 kg.m ²
☐ bxy	0.0 kg.m ²
☐ bxz	0.0 kg.m ²
lyy	19581942.9420795 kg.m ²
☐ lyz	0.0 kg.m ²
lzz	19581942.9420795 kg.m ²

(a)

Inertia Properties	
Define Inertia Values By	Radius of Gyration
☐ Kxx	3.2436 m
☐ Kyy	13.765 m
☐ Kzz	13.765 m
box	14031399.2106016 kg.m ²
☐ bxy	0.0 kg.m ²
☐ bxz	0.0 kg.m ²
lyy	252696268.57535 kg.m ²
☐ lyz	0.0 kg.m ²
lzz	252696268.57535 kg.m ²

(b)

Gambar 3.25 *Point Mass Tugboat* (a) dan *Point Mass Barge* (b)

6. Pengaturan *connection point* untuk menentukan titik acuan yang digunakan sebagai tempat *towrope* akan dipasang. *Connection point* meliputi koordinat X, Y, dan Z. Berikut adalah tampilan pengaturan dan titik acuan yang terbentuk ditunjukkan pada Gambar 3.26 dan Gambar 3.27.

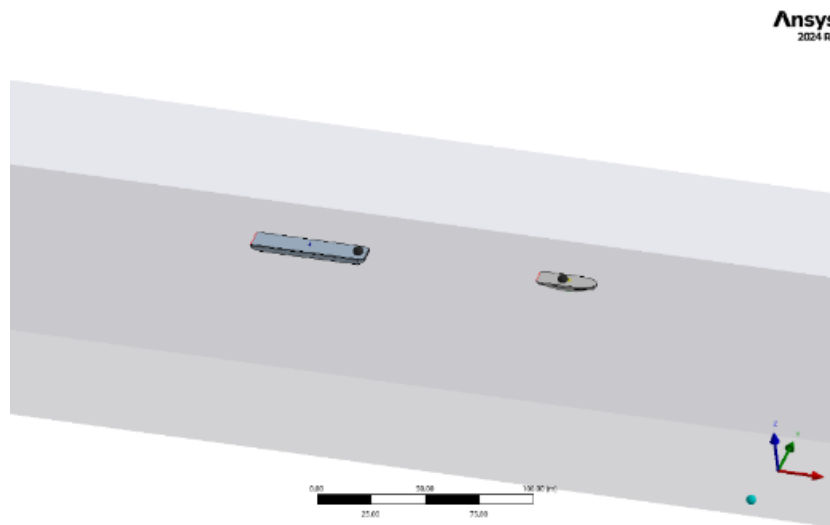
Details	
Details of Connection Point 4	
Name	Connection Point 4
Visibility	Visible
Point Definition	
Type	Attached to Structure
Structure	tug
Definition of Position	X, Y and Z Coordinates
Position Coordinates	
☐ X	12 m
☐ Y	-0.5 m
☐ Z	1.25 m
Hydrodynamic Response Nodal Motions Output	
Include in Results	Yes
Graphics Properties	
Graphics Size Factor	1
Color Definition	Program Controlled

(a)

Details	
Details of Connection Point 3	
Name	Connection Point 3
Visibility	Visible
Point Definition	
Type	Attached to Structure
Structure	barge
Definition of Position	X, Y and Z Coordinates
Position Coordinates	
☐ X	-88 m
☐ Y	-0.5 m
☐ Z	1.25 m
Hydrodynamic Response Nodal Motions Output	
Include in Results	Yes
Graphics Properties	
Graphics Size Factor	1
Color Definition	Program Controlled

(b)

Gambar 3.26 *Connection Point Tugboat* (a) dan *Connection Point Barge* (b)



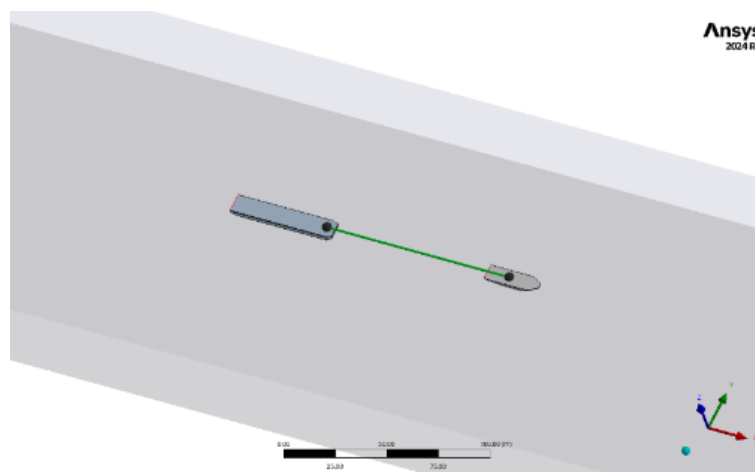
Gambar 3.27 Titik *Connection Point*

7. Pengaturan *catenary section* sesuai dengan spesifikasi *towrope* yang digunakan sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.28.

Details of Catenary Section 1	
Name	Catenary Section 1
Section Properties	
☐ Mass/Unit Length	1.995 kg/m
☐ Equivalent Cross-Sectional ...	0.003318 m ²
☐ Stiffness, EA	4313.4 kN
☐ Maximum Expected Tension	495.24 kN
☐ Bending Stiffness, EI	0.0 kN.m ²
☐ Axial Stiffness Coefficient k1	0.0 kN
☐ Axial Stiffness Coefficient k2	0.0 kN
☐ Axial Stiffness Coefficient k3	0.0 kN
Section Hydrodynamic Properties	
☐ Added Mass Coefficient	1
☐ Transverse Drag Coefficient	1
☐ Equivalent Diameter	0.065 m
☐ Longitudinal Drag Coefficient	0.025

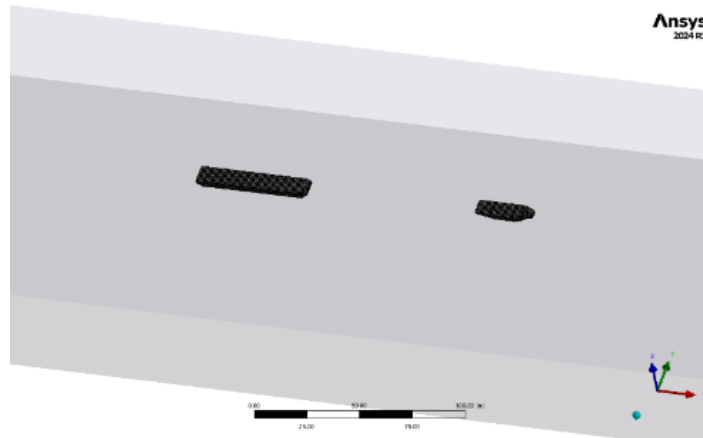
Gambar 3.28 *Catenary Section*

8. Penambahan *cable* dengan panjang awal 100 meter sesuai *requirement* BKI Guidelines for Safe Ocean Towing dan elongasi 5% sehingga diperoleh *unstretched length* 95 meter.



Gambar 3.29 *Cable*

9. *Meshing* pada model untuk membagi geometri kompleks menjadi elemen-elemen yang lebih kecil seperti pada Gambar 3.30.



Gambar 3.30 *Meshing* Model Lambung

10. Penentuan *analysis setting* pada *hydrodynamic diffraction* dengan menonaktifkan *full Quadratic Transfer Function (QTF) matrix calculation* karena analisis menggunakan *regular wave* satu arah. *Full QTF matrix calculation* diperlukan untuk mengetahui respons terhadap gaya gelombang orde dua di mana gelombang bersifat *irregular* dan memiliki beberapa arah. Pengaturan juga dilakukan pada *structure selection* untuk memilih struktur yang dianalisis. Selain itu, *wave direction* diatur dengan arah 180° dan *forward speed* sebesar kecepatan dinas *tugboat*. Tampilan pengaturan pada *hydrodynamic diffraction* dapat dilihat pada Gambar 3.31 hingga 3.33.

Details of Analysis Settings	
Name	Analysis Settings
External Operation before Solving	None
External Operation after Solving	None
Parallel Processing	Program Controlled
Generate Wave Grid Pressures	Yes
Wave Grid Resolution	Standard (81 x 51)
Wave Grid Size Factor	2
Common Analysis Options	
Ignore Modeling Rule Violations	Yes
Calculate Extreme Low/High Freque...	Yes
Include Multi-Directional Wave Inter...	No
Near Field Solution	Program Controlled
Linearized Morison Drag	No
QTF Options	
Calculate Full QTF Matrix	No
Output File Options	
Source Strengths	No
Potentials	No
Centroid Pressures	No
Element Properties	No
ASCII Hydrodynamic Database	No
Example of Hydrodynamic Database	No
Generate AHD Pressure Output	No

Gambar 3.31 *Analysis Setting* pada *Hydrodynamic Diffraction*

[-] Details of Structure Selection	
Name	Structure Selection
Structures to Exclude	None
[-] Group of Structures	
Interacting Structure Group 1	All
Interacting Structure Group 2	None
[-] Motion Locks	
Apply Motion Lock to Group 1	No
[-] Structure Ordering	
Structure 1	tug
Structure 2	barge

Gambar 3.32 *Structure Selection*

[-] Details of Wave Directions	
Name	Wave Directions
Visibility	Visible
Type	Single Direction, Forward Speed
☐ Forward Speed	2.57222 m/s
☐ Wave Direction	180°

Gambar 3.33 Pengaturan *Wave Directions*

11. Penentuan *analysis setting* pada *hydrodynamic response* dengan mengaktifkan *include linear connection stiffness matrce* untuk mendefinisikan kekakuan sambungan antar bagian struktur terapung guna memodelkan respons dinamis dan interaksi gaya secara realistis. Tampilan *analysis setting* pada *hydrodynamic response* dapat dilihat pada Gambar 3.34.

[-] Details of Analysis Settings	
Name	Analysis Settings
Computation Type	Stability Analysis
External Operation before Solving	None
External Operation after Solving	None
Parallel Processing	Manual Definition
Requested Number of Cores	8
Use Cable Dynamics	Yes
[-] Equilibrium Specific Options	
Output Global Stiffness Matrix	Yes
Require Convergence for Subsequent Analyses	Yes
Starting Position	Based on Geometry
[-] Iteration and Convergence Limits	
Maximum Number of Iterations	1000
Movement Limitations per Iteration Step	Program Controlled
Maximum Error in Equilibrium Position	Program Controlled
[-] Common Analysis Options	
Use Linear Stiffness Matrix to Calculate Hydrosta...	Yes
Apply Drift Force with Multi-Directional Wave Inte...	No
Include Linear Connection Stiffness Matrices	Yes

Gambar 3.34 *Analysis Setting* pada *Hydrodynamic Response*

12. Analisis pada hidrostatis, respons tekanan hidrodinamik terhadap panel lambung, frekuensi natural gerakan, dan gaya tarik yang dihasilkan.

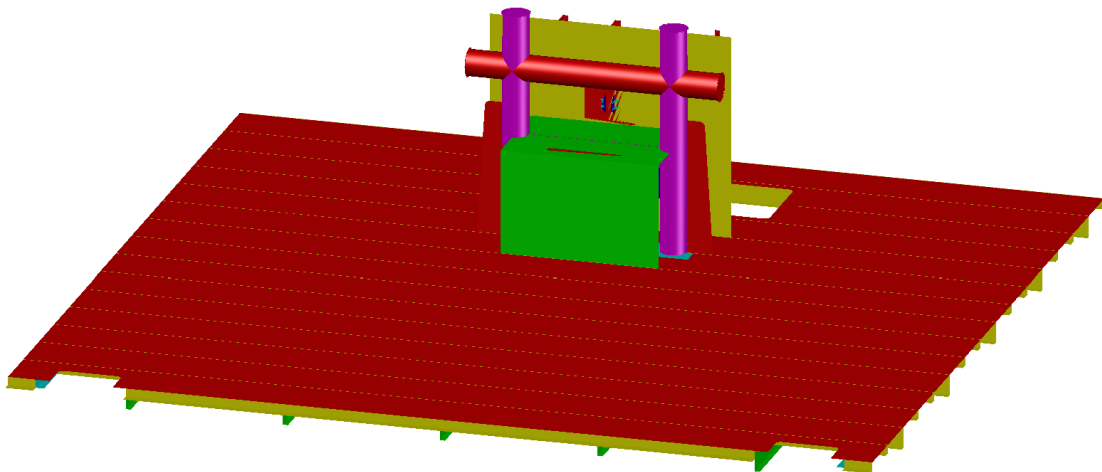
3.5. Pemodelan dan Simulasi Struktur *Towing Hook*

Setelah data gaya tarik maksimum diperoleh dari simulasi penarikan *barge*, langkah selanjutnya adalah melakukan pemodelan dan simulasi terhadap struktur *towing hook* untuk mengetahui respons mekanisnya terhadap beban tarik. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah simulasi numerik struktur *towing hook* menggunakan perangkat lunak Ansys *Static Structural*. Ansys *Static Structural* dipilih karena mampu melakukan analisis tegangan, regangan, dan distribusi gaya internal pada komponen struktural. Berikut adalah tahapan-tahapan yang dilakukan.

3.5.1. Pemodelan Struktur *Towing Hook*

Pemodelan struktur *towing hook* dilakukan pada *software* AutoCAD. Pemodelan mencakup *frame* 10 sampai 25 yang terdiri dari struktur *base connection*, *towing hook*, *foundation*, *deck plate*, dan *beam*. Berikut adalah tahapan-tahapan dalam pemodelannya.

1. Pemuatan gambar *construction profile* dan *towing & bolder construction* pada *software* AutoCAD.
2. Pengskalaan gambar hingga sama dengan ukuran aslinya.
3. Pemodelan struktur *towing hook* ke bentuk 3D *surface* seperti pada Gambar 3.35.



Gambar 3.35 Model Struktur *Towing Hook*

4. *Export* dalam bentuk .IGS untuk dimasukkan ke Ansys.

3.5.2. Simulasi Ansys *Static Structural*

Simulasi struktur *towing hook* pada Ansys *Static Structural* melalui beberapa tahap sebagai berikut.

1. Pengaturan *engineering data* dengan memasukkan data material yang digunakan seperti Gambar 3.36.

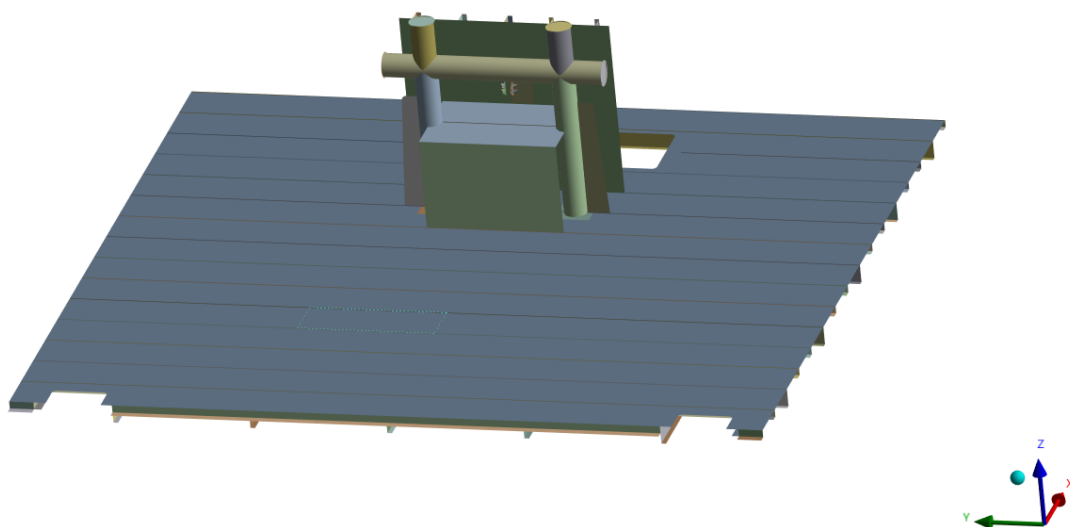
Outline of Schematic A2: Engineering Data				
	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data			Source
3	Structural Steel			Description
				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1

Properties of Outline Row 3: Structural Steel				
	A	B	C	D
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7850	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
12	Strain-Life Parameters			
20	S-N Curve	Tabular		
24	Tensile Yield Strength	235	MPa	
25	Tensile Ultimate Strength	400	MPa	
26	Paris' Law			
27	Unit Selection			
28	Length Per Cycle Units	m cycle ⁻¹		
29	Stress Intensity Factor Units	MPa m ^{0.5}		

Gambar 3.36 *Engineering Data*

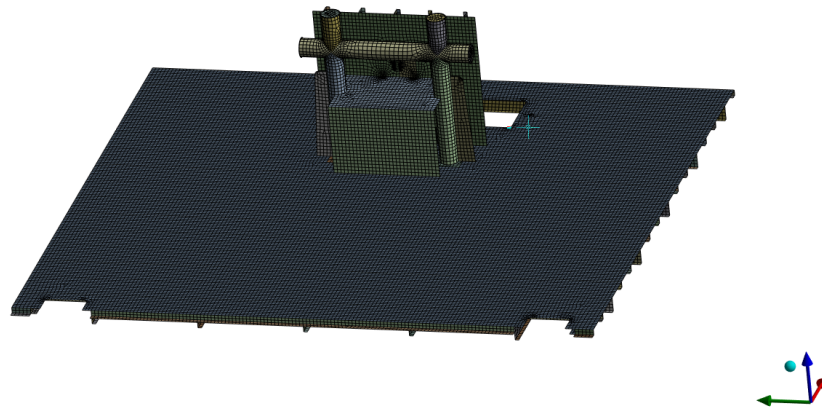
2. Pemindahan geometri struktur *towing hook* ke Ansys *Static Structural* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.37.

A: Static Structural
Solution
Time: 1. s
7/2/2025 4:15 PM



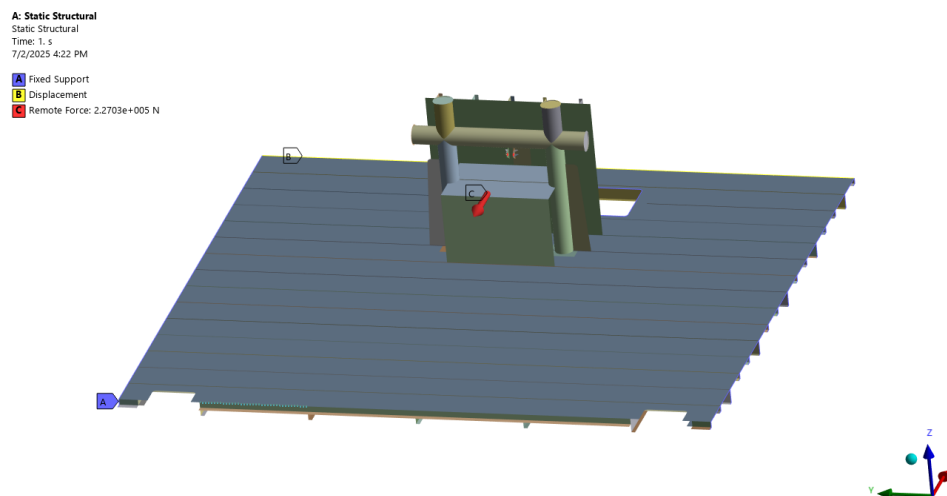
Gambar 3.37 Geometri Struktur *Towing Hook*

3. Pembuatan *mesh* pada model dilakukan dengan metode *sizing* untuk memperoleh detail yang baik seperti pada Gambar 3.38.



Gambar 3.38 *Meshing* Pada Model Struktur *Towing Hook*

4. Penentuan *boundary condition* dilakukan dengan menetapkan *fixed support* pada sisi *main deck* dan *displacement* pada sumbu X di bagian belakang, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.39. Selain itu, diberikan pula *remote force* yang merepresentasikan gaya tarik hasil simulasi penarikan *barge* dengan titik aplikasi gaya berada di ujung pengait *towing hook*. *Fixed support* menunjukkan bahwa bagian tersebut tidak mengalami perpindahan maupun rotasi dalam arah atau sumbu apa pun. Sementara itu, kondisi *displacement* pada sumbu X memungkinkan terjadinya pergeseran struktur secara terbatas hanya searah sumbu X, sehingga mensimulasikan respons realistis terhadap gaya tarik yang bekerja.



Gambar 3.39 *Boundary Condition*

5. Analisis tegangan maksimum dan deformasi maksimum pada struktur.

3.6. Konvergensi *Meshing*

Konvergensi merupakan proses yang bertujuan untuk menentukan ukuran elemen *mesh* yang optimal dalam analisis numerik, sehingga hasil simulasi yang diperoleh dapat dianggap akurat dan dapat diandalkan. Suatu *mesh* dikatakan telah konvergen apabila perubahan hasil analisis khususnya pada parameter kritis seperti tegangan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan meskipun ukuran elemen diperkecil lebih lanjut. Salah satu pendekatan yang umum digunakan untuk mengevaluasi konvergensi adalah melalui kurva konvergensi, di mana grafik ini memanfaatkan nilai tegangan pada titik atau area kritis dari struktur. Prosedur ini dilakukan dengan membandingkan hasil tegangan dari beberapa simulasi menggunakan ukuran elemen yang berbeda, hingga diperoleh hasil yang relatif stabil. Konvergensi dianggap tercapai apabila selisih antara dua hasil berturut-turut berada di bawah ambang batas 5% (Madier, 2020).

3.7. Perbandingan Beban Tarik Hasil Simulasi dan Perhitungan *Bollard Pull*

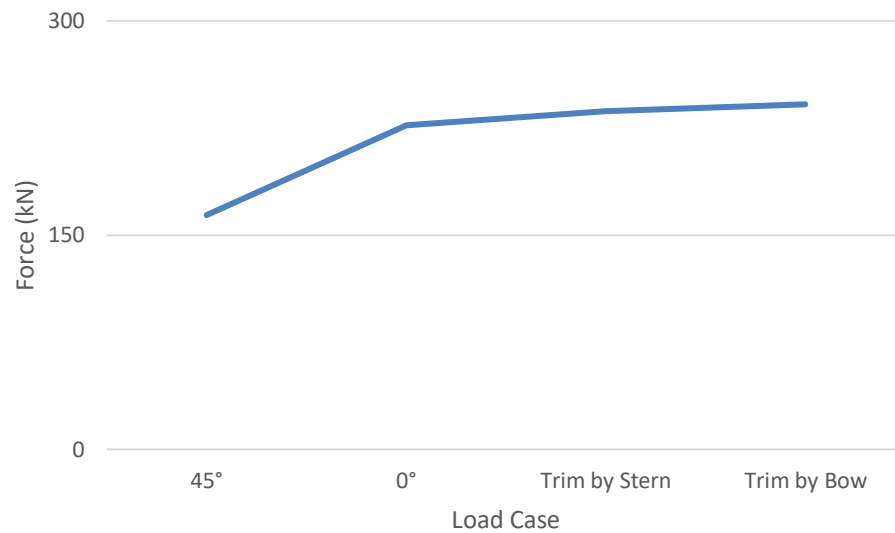
Perbandingan dilakukan antara beban tarik hasil simulasi dan perhitungan *bollard pull* untuk mengetahui selisih antara perhitungan statis dan hasil variasi yang dilakukan seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Perbandingan Beban Tarik Hasil Simulasi dan Perhitungan *Bollard Pull*

No	<i>Load Case</i>	<i>Force</i> (kN)	<i>Bollard Pull</i> (kN)	Selisih (%)
1	0°, <i>full load</i>	227,027	245,63	7,57%
2	45°, <i>full load</i>	164,014		33,22%
3	<i>Trim by stern, full load</i>	236,847		3,58%
4	<i>Trim by bow, full load</i>	241,584		1,64%

Berdasarkan tabel, gaya tarik hasil perhitungan *bollard pull* lebih besar dibandingkan hasil simulasi karena pendekatan empiris yang mempertimbangkan faktor koreksi dan keamanan. Sebaliknya, simulasi bersifat numerik dan dipengaruhi oleh kondisi batas serta parameter operasi. Pada sudut 0°, gaya tarik simulasi sebesar 227,027 kN memiliki selisih 7,57% dari *bollard pull* yang menunjukkan efisiensi arah gaya tarik. Pada sudut 45°, gaya tarik turun menjadi 164,014 kN dengan selisih 33,22% akibat komponen gaya lateral. Pada kondisi *trim by stern*, gaya tarik naik menjadi 236,847 kN dengan selisih 3,58% karena buritan *barge* yang tenggelam mengakibatkan hambatan tambahan. Kondisi *trim by bow* menghasilkan gaya tarik tertinggi yaitu 241,584 kN dengan selisih terkecil 1,64% karena peningkatan *wave-making resistance* akibat haluan *barge* yang lebih tenggelam. Hambatan ini lebih besar daripada

kondisi *trim by stern* karena gelombang yang berlawanan dengan arah gerak kapal memerlukan gaya yang besar untuk memecah gelombang tersebut. Adapun grafik gaya tarik maksimum yang terjadi pada setiap *load case* dapat dilihat pada Gambar 3.40.



Gambar 3.40 Gaya Tarik Maksimum pada Setiap *Load Case*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

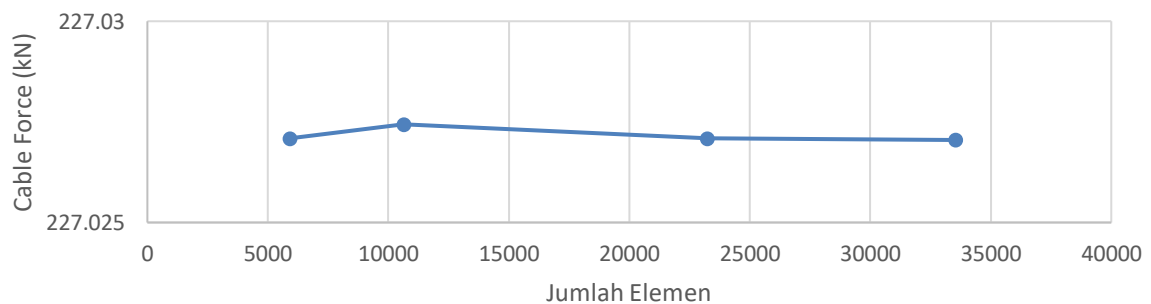
4.1. Analisis Konvergensi Model

Analisis konvergensi model dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh ukuran elemen terhadap hasil analisis serta menentukan ukuran *mesh* yang optimal untuk memastikan akurasi dan efisiensi komputasi. Hasil konvergensi model yang dilakukan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel dan Gambar 4.1 hingga 4.8.

a. Simulasi Penarikan *Barge* Variasi 0°

Tabel 4.1 Konvergensi Simulasi Penarikan *Barge* Variasi 0°

No	<i>Element Size</i> (mm)	Jumlah Elemen	<i>Cable Force</i> (kN)	Selisih (%)
1	600	5924	227,02709	
2	450	10632	227,02744	0,000%
3	300	23243	227,02709	0,000%
4	250	33524	227,02705	0,000%

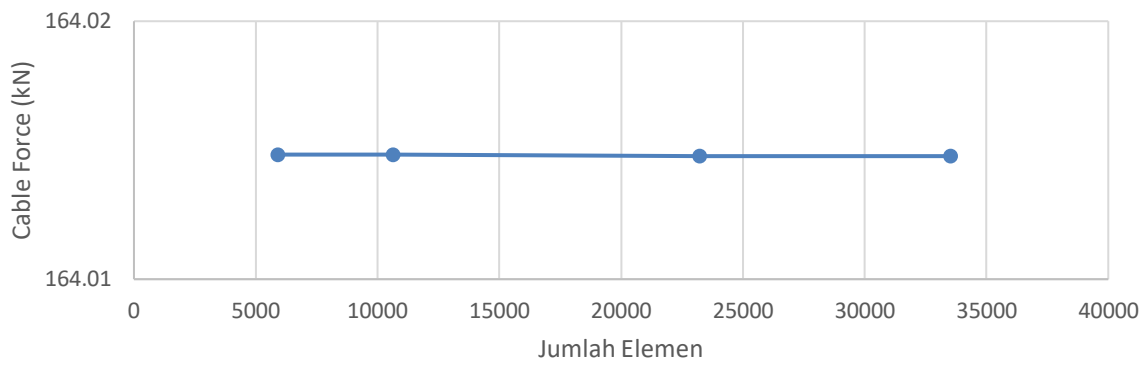


Gambar 4.1 Grafik Konvergensi Simulasi Penarikan *Barge* Variasi 0°

b. Simulasi Penarikan *Barge* Variasi 45°

Tabel 4.2 Konvergensi Simulasi Penarikan *Barge* Variasi 45°

No	<i>Element Size</i> (mm)	Jumlah Elemen	<i>Cable Force</i> (kN)	Selisih (%)
1	600	5924	164,01483	
2	450	10632	164,01483	0,000%
3	300	23243	164,01477	0,000%
4	250	33524	164,01477	0,000%

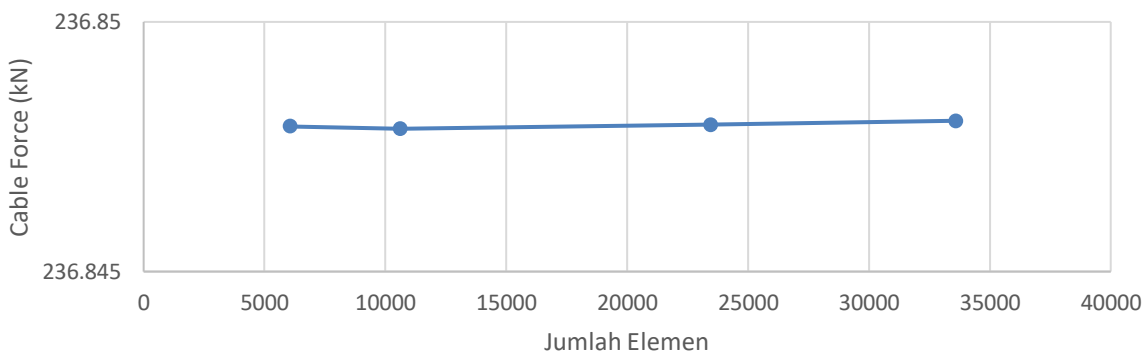


Gambar 4.2 Grafik Konvergensi Simulasi Penarikan *Barge Variasi 45°*

c. Simulasi Penarikan *Barge Variasi Trim by Stern*

Tabel 4.3 Konvergensi Simulasi Penarikan *Barge Variasi Trim by Stern*

No	<i>Element Size</i> (mm)	Jumlah Elemen	<i>Cable Force</i> (kN)	Selisih (%)
1	600	6054	236,84791	
2	450	10613	236,84786	0,000%
3	300	23461	236,84794	0,000%
4	250	33604	236,84802	0,000%

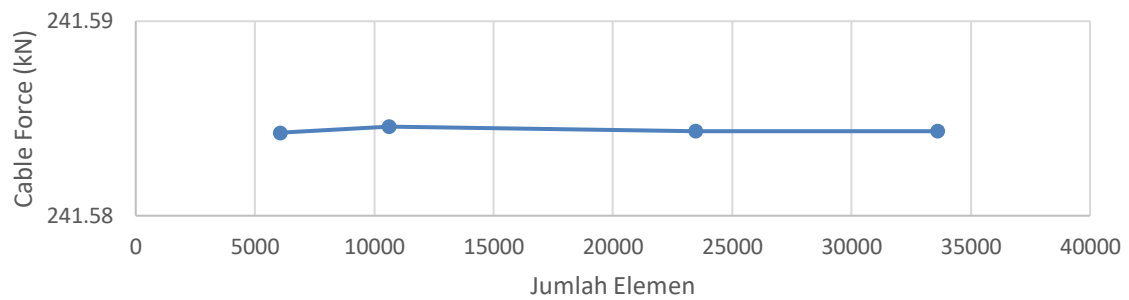


Gambar 4.3 Grafik Konvergensi Simulasi Penarikan *Barge Variasi Trim by Stern*

d. Simulasi Penarikan *Barge Variasi Trim by Bow*

Tabel 4.4 Konvergensi Simulasi Penarikan *Barge Variasi Trim by Bow*

No	<i>Element Size</i> (mm)	Jumlah Elemen	<i>Cable Force</i> (kN)	Selisih (%)
1	600	6054	241,58427	
2	450	10613	241,58458	0,000%
3	300	23461	241,58436	0,000%
4	250	33604	241,58436	0,000%

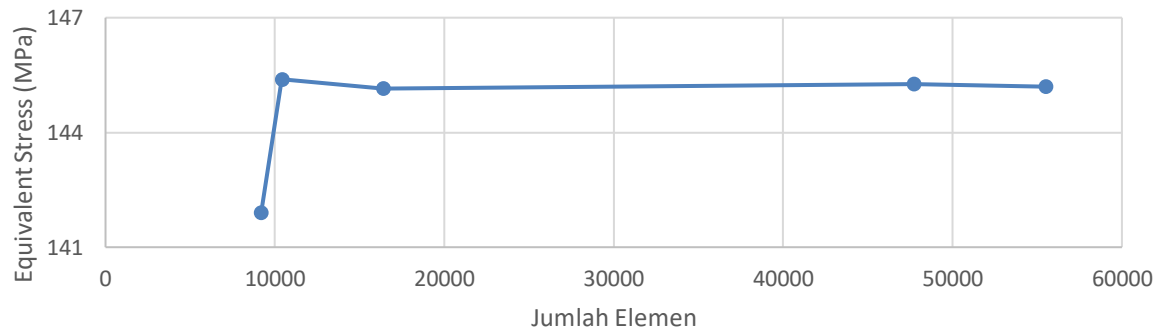


Gambar 4.4 Grafik Konvergensi Simulasi Penarikan *Barge Variasi Trim by Bow*

e. Simulasi Struktur *Towing Hook* Variasi 0°

Tabel 4.5 Konvergensi Simulasi Struktur *Towing Hook* Variasi 0°

No	<i>Element Size</i> (mm)	Jumlah Elemen	<i>Equivalent Stress</i> (MPa)	Selisih (%)
1	300	9191	141,91	
2	200	10408	145,39	2,452%
3	100	16382	145,15	0,165%
4	50	47702	145,27	0,083%
5	45	55492	145,2	0,048%

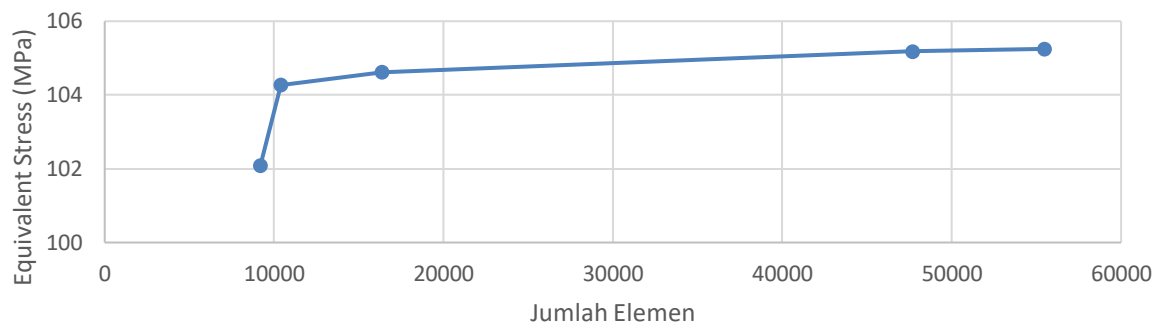


Gambar 4.5 Grafik Konvergensi Simulasi Struktur *Towing Hook* Variasi 0°

f. Simulasi Struktur *Towing Hook* Variasi 45°

Tabel 4.6 Konvergensi Simulasi Struktur *Towing Hook* Variasi 45°

No	<i>Element Size</i> (mm)	Jumlah Elemen	<i>Equivalent Stress</i> (MPa)	Selisih (%)
1	300	9191	102,09	
2	200	10408	104,27	2,135%
3	100	16382	104,62	0,335%
4	50	47702	105,18	0,535%
5	45	55492	105,25	0,066%

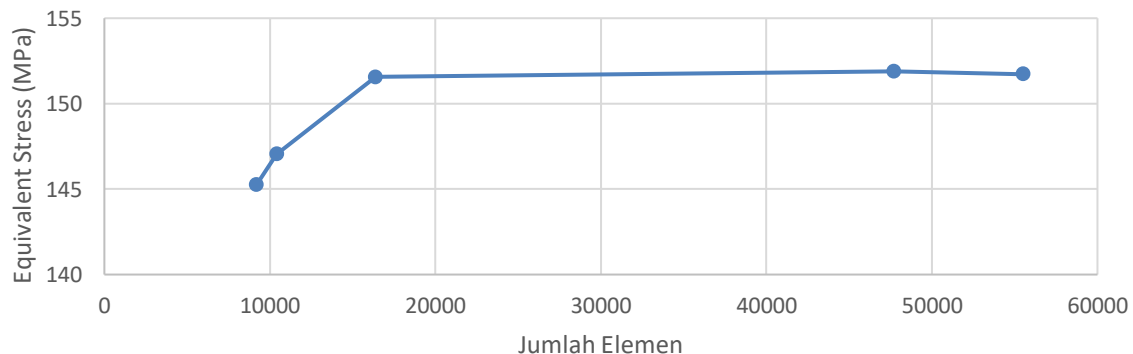


Gambar 4.6 Grafik Konvergensi Simulasi Struktur *Towing Hook* Variasi 45°

g. Simulasi Struktur *Towing Hook* Variasi *Trim by Stern*

Tabel 4.7 Konvergensi Simulasi Struktur *Towing Hook* Variasi *Trim by Stern*

No	<i>Element Size</i> (mm)	Jumlah Elemen	<i>Equivalent Stress</i> (MPa)	Selisih (%)
1	300	9191	145,25	
2	200	10408	147,04	1,232%
3	100	16382	151,57	3,080%
4	50	47702	151,89	0,211%
5	45	55492	151,73	0,105%

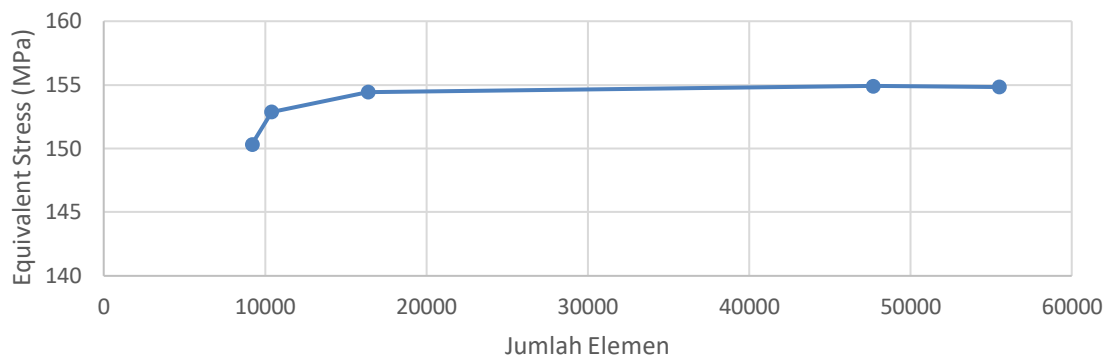


Gambar 4.7 Grafik Konvergensi Simulasi Struktur *Towing Hook* Variasi *Trim by Stern*

h. Simulasi Struktur *Towing Hook* Variasi *Trim by Bow*

Tabel 4.8 Konvergensi Simulasi Struktur *Towing Hook* Variasi *Trim by Bow*

No	<i>Element Size</i> (mm)	Jumlah Elemen	<i>Equivalent Stress</i> (MPa)	Selisih (%)
1	300	9191	150,34	
2	200	10408	152,87	1,682%
3	100	16382	154,45	1,033%
4	50	47702	154,92	0,304%
5	45	55492	154,85	0,045%



Gambar 4.8 Grafik Konvergensi Simulasi Struktur *Towing Hook* Variasi *Trim by Bow*

Berdasarkan data yang diperoleh, dapat diketahui bahwa simulasi yang dilakukan sudah memperoleh hasil yang konvergen di mana penambahan jumlah elemen tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap parameter simulasi.

4.2. Analisis Simulasi Penarikan Barge

Analisis simulasi penarikan barge dalam penelitian ini bertujuan untuk meninjau pengaruh variasi *load case* penarikan *barge* terhadap berbagai respons struktur maupun gaya tarik yang dihasilkan. Analisis yang telah dilakukan akan dijabarkan lebih lanjut pada beberapa subbab berikut.

4.2.1. Validasi Model Berdasarkan Data Hidrostatik

Validasi model dilakukan dengan membandingkan geometri lambung yang digunakan pada Ansys AQWA dengan model dari Maxsurf guna memastikan konsistensi bentuk dan parameter hidrostatik yang digunakan dalam simulasi. Hasil validasi disajikan dalam bentuk tabel guna mempermudah analisis perbedaan nilai dan tingkat kesesuaian antara model simulasi dan data acuan. Tabel 4.9 dan 4.10 menunjukkan perbandingan data hidrostatik geometri lambung pada Ansys AQWA dan Maxsurf.

Tabel 4.9 Perbandingan Geometri Lambung *Tugboat* Pada Ansys AQWA dan Maxsurf

Kriteria	Maxsurf	AQWA	Selisih	%
<i>Volume Displacement</i> (m ³)	357,379	357,272	0,107	0,03%
<i>Water Plane Area</i> (m ²)	204,883	205,138	0,255	0,12%
GML (m)	33,11	33,167	0,057	0,17%
GMT (m)	4,336	4,346	0,01	0,23%
BML (m)	31,644	31,698	0,054	0,17%
BMT (m)	2,87	2,878	0,008	0,28%

Tabel 4.10 Perbandingan Geometri Lambung *Barge* Pada Ansys AQWA dan Maxsurf

Kriteria	Maxsurf	AQWA	Selisih	%
<i>Volume Displacement</i> (m ³)	1299,713	1301,136	1,423	0,11%
<i>Water Plane Area</i> (m ²)	522,432	522,644	0,212	0,04%
GML (m)	101,871	101,86	0,011	0,01%
GMT (m)	4,333	4,331	0,002	0,05%
BML (m)	100,56	100,55	0,01	0,01%
BMT (m)	3,022	3,021	0,001	0,03%

Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui bahwa selisih data hidrostatik yang diperoleh di bawah 5%. Hal ini menunjukkan bahwa geometri yang digunakan dapat dikatakan valid.

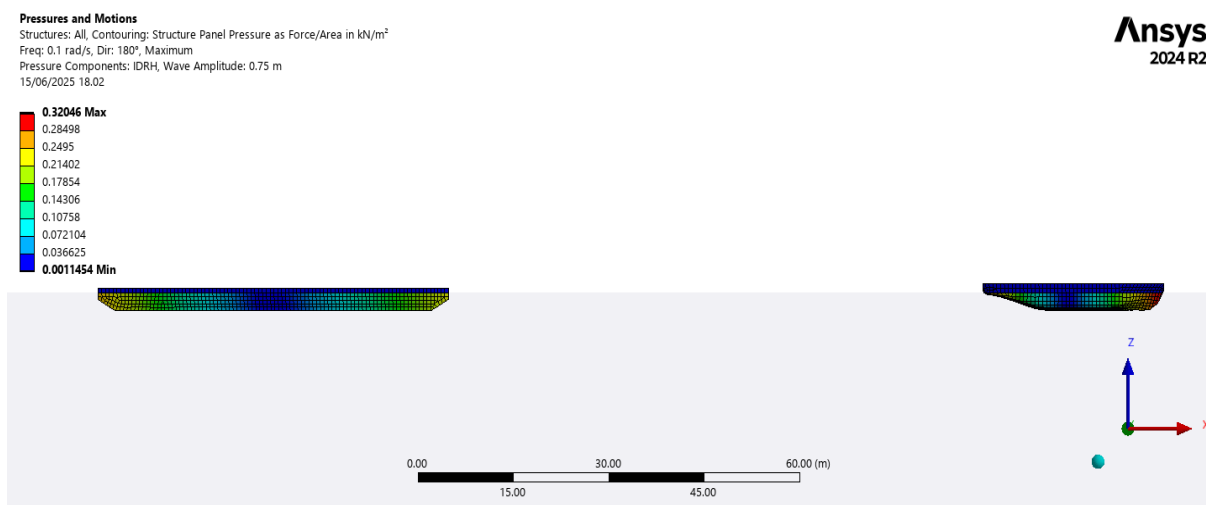
4.2.2. Analisis Tekanan Hidrodinamik Terhadap Panel Lambung

Analisis tekanan hidrodinamik terhadap panel lambung dilakukan untuk mengetahui distribusi gaya yang bekerja akibat interaksi antara permukaan kapal dan gelombang laut. Dalam simulasi ini, model lambung dibagi menjadi sejumlah panel permukaan dengan ukuran sesuai *meshing* agar mampu merepresentasikan geometri lambung secara akurat. Hasil simulasi yang dilakukan disajikan pada Tabel 4.11 hingga 4.14 dan Gambar 4.9 hingga 4.12.

a. Variasi 0°

Tabel 4.11 Tekanan Maksimum dan Minimum Panel Lambung Variasi 0°

Parameter	Nilai (kN/m ²)
Tekanan Maksimum	0,320
Tekanan Minimum	0,001

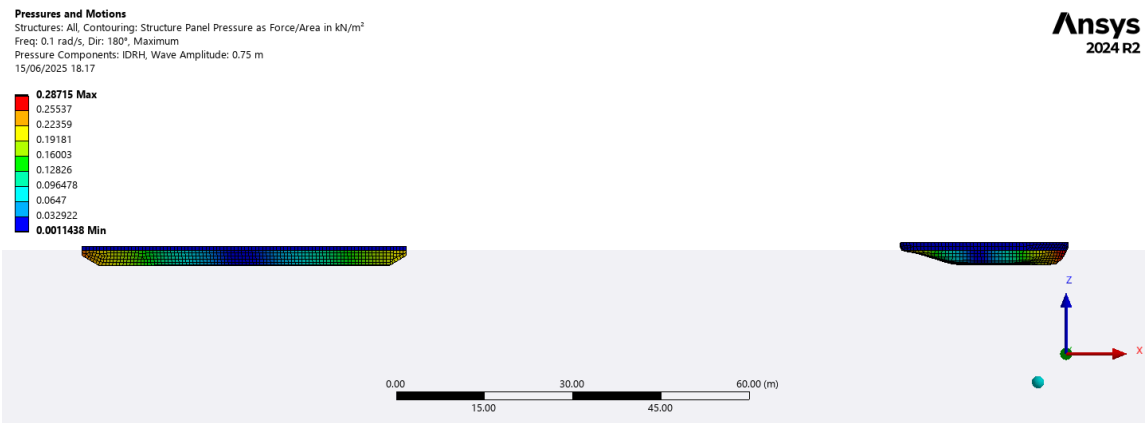


Gambar 4.9 Tekanan Hidrodinamik Panel Lambung Variasi 0°

b. Variasi 45°

Tabel 4.12 Tekanan Maksimum dan Minimum Panel Lambung Variasi 45°

Parameter	Nilai (kN/m ²)
Tekanan Maksimum	0,287
Tekanan Minimum	0,001

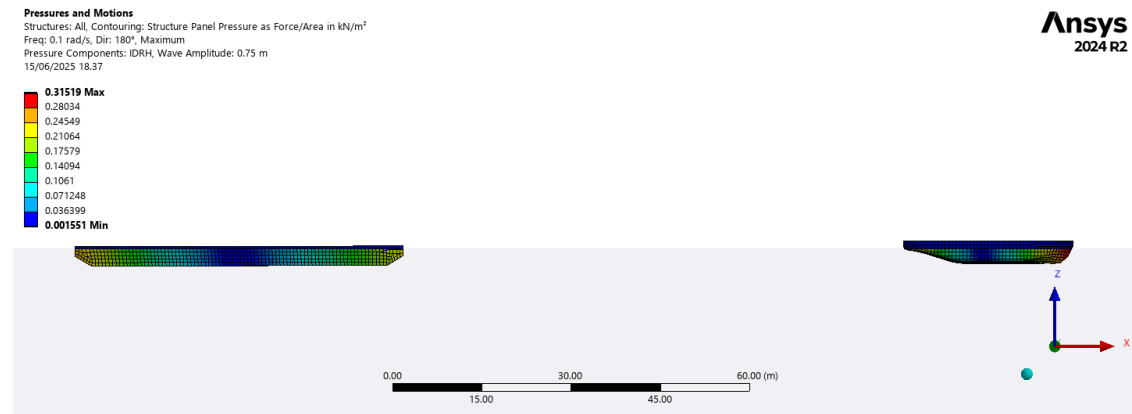


Gambar 4.10 Tekanan Hidrodinamik Panel Lambung Variasi 45°

c. Variasi *Trim by Stern*

Tabel 4.13 Tekanan Maksimum dan Minimum Panel Lambung Variasi *Trim by Stern*

Parameter	Nilai (kN/m ²)
Tekanan Maksimum	0,315
Tekanan Minimum	0,001

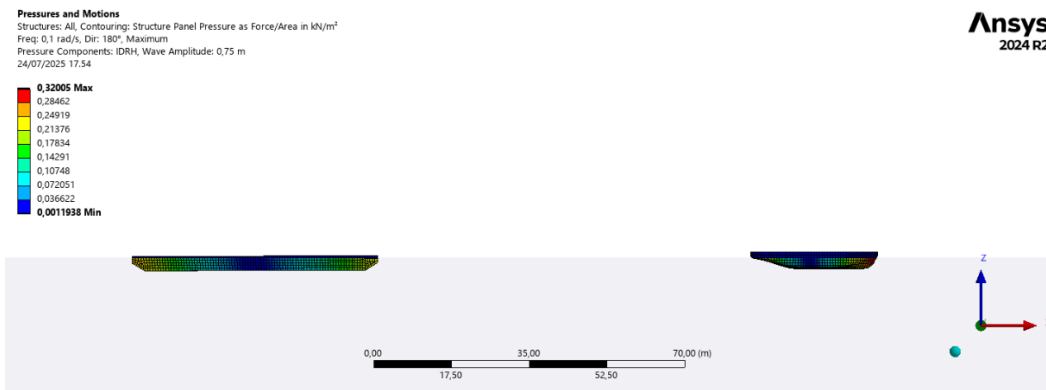


Gambar 4.11 Tekanan Hidrodinamik Panel Lambung Variasi *Trim by Stern*

d. Variasi *Trim by Bow*

Tabel 4.14 Tekanan Maksimum dan Minimum Panel Lambung Variasi *Trim by Bow*

Parameter	Nilai (kN/m ²)
Tekanan Maksimum	0,320
Tekanan Minimum	0,001



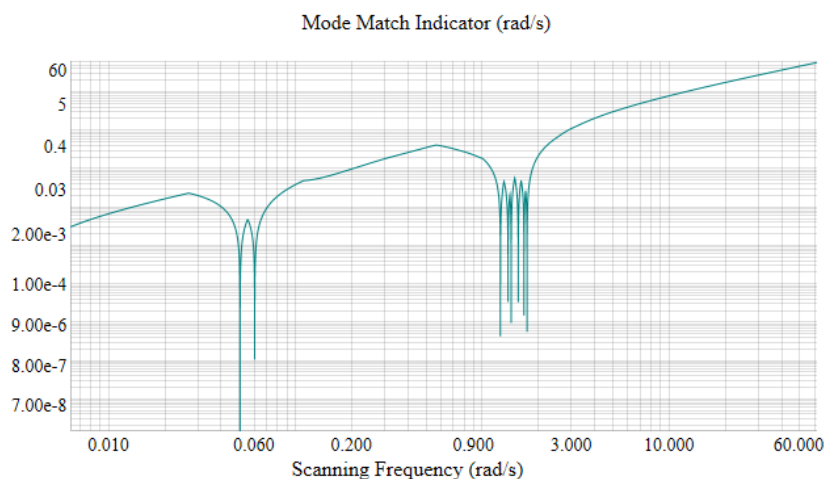
Gambar 4.12 Tekanan Hidrodinamik Panel Lambung Variasi *Trim by Bow*

Hasil simulasi menunjukkan bahwa tekanan maksimum terjadi pada bagian haluan, khususnya di sekitar garis air. Tekanan kemudian menurun secara bertahap ke arah buritan. Pola distribusi ini dipengaruhi oleh arah datangnya gelombang serta bentuk geometri lambung kapal. Tekanan yang terukur pada panel lambung untuk setiap variasi tergolong rendah, hal ini mengindikasikan bahwa lambung tidak mengalami beban eksternal yang signifikan. Kondisi ini mendukung kestabilan gerakan kapal dan menunjukkan bahwa bentuk lambung mampu meredam gaya gelombang dengan baik.

4.2.3. Analisis Frekuensi Natural Gerakan Kapal

Analisis frekuensi natural dilakukan untuk mengetahui respons dinamis kapal terhadap eksitasi gelombang laut. Frekuensi natural merupakan frekuensi di mana sistem (dalam hal ini *tugboat* dan *barge*) cenderung berosilasi secara maksimum ketika mendapatkan gaya eksitasi dengan frekuensi yang sama. Hasil simulasi yang dilakukan disajikan pada Gambar 4.13 hingga 4.16 dan Tabel 4.15 hingga 4.18.

a. Variasi 0°

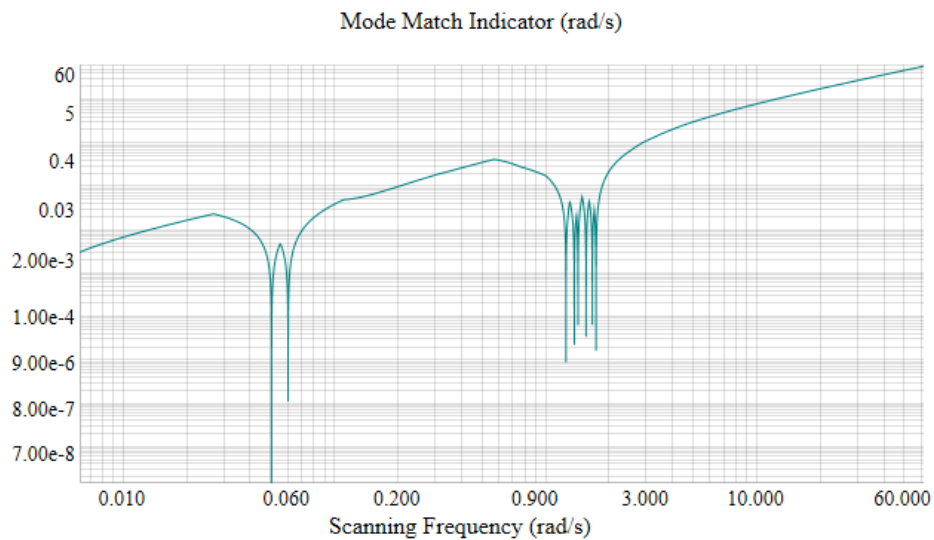


Gambar 4.13 Grafik *Natural Modes* Variasi 0°

Tabel 4.15 Frekuensi Natural Variasi 0°

Frekuensi Natural (rad/s)	<i>Critical Damping (%)</i>	Keterangan
0.05094	0,02%	Stabil
0.06097	0,05%	Tidak Stabil
1.26066	15,62%	Stabil
1.38446	20,55%	Stabil
1.43909	10,74%	Stabil
1.57030	8,89%	Stabil
1.68599	13,11%	Stabil
1.75043	11,12%	Stabil

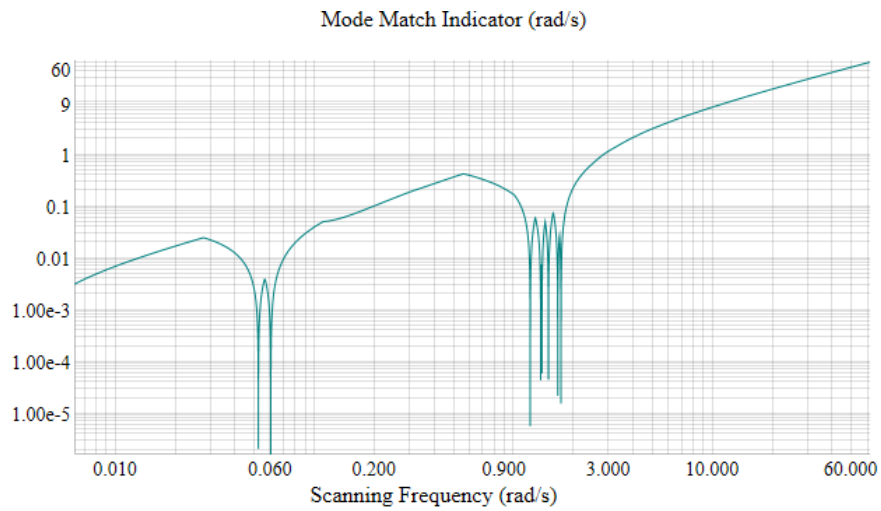
b. Variasi 45°

Gambar 4.14 Grafik *Natural Modes* Variasi 45°

Tabel 4.16 Frekuensi Natural Variasi 45°

Frekuensi Natural (rad/s)	<i>Critical Damping (%)</i>	Keterangan
0.05094	0,02%	Stabil
0.06097	0,05%	Tidak Stabil
1.26135	15,63%	Stabil
1.38055	20,72%	Stabil
1.43792	10,71%	Stabil
1.57039	8,88%	Stabil
1.68003	13,44%	Stabil
1.75035	11,14%	Stabil

c. Variasi *Trim by Stern*

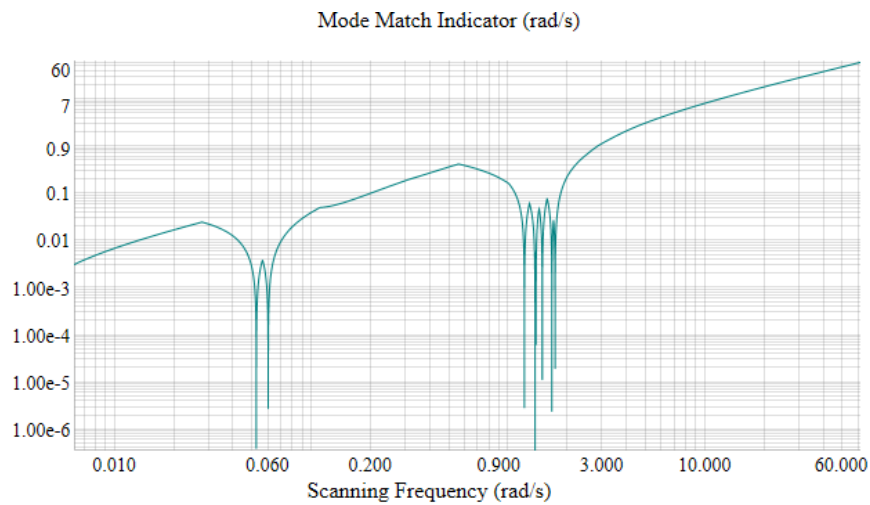


Gambar 4.15 Grafik *Natural Modes* Variasi *Trim by Stern*

Tabel 4.17 Frekuensi Natural Variasi *Trim by Stern*

Frekuensi Natural (rad/s)	<i>Critical Damping</i> (%)	Keterangan
0.05282	0,02%	Stabil
0.06097	0,05%	Tidak Stabil
1.22630	14,49%	Stabil
1.38445	20,56%	Stabil
1.40364	9,77%	Stabil
1.51379	7,45%	Stabil
1.68589	13,10%	Stabil
1.75043	11,12%	Stabil

d. Variasi *Trim by Bow*



Gambar 4.16 Grafik *Natural Modes* Variasi *Trim by Bow*

Tabel 4.18 Frekuensi Natural Variasi *Trim by Bow*

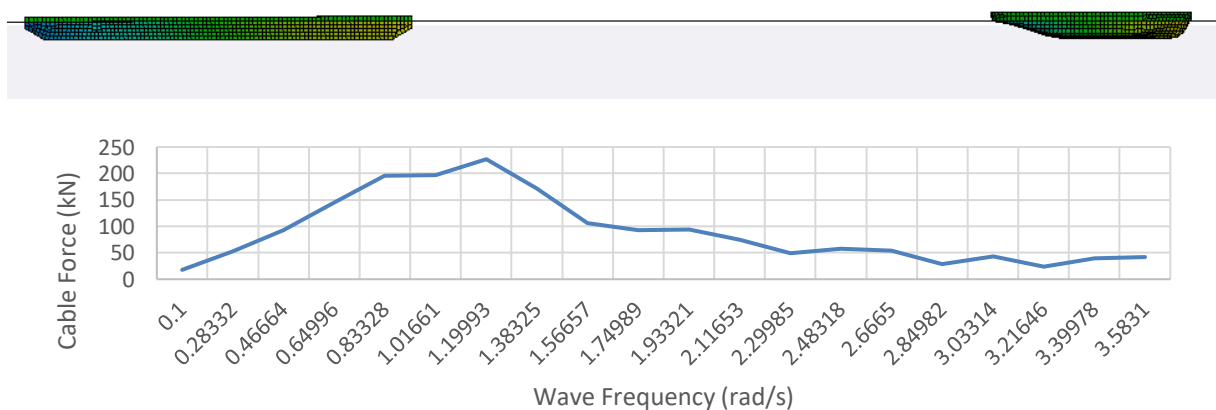
Frekuensi Natural (rad/s)	<i>Critical Damping (%)</i>	Keterangan
0.05282	0,02%	Stabil
0.06097	0,05%	Tidak Stabil
1.22630	14,35%	Stabil
1.38445	20,56%	Stabil
1.40364	9,65%	Stabil
1.51379	7,28%	Stabil
1.68589	13,10%	Stabil
1.75043	11,12%	Stabil

Hasil analisis menunjukkan delapan frekuensi natural yang dialami sistem pada setiap variasi. Terdapat satu frekuensi yang menyebabkan sistem menjadi tidak stabil yaitu 0,06097 rad/s. Frekuensi gelombang ini menyebabkan resonansi dan gerakan kapal berlebihan. Hal tersebut ditunjukkan oleh rasio redaman sebesar 0,05% dari nilai redaman kritis yang mencerminkan tingkat peredaman sangat rendah. Meskipun demikian, frekuensi tersebut berada di luar rentang frekuensi gelombang yang umum terjadi dalam kondisi operasional aktual, sehingga pengaruhnya terhadap stabilitas sistem dapat diabaikan.

4.2.4. Analisis Gaya Tarik yang Dihasilkan

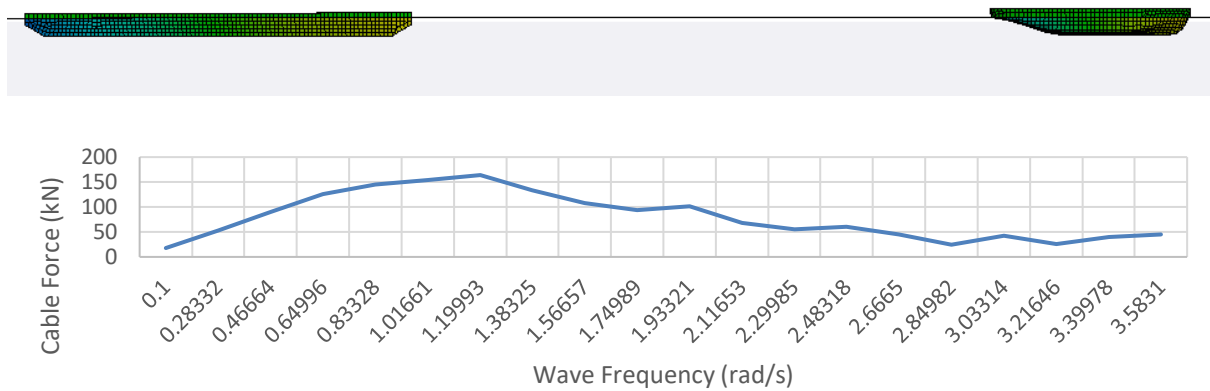
Analisis gaya tarik yang dihasilkan berguna untuk mengetahui seberapa besar nilai tarikan yang diperoleh dalam beberapa frekuensi gelombang. Hasil simulasi yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.17 hingga 4.20.

a. Variasi 0°



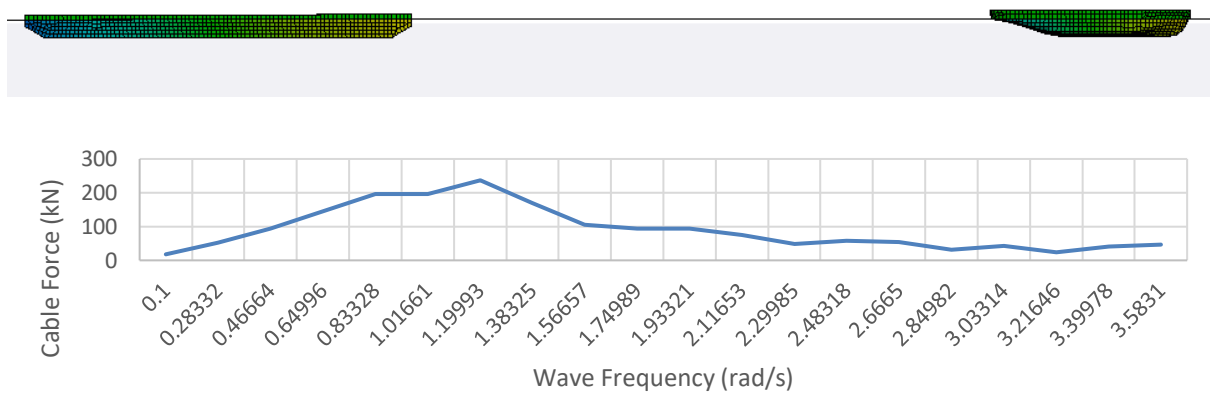
Gambar 4.17 Grafik Gaya Tarik yang Dihasilkan Terhadap Frekuensi Gelombang Variasi 0°

b. Variasi 45°



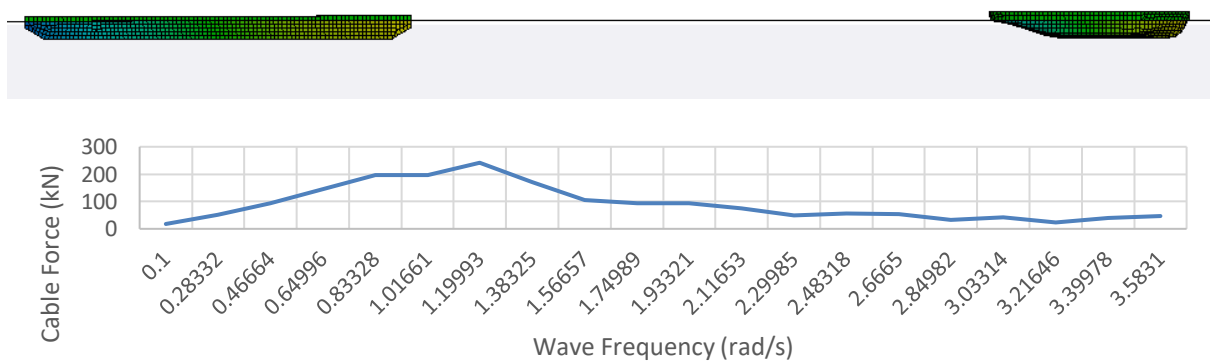
Gambar 4.18 Grafik Gaya Tarik yang Dihasilkan Terhadap Frekuensi Gelombang Variasi 45°

c. Variasi *Trim by Stern*



Gambar 4.19 Grafik Gaya Tarik yang Dihasilkan Terhadap Frekuensi Gelombang Variasi *Trim by Stern*

d. Variasi *Trim by Bow*



Gambar 4.20 Grafik Gaya Tarik yang Dihasilkan Terhadap Frekuensi Gelombang Variasi *Trim by Bow*

Berdasarkan grafik yang diperoleh, diketahui bahwa gaya tarik maksimum terjadi pada frekuensi gelombang sebesar 1,19993 rad/s yang setara dengan periode gelombang 5,236 detik. Pada kondisi ini, variasi 0° menghasilkan gaya tarik sebesar 227,027 kN, variasi 45° sebesar 164,014 kN, variasi *trim by stern* sebesar 236,847 kN, dan variasi *trim by bow* menghasilkan gaya tertinggi yaitu 241,584 kN. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi *load case* penarikan *barge* berpengaruh signifikan terhadap besarnya gaya tarik maksimum yang terjadi. Nilai gaya tarik maksimum ini selanjutnya akan digunakan sebagai beban input dalam simulasi struktur *towing hook*.

4.3. Analisis Simulasi Struktur *Towing Hook*

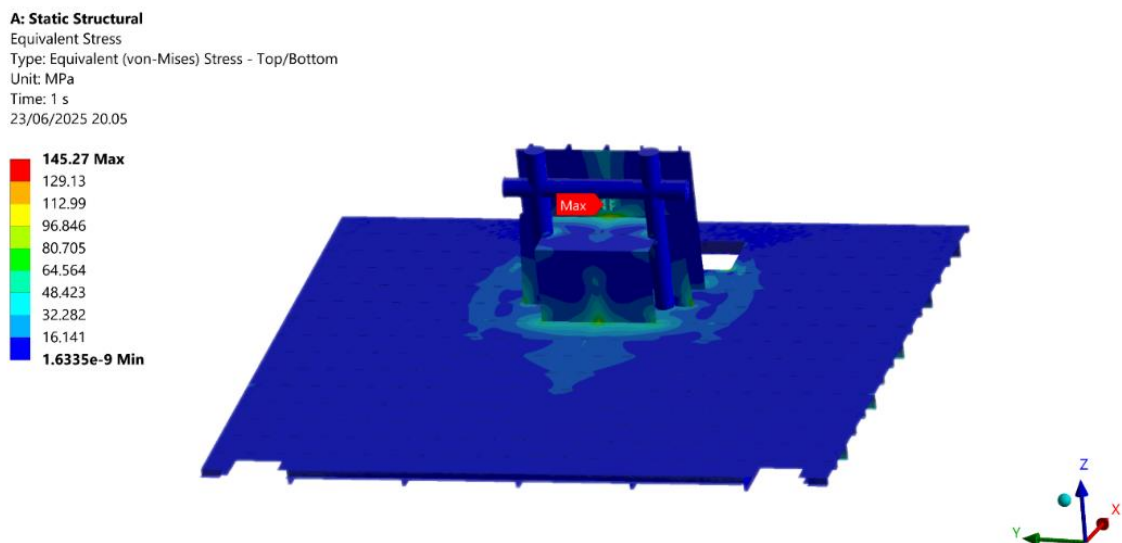
Analisis simulasi struktur *towing hook* dalam penelitian ini bertujuan untuk meninjau pengaruh gaya tarik maksimum yang dihasilkan dari variasi *load case* penarikan *barge* terhadap respons tegangan, deformasi, serta faktor keamanan struktur *towing hook*. Analisis tersebut akan dijabarkan lebih lanjut pada beberapa subbab berikut untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai kinerja struktur dalam kondisi operasional yang kritis.

4.3.1. Analisis Tegangan dan Deformasi Maksimum pada *Load Case* 0°

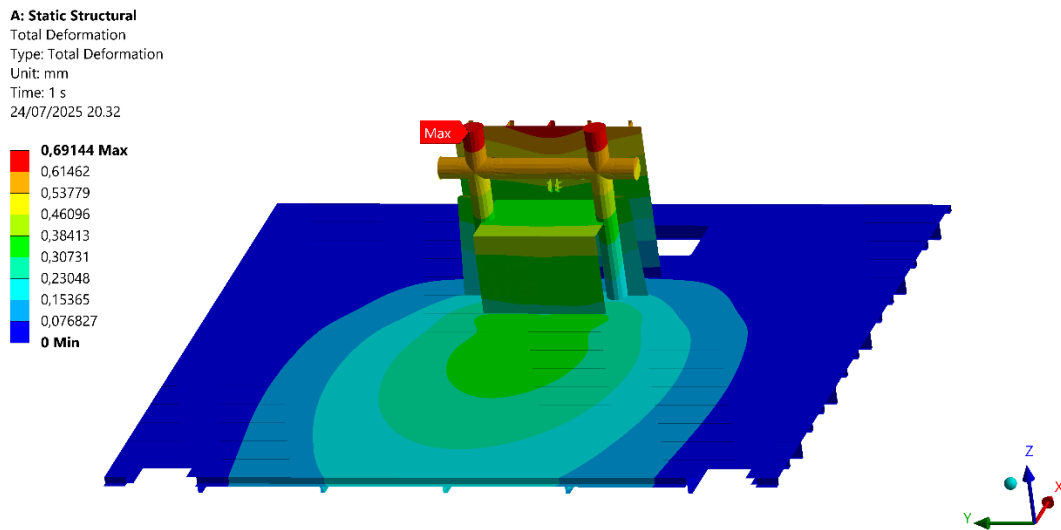
Analisis tegangan dan deformasi maksimum dilakukan dengan gaya tarik sebesar 227,027 kN. Hasil simulasi disajikan pada beberapa gambar dan tabel berikut.

a. *All Structure*

Gambar 4.20 dan Gambar 4.21 menunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi *all structure* pada variasi *load case* 0°



Gambar 4.21 Hasil Tegangan *All Structure* Variasi 0°



Gambar 4.22 Hasil Deformasi *All Structure* Variasi 0°

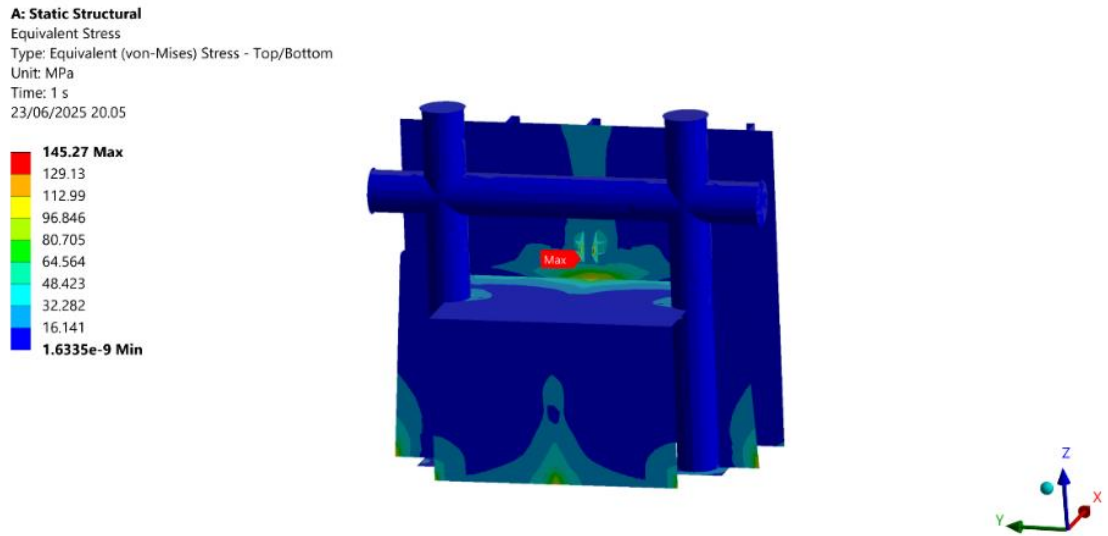
Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, diketahui bahwa tegangan maksimum terjadi pada bagian *towing hook foundation*. Hal ini sesuai dengan peran fondasi sebagai elemen struktural utama yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan dari *towing hook* ke struktur dek, serta memberikan dukungan kekuatan agar beban tarik dapat ditahan secara stabil. Lokasi tegangan maksimum ini menandakan bahwa fondasi merupakan titik yang menerima konsentrasi beban terbesar, sehingga validasi kekuatan di area ini menjadi sangat penting dalam menilai kelayakan struktural *towing hook*. Hasil analisis deformasi menunjukkan bahwa struktur *towing hook* secara keseluruhan tidak mengalami deformasi yang signifikan. Nilai deformasi maksimum yang dihasilkan tergolong kecil dan masih berada dalam batas elastis material yang berarti struktur tetap mampu kembali ke bentuk semula setelah beban dilepaskan. Besar tegangan dan deformasi maksimum pada setiap ketebalan kupingan *towing hook* dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Tegangan dan Deformasi Maksimum *All Structure* Variasi 0°

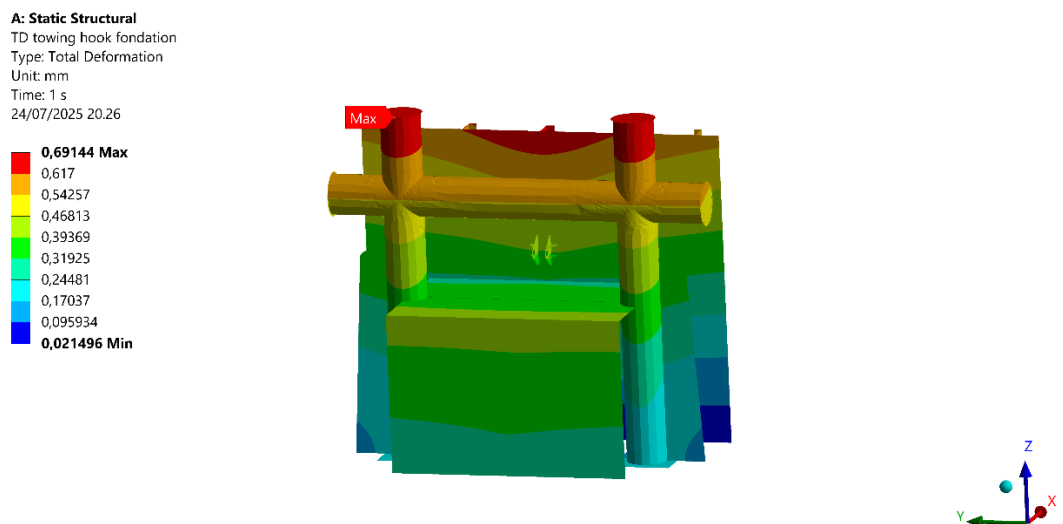
Tebal Kupingan (mm)	<i>Maximum Equivalent Stress</i> (MPa)	<i>Maximum Total Deformation</i> (mm)
20	145,27	0,691
22	130,52	0,611
24	124,30	0,568

b. *Towing Hook Foundation*

Gambar 4.22 dan Gambar 4.23 menunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi *towing hook foundation* pada variasi *load case* 0°



Gambar 4.23 Hasil Tegangan *Towing Hook Foundation* Variasi 0°



Gambar 4.24 Hasil Deformasi *Towing Hook Foundation* Variasi 0°

Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi pada ujung kupingan *towing hook*. Lokasi ini merupakan titik kritis yang menerima konsentrasi gaya tarik terbesar, karena gaya dari *towrope* ditransmisikan melalui sambungan pada bagian tersebut. Tegangan tinggi pada area ini juga dipengaruhi oleh perubahan geometri yang tajam serta keberadaan lubang sebagai yang menyebabkan penurunan luas penampang efektif dan menimbulkan konsentrasi tegangan (*stress concentration*). Kondisi ini memperkuat pentingnya desain geometri untuk meminimalkan tegangan lokal. Dalam cakupan deformasi, hasil simulasi menunjukkan bahwa struktur *towing hook foundation* tidak mengalami deformasi yang signifikan. Nilai deformasi yang rendah menunjukkan bahwa struktur memiliki tingkat

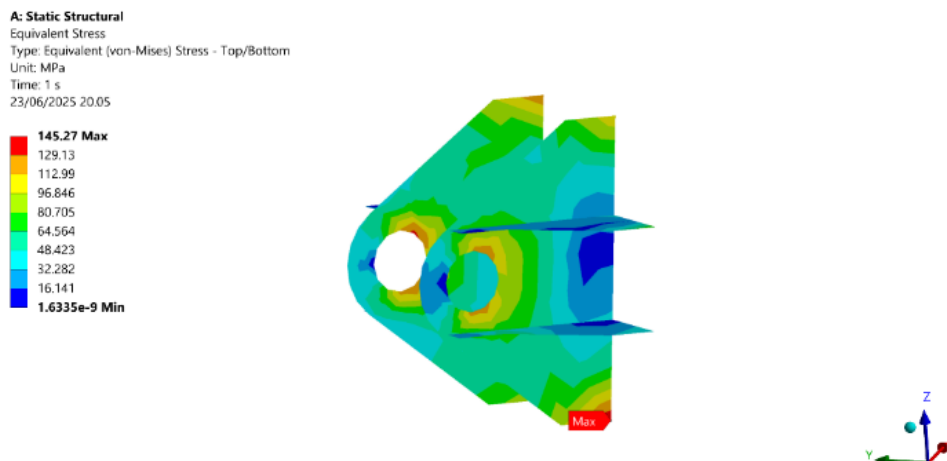
kekakuan (*stiffness*) yang memadai untuk menahan gaya tarik yang bekerja tanpa mengalami perubahan bentuk yang berlebihan. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur masih berada dalam kondisi elastis, sehingga mampu mempertahankan geometrinya selama kondisi operasional berlangsung. Besar tegangan dan deformasi maksimum pada setiap ketebalan kupingan *towing hook* dapat dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Tegangan dan Deformasi Maksimum *Towing Hook Foundation* Variasi 0°

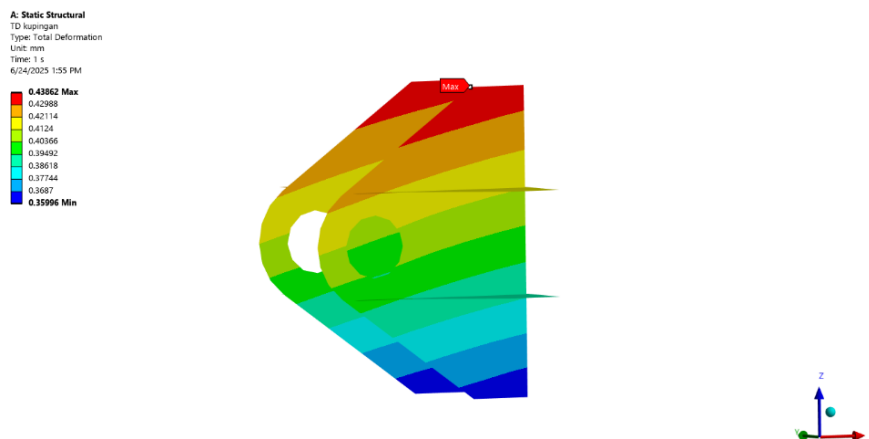
Tebal Kupingan (mm)	<i>Maximum Equivalent Stress</i> (MPa)	<i>Maximum Total Deformation</i> (mm)
20	145,27	0,691
22	130,52	0,611
24	124,30	0,568

c. *Base Connection*

Gambar 4.24 dan Gambar 4.25 menunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi *base connection* pada variasi *load case* 0°



Gambar 4.25 Hasil Tegangan *Base Connection* Variasi 0°



Gambar 4.26 Hasil Deformasi *Base Connection* Variasi 0°

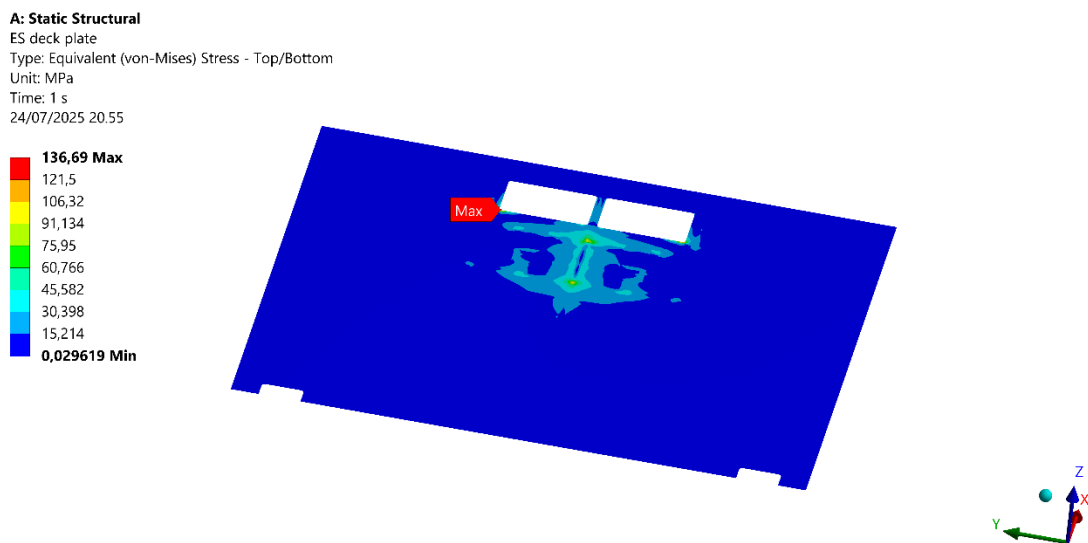
Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa tegangan maksimum terjadi pada bagian ujung kupingan *towing hook*. Area ini merupakan titik kritis karena berfungsi sebagai penghubung langsung antara kupingan dengan *doubling plate*, sehingga menjadi lokasi utama penyaluran gaya tarik. Tegangan tinggi di area tersebut disebabkan oleh perubahan geometri yang cukup tajam serta keberadaan lubang yang secara signifikan mengurangi luas penampang efektif dalam menahan beban. Kondisi ini menyebabkan konsentrasi tegangan (*stress concentration*) yang mengakibatkan distribusi tegangan tidak merata. Sementara itu, deformasi yang terjadi tergolong sangat kecil dengan nilai berkisar antara 0,3 hingga 0,4 mm pada seluruh variasi ketebalan kupingan yang dianalisis. Nilai deformasi tersebut menunjukkan bahwa struktur tersebut tidak mengalami perubahan bentuk yang signifikan dan mampu mempertahankan geometrinya. Besar tegangan dan deformasi maksimum pada setiap ketebalan kupingan *towing hook* dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Tegangan dan Deformasi Maksimum *Base Connection* Variasi 0°

Tebal Kupingan (mm)	<i>Maximum Equivalent Stress</i> (MPa)	<i>Maximum Total Deformation</i> (mm)
20	145,27	0,438
22	130,52	0,389
24	124,30	0,364

d. *Deck Plate*

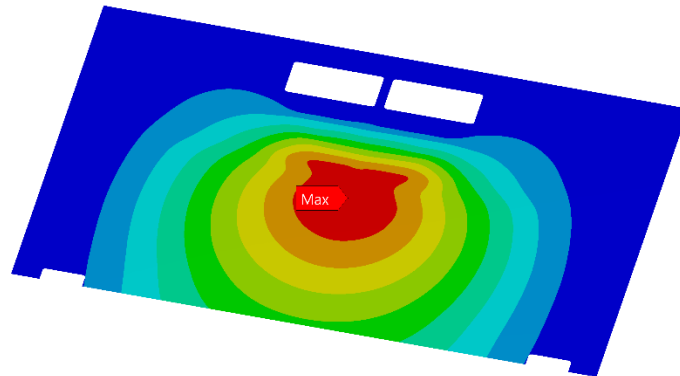
Gambar 4.26 dan Gambar 4.27 menunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi *deck plate* pada variasi *load case* 0°



Gambar 4.27 Hasil Tegangan *Deck Plate* Variasi 0°

A: Static Structural
 TD deck plate
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s
 24/07/2025 20.42

0,35741 Max
 0,3177
 0,27799
 0,23828
 0,19856
 0,15885
 0,11914
 0,079425
 0,039713
 0 Min



Gambar 4.28 Hasil Deformasi *Deck Plate* Variasi 0°

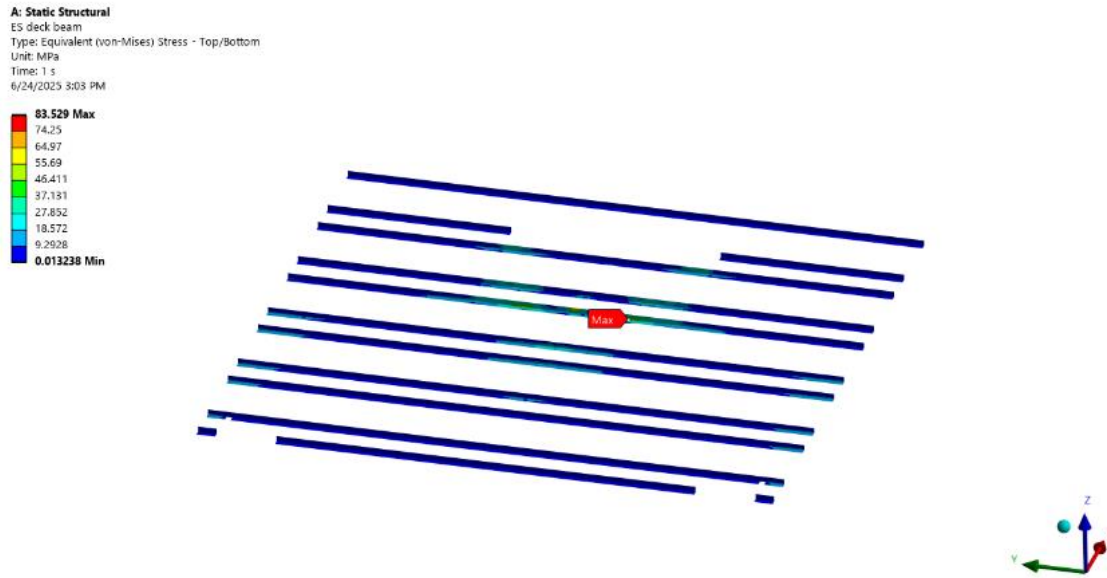
Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, tegangan maksimum diketahui terjadi di sekitar lubang pada struktur *deck plate*. Area ini merupakan titik kritis karena perubahan geometri akibat adanya lubang menyebabkan gangguan dalam distribusi tegangan, sehingga menimbulkan konsentrasi tegangan lokal (*stress concentration*). Kondisi ini umum terjadi pada elemen struktur dengan lubang atau takikan, di mana tegangan tidak terdistribusi secara merata dan menghasilkan nilai maksimum di sekitar tepi lubang. Sementara itu, hasil simulasi deformasi menunjukkan bahwa struktur *deck plate* tidak mengalami deformasi yang tinggi. Nilai deformasi yang relatif kecil mengindikasikan bahwa struktur masih memiliki kekakuan yang cukup untuk mempertahankan bentuk aslinya meskipun berada di bawah beban tarik. Hal ini juga menunjukkan bahwa beban yang diterima tidak menyebabkan perubahan bentuk permanen dan struktur bekerja dalam kondisi elastis. Besar tegangan dan deformasi maksimum pada setiap ketebalan kupingan *towing hook* dapat dilihat pada Tabel 4.22 yang memberikan gambaran mengenai pengaruh ketebalan terhadap respons struktur akibat gaya tarik yang diterima.

Tabel 4.22 Tegangan dan Deformasi Maksimum *Deck Plate* Variasi 0°

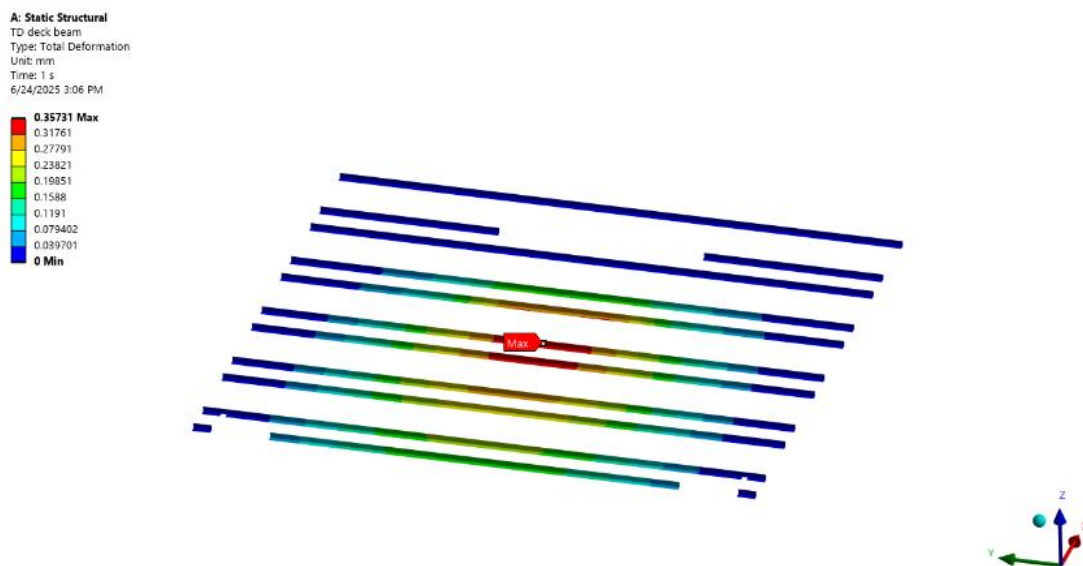
Tebal Kupingan (mm)	<i>Maximum Equivalent Stress</i> (MPa)	<i>Maximum Total Deformation</i> (mm)
20	136,69	0,357
22	113,09	0,324
24	101,07	0,308

e. *Deck Beam*

Gambar 4.28 dan Gambar 4.29 menunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi *deck beam* pada variasi *load case* 0°



Gambar 4.29 Hasil Tegangan *Deck Beam* Variasi 0°



Gambar 4.30 Hasil Deformasi *Deck Beam* Variasi 0°

Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi di area bawah fondasi *towing hook* akibat konsentrasi beban yang disalurkan melalui sambungan ke struktur *deck beam*. Meskipun demikian, deformasi yang terjadi tergolong rendah dan masih berada dalam batas elastis material, menandakan bahwa struktur memiliki kekakuan yang cukup untuk menahan beban tanpa mengalami perubahan bentuk permanen. Hal ini menunjukkan bahwa

desain struktur sudah cukup efektif, namun tetap diperlukan evaluasi lanjutan terhadap faktor keamanan untuk menjamin keandalan dalam jangka panjang. Besar tegangan dan deformasi maksimum pada setiap ketebalan kupingan *towing hook* dapat dilihat pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Tegangan dan Deformasi Maksimum *Deck Beam* Variasi 0°

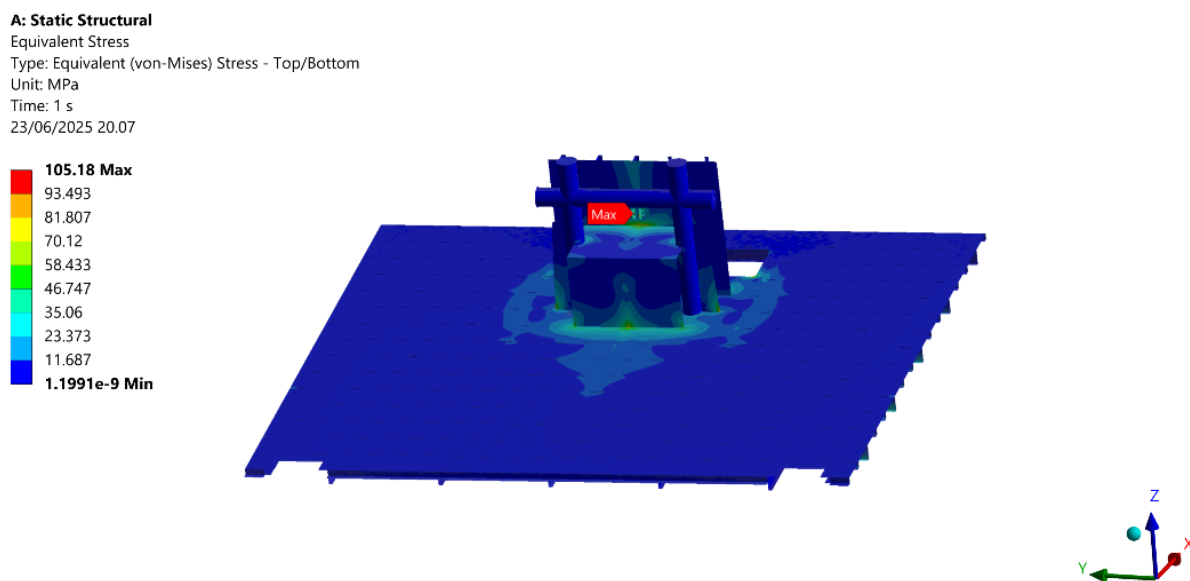
Tebal Kupingan (mm)	<i>Maximum Equivalent Stress</i> (MPa)	<i>Maximum Total Deformation</i> (mm)
20	83,529	0,357
22	77,589	0,324
24	74,299	0,308

4.3.2. Analisis Tegangan dan Deformasi Maksimum pada *Load Case* 45°

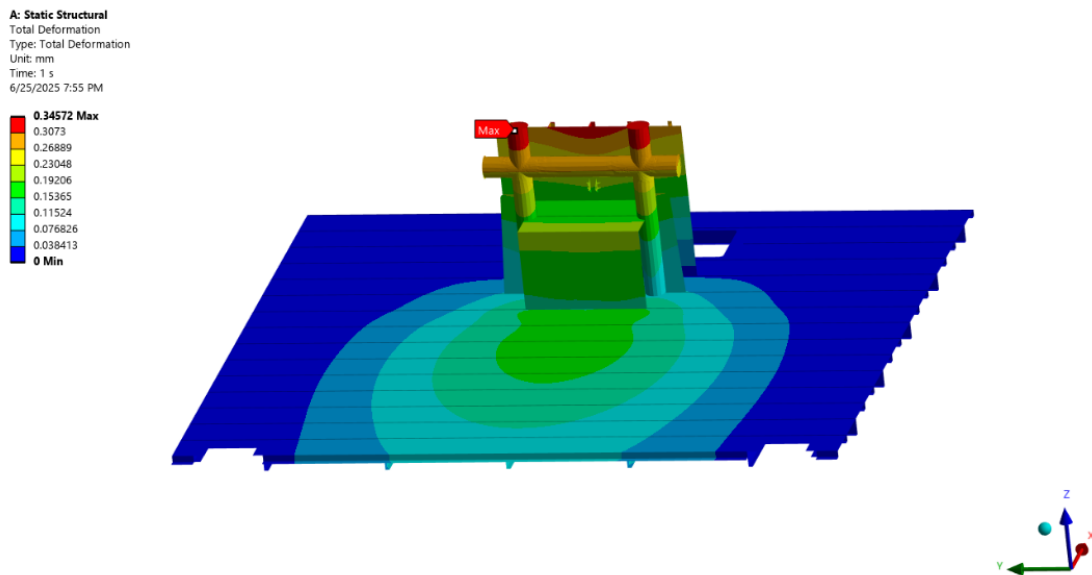
Analisis tegangan dan deformasi maksimum dilakukan dengan gaya tarik sebesar 164,014 kN. Besarnya gaya ini digunakan sebagai pembebanan dalam pemodelan numerik menggunakan metode elemen hingga untuk mengevaluasi respons tegangan dan deformasi terhadap struktur *towing hook*. Hasil dari analisis ini ditampilkan secara terperinci melalui beberapa gambar dan tabel berikut, yang menggambarkan distribusi tegangan dan bentuk deformasi akibat gaya tarik yang bekerja.

a. *All Structure*

Gambar 4.30 dan Gambar 4.31 menunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi *all structure* pada variasi *load case* 45°



Gambar 4.31 Hasil Tegangan *All Structure* Variasi 45°



Gambar 4.32 Hasil Deformasi *All Structure* Variasi 45°

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, diketahui bahwa tegangan maksimum terjadi pada bagian *towing hook foundation*. Hal ini sesuai dengan peran fondasi sebagai elemen struktural utama yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan dari *towing hook* ke struktur dek, serta memberikan dukungan kekuatan agar beban tarik dapat ditahan secara stabil. Lokasi tegangan maksimum ini menandakan bahwa fondasi merupakan titik yang menerima konsentrasi beban terbesar, sehingga validasi kekuatan di area ini menjadi sangat penting dalam menilai kelayakan struktural *towing hook*. Hasil analisis deformasi menunjukkan bahwa struktur *towing hook* secara keseluruhan tidak mengalami deformasi yang signifikan. Nilai deformasi maksimum yang dihasilkan tergolong kecil dan masih berada dalam batas elastis material yang berarti struktur tetap mampu kembali ke bentuk semula setelah beban dilepaskan. Besar tegangan dan deformasi maksimum pada setiap ketebalan kupingan *towing hook* dapat dilihat pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Tegangan dan Deformasi Maksimum *All Structure* Variasi 45°

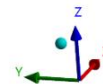
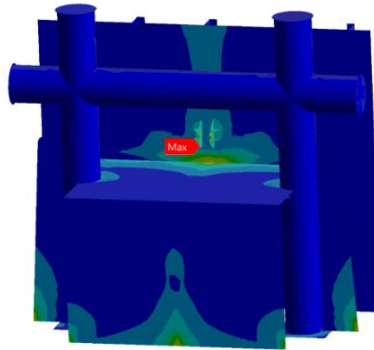
Tebal Kupingan (mm)	<i>Maximum Equivalent Stress</i> (MPa)	<i>Maximum Total Deformation</i> (mm)
20	105,18	0,345
22	101,75	0,312
24	95,793	0,296

b. *Towing Hook Foundation*

Gambar 4.32 dan Gambar 4.33 menunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi *towing hook foundation* pada variasi *load case* 45°

A: Static Structural
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 23/06/2025 20:07

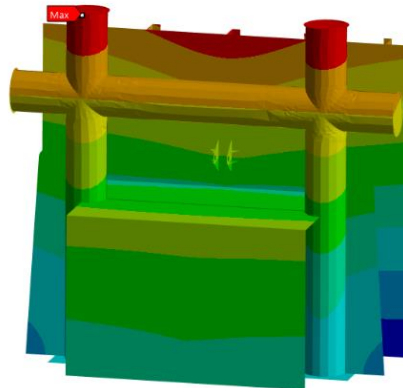
105.18 Max
 93.493
 81.807
 70.12
 58.433
 46.747
 35.06
 23.373
 11.687
 1.1991e-9 Min



Gambar 4.33 Hasil Tegangan *Towing Hook Foundation* Variasi 45°

A: Static Structural
 TD towing hook foundation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s
 6/24/2025 2:17 PM

0.34572 Max
 0.3085
 0.27128
 0.23406
 0.19684
 0.15962
 0.1224
 0.085185
 0.047967
 0.010748 Min



Gambar 4.34 Hasil Deformasi *Towing Hook Foundation* Variasi 45°

Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi pada ujung kupingan *towing hook*. Lokasi ini merupakan titik kritis yang menerima konsentrasi gaya tarik terbesar, karena gaya dari *towrope* ditransmisikan melalui sambungan pada bagian tersebut. Tegangan tinggi pada area ini juga dipengaruhi oleh perubahan geometri yang tajam serta keberadaan lubang sebagai yang menyebabkan penurunan luas penampang efektif dan menimbulkan konsentrasi tegangan (*stress concentration*). Kondisi ini memperkuat pentingnya desain geometri untuk meminimalkan tegangan lokal. Dalam cakupan deformasi, hasil simulasi menunjukkan bahwa struktur *towing hook foundation* tidak mengalami deformasi yang signifikan. Nilai deformasi yang rendah menunjukkan bahwa struktur memiliki tingkat kekakuan (*stiffness*) yang memadai untuk menahan gaya tarik yang bekerja tanpa mengalami perubahan bentuk yang berlebihan. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur masih berada

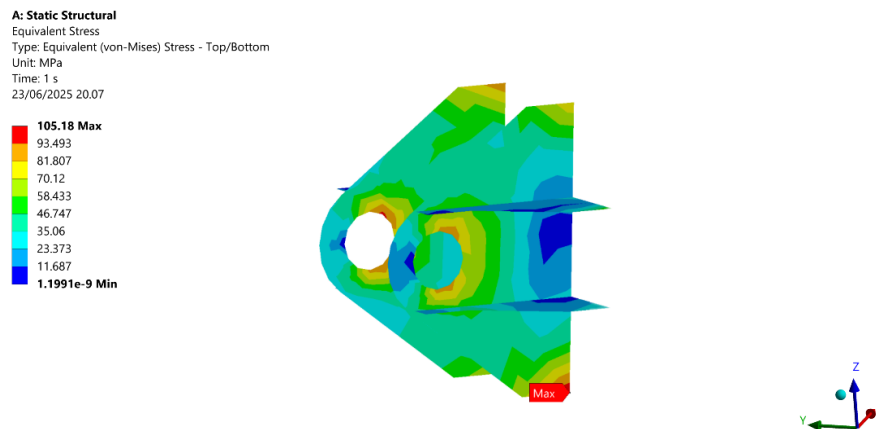
dalam kondisi elastis, sehingga mampu mempertahankan geometrinya selama kondisi operasional berlangsung. Besar tegangan dan deformasi maksimum pada setiap ketebalan kupingan *towing hook* dapat dilihat pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Tegangan dan Deformasi Maksimum *Towing Hook Foundation* Variasi 45°

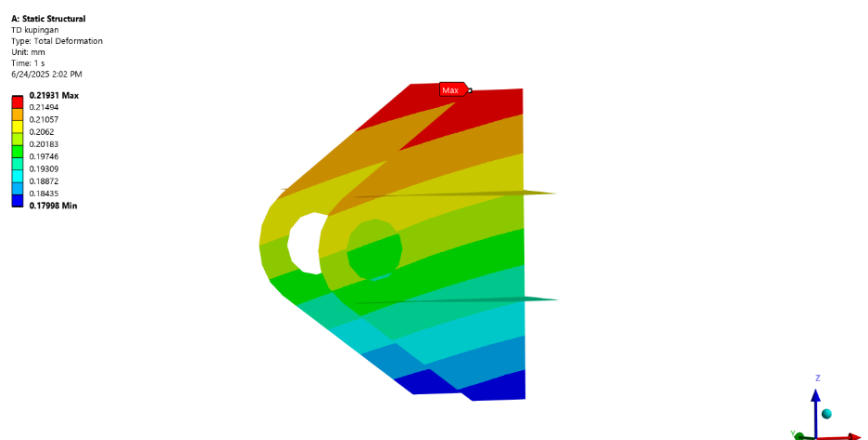
Tebal Kupingan (mm)	Maximum Equivalent Stress (MPa)	Maximum Total Deformation (mm)
20	105,18	0,345
22	101,75	0,312
24	95,793	0,296

c. Base Connection

Gambar 4.34 dan Gambar 4.35 menunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi *base connection* pada variasi *load case* 45°



Gambar 4.35 Hasil Tegangan *Base Connection* Variasi 45°



Gambar 4.36 Hasil Deformasi *Base Connection* Variasi 45°

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa tegangan maksimum terjadi pada bagian ujung kupingan *towing hook*. Area ini merupakan titik kritis

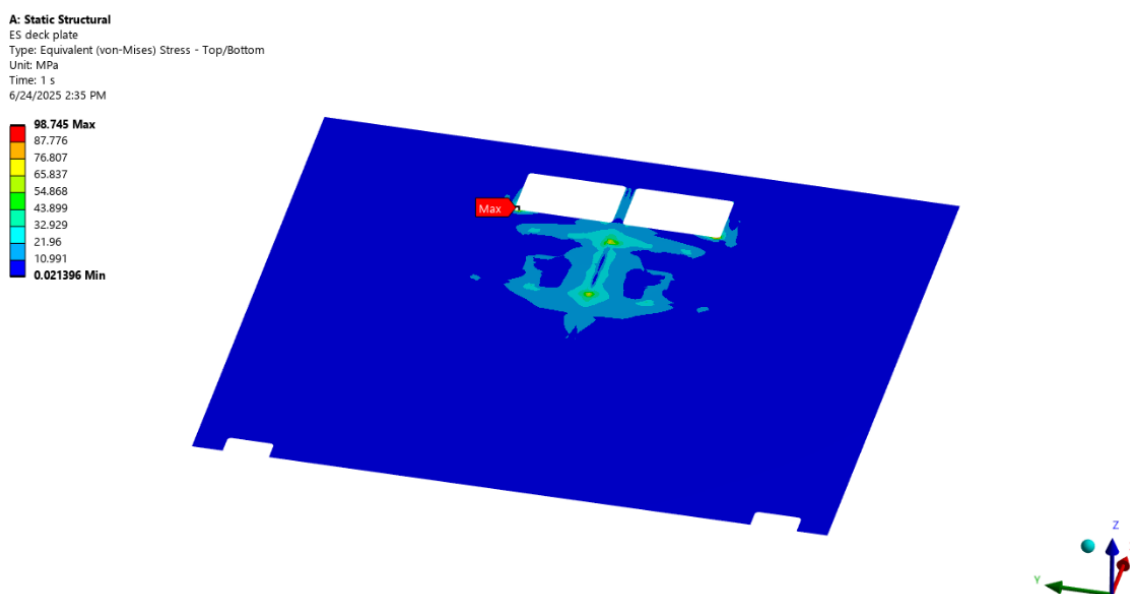
karena berfungsi sebagai penghubung langsung antara kupingan dengan *doubling plate*, sehingga menjadi lokasi utama penyaluran gaya tarik. Tegangan tinggi di area tersebut disebabkan oleh perubahan geometri yang cukup tajam serta keberadaan lubang yang secara signifikan mengurangi luas penampang efektif dalam menahan beban. Kondisi ini menyebabkan konsentrasi tegangan (*stress concentration*) yang mengakibatkan distribusi tegangan tidak merata. Sementara itu, deformasi yang terjadi tergolong sangat kecil dengan nilai berkisar antara 0,1 hingga 0,3 mm pada seluruh variasi ketebalan kupingan yang dianalisis. Nilai deformasi tersebut menunjukkan bahwa struktur tersebut tidak mengalami perubahan bentuk yang signifikan dan mampu mempertahankan geometrinya. Besar tegangan dan deformasi maksimum pada setiap ketebalan kupingan *towing hook* dapat dilihat pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Tegangan dan Deformasi Maksimum *Base Connection* Variasi 45°

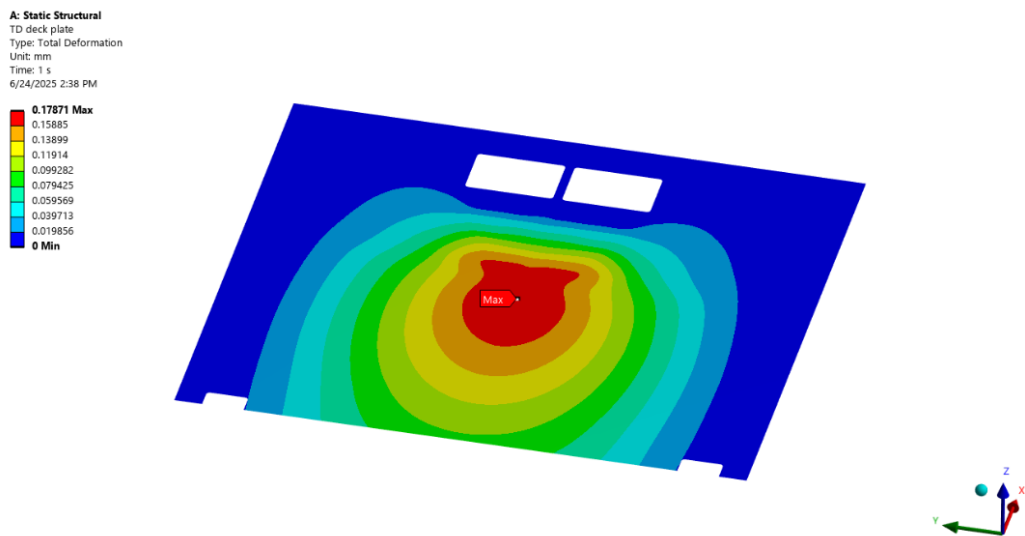
Tebal Kupingan (mm)	<i>Maximum Equivalent Stress</i> (MPa)	<i>Maximum Total Deformation</i> (mm)
20	105,18	0,219
22	101,75	0,199
24	95,793	0,189

d. *Deck Plate*

Gambar 4.36 dan Gambar 4.37 menunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi *deck plate* pada variasi *load case* 45°



Gambar 4.37 Hasil Tegangan *Deck Plate* Variasi 45°



Gambar 4.38 Hasil Deformasi *Deck Plate* Variasi 45°

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, tegangan maksimum diketahui terjadi di sekitar lubang pada struktur *deck plate*. Area ini merupakan titik kritis karena perubahan geometri akibat adanya lubang menyebabkan gangguan dalam distribusi tegangan, sehingga menimbulkan konsentrasi tegangan lokal (*stress concentration*). Kondisi ini umum terjadi pada elemen struktur dengan lubang atau takikan, di mana tegangan tidak terdistribusi secara merata dan menghasilkan nilai maksimum di sekitar tepi lubang. Sementara itu, hasil simulasi deformasi menunjukkan bahwa struktur *deck plate* tidak mengalami deformasi yang tinggi. Nilai deformasi yang relatif kecil mengindikasikan bahwa struktur masih memiliki kekakuan yang cukup untuk mempertahankan bentuk aslinya meskipun berada di bawah beban tarik. Hal ini juga menunjukkan bahwa beban yang diterima tidak menyebabkan perubahan bentuk permanen dan struktur bekerja dalam kondisi elastis. Besar tegangan dan deformasi maksimum pada setiap ketebalan kupingan *towing hook* dapat dilihat pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Tegangan dan Deformasi Maksimum *Deck Plate* Variasi 45°

Tebal Kupingan (mm)	<i>Maximum Equivalent Stress</i> (MPa)	<i>Maximum Total Deformation</i> (mm)
20	98,745	0,178
22	85,067	0,167
24	78,601	0,160

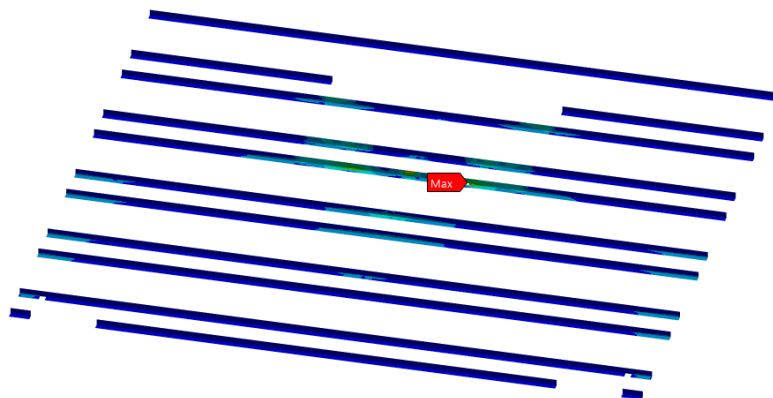
e. *Deck Beam*

Gambar 4.38 dan Gambar 4.39 menunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi *deck beam* pada variasi *load case* 45°

A: Static Structural

ES deck beam
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
6/25/2025 3:10 PM

60.345 Max
53.641
46.937
40.233
33.529
26.825
20.121
13.417
6.7135
0.0095638 Min

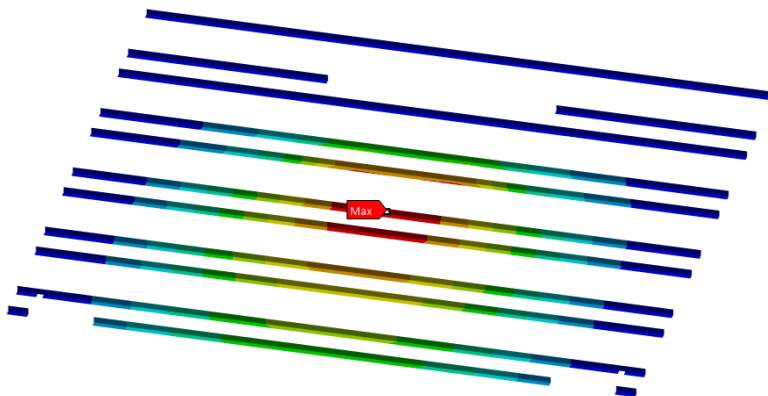


Gambar 4.39 Hasil Tegangan *Deck Beam* Variasi 45°

A: Static Structural

TD deck beam
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
6/25/2025 3:13 PM

0.17866 Max
0.1588
0.13895
0.1191
0.099253
0.079402
0.059552
0.039701
0.019851
0 Min



Gambar 4.40 Hasil Deformasi *Deck Beam* Variasi 45°

Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi di area bawah fondasi *towing hook* akibat konsentrasi beban yang disalurkan melalui sambungan ke struktur *deck beam*. Meskipun demikian, deformasi yang terjadi tergolong rendah dan masih berada dalam batas elastis material, menandakan bahwa struktur memiliki kekakuan yang cukup untuk menahan beban tanpa mengalami perubahan bentuk permanen. Hal ini menunjukkan bahwa desain struktur sudah cukup efektif, namun tetap diperlukan evaluasi lanjutan terhadap faktor keamanan untuk menjamin keandalan dalam jangka panjang. Besar tegangan dan deformasi maksimum pada setiap ketebalan kupingan *towing hook* dapat dilihat pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Tegangan dan Deformasi Maksimum *Deck Beam* Variasi 45°

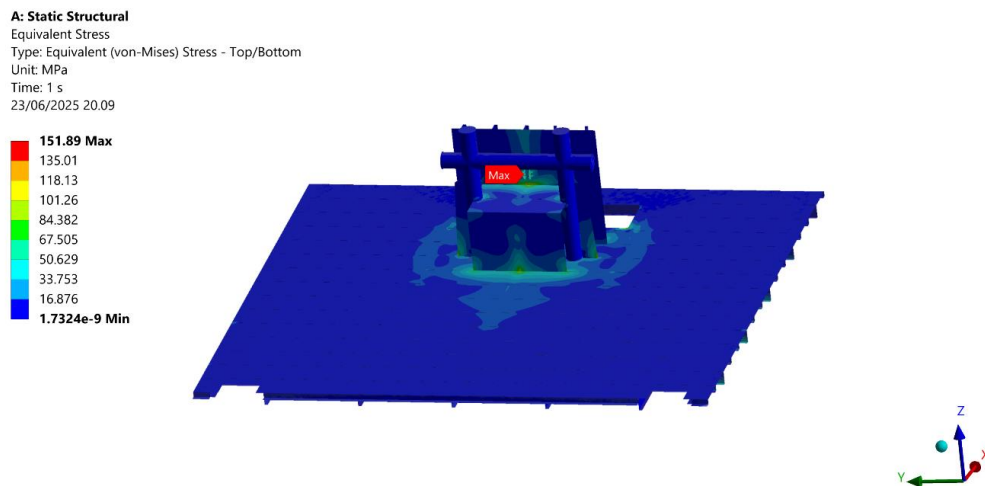
Tebal Kepingan (mm)	<i>Maximum Equivalent Stress</i> (MPa)	<i>Maximum Total Deformation</i> (mm)
20	60,345	0,178
22	58,955	0,167
24	56,368	0,160

4.3.3. Analisis Tegangan dan Deformasi Maksimum pada *Load Case Trim by Stern*

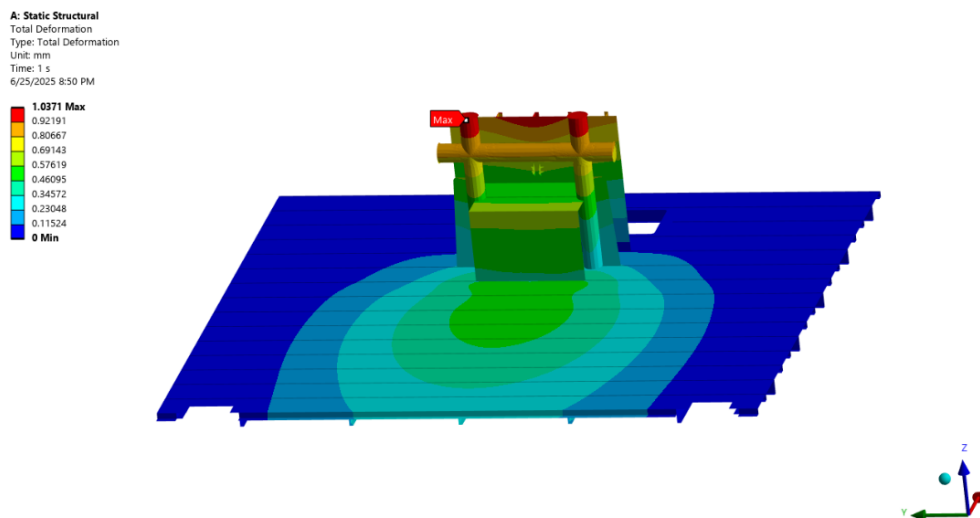
Analisis tegangan dan deformasi maksimum dilakukan dengan gaya tarik sebesar 236,847 kN. Hasil simulasi disajikan pada beberapa gambar dan tabel berikut.

a. *All Structure*

Gambar 4.40 dan Gambar 4.41 menunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi *all structure* pada variasi *load case trim by stern*.



Gambar 4.41 Hasil Tegangan *All Structure* Variasi *Trim by Stern*



Gambar 4.42 Hasil Deformasi *All Structure* Variasi *Trim by Stern*

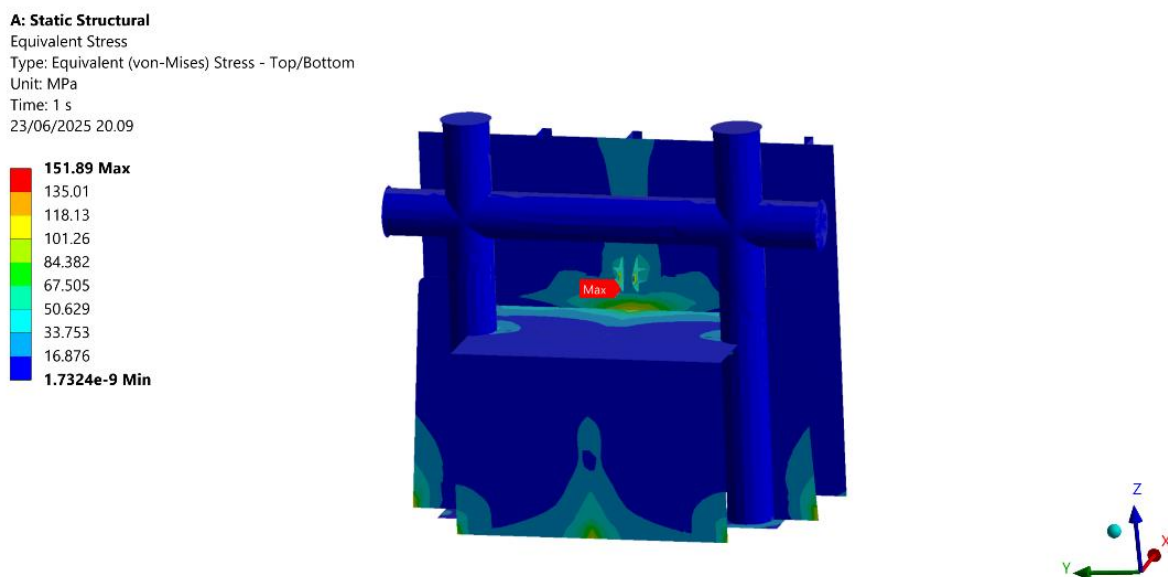
Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, diketahui bahwa tegangan maksimum terjadi pada bagian *towing hook foundation*. Hal ini sesuai dengan peran fondasi sebagai elemen struktural utama yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan dari *towing hook* ke struktur dek, serta memberikan dukungan kekuatan agar beban tarik dapat ditahan secara stabil. Lokasi tegangan maksimum ini menandakan bahwa fondasi merupakan titik yang menerima konsentrasi beban terbesar, sehingga validasi kekuatan di area ini menjadi sangat penting dalam menilai kelayakan struktural *towing hook*. Hasil analisis deformasi menunjukkan bahwa struktur *towing hook* secara keseluruhan tidak mengalami deformasi yang signifikan. Nilai deformasi maksimum yang dihasilkan tergolong kecil dan masih berada dalam batas elastis material yang berarti struktur tetap mampu kembali ke bentuk semula setelah beban dilepaskan. Besar tegangan dan deformasi maksimum pada setiap ketebalan kupingan *towing hook* dapat dilihat pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29 Tegangan dan Deformasi Maksimum *All Structure Variasi Trim by Stern*

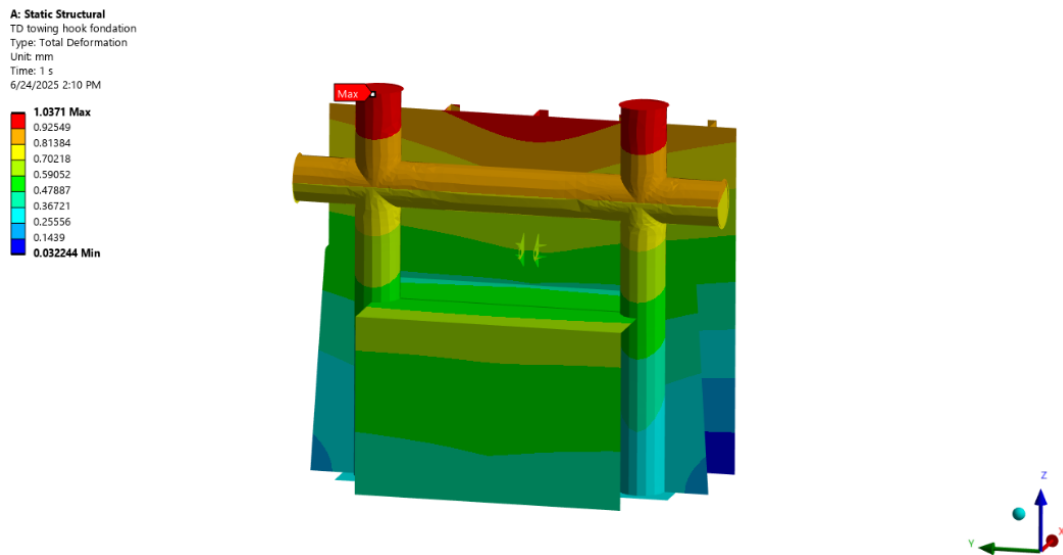
Tebal Kupingan (mm)	<i>Maximum Equivalent Stress</i> (MPa)	<i>Maximum Total Deformation</i> (mm)
20	151,89	1,037
22	140,50	0,936
24	136,16	0,934

b. *Towing Hook Foundation*

Gambar 4.42 dan Gambar 4.43 menunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi *towing hook foundation* pada variasi *load case trim by stern*.



Gambar 4.43 Hasil Tegangan *Towing Hook Foundation* Variasi *Trim by Stern*



Gambar 4.44 Hasil Deformasi *Towing Hook Foundation* Variasi *Trim by Stern*

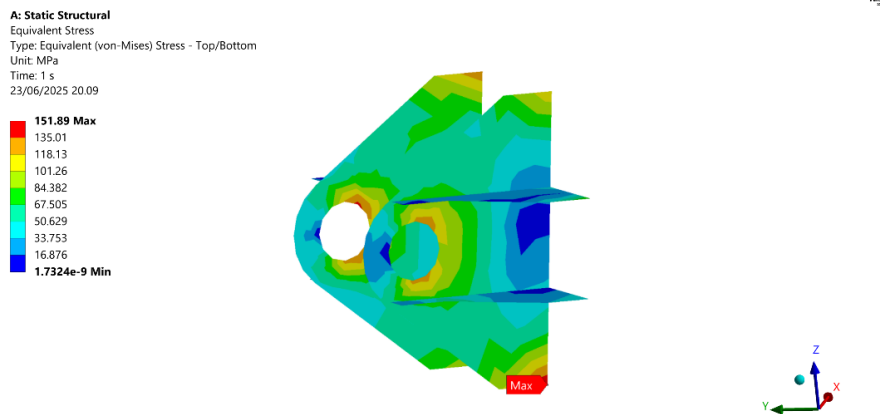
Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi pada ujung kupingan *towing hook*. Lokasi ini merupakan titik kritis yang menerima konsentrasi gaya tarik terbesar, karena gaya dari *towrope* ditransmisikan melalui sambungan pada bagian tersebut. Tegangan tinggi pada area ini juga dipengaruhi oleh perubahan geometri yang tajam serta keberadaan lubang sebagai yang menyebabkan penurunan luas penampang efektif dan menimbulkan konsentrasi tegangan (*stress concentration*). Kondisi ini memperkuat pentingnya desain geometri untuk meminimalkan tegangan lokal. Dalam cakupan deformasi, hasil simulasi menunjukkan bahwa struktur *towing hook foundation* tidak mengalami deformasi yang signifikan. Nilai deformasi yang rendah menunjukkan bahwa struktur memiliki tingkat kekakuan (*stiffness*) yang memadai untuk menahan gaya tarik yang bekerja tanpa mengalami perubahan bentuk yang berlebihan. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur masih berada dalam kondisi elastis, sehingga mampu mempertahankan geometrinya selama kondisi operasional berlangsung. Besar tegangan dan deformasi maksimum pada setiap ketebalan kupingan *towing hook* dapat dilihat pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Tegangan dan Deformasi Maksimum *Towing Hook Foundation* Variasi *Trim by Stern*

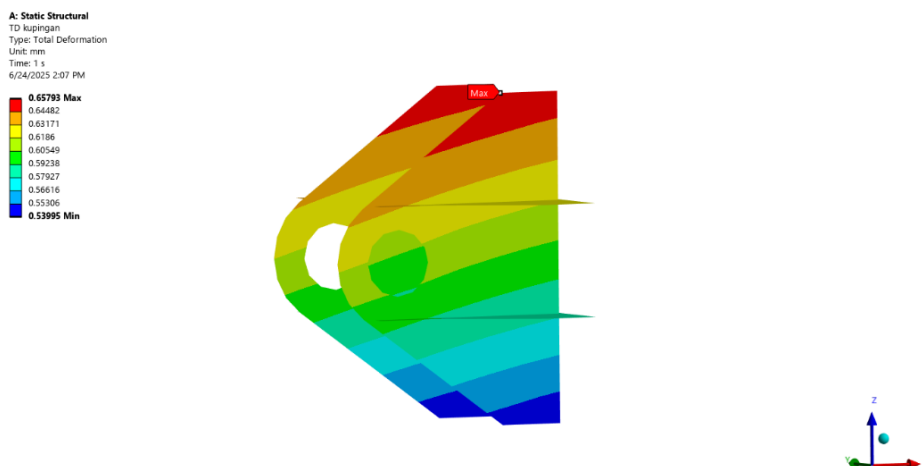
Tebal Kupingan (mm)	Maximum Equivalent Stress (MPa)	Maximum Total Deformation (mm)
20	151,89	1,037
22	140,50	0,936
24	136,16	0,934

c. *Base Connection*

Gambar 4.44 dan Gambar 4.45 menunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi *base connection* pada variasi *load case trim by stern*.



Gambar 4.45 Hasil Tegangan *Base Connection* Variasi *Trim by Stern*



Gambar 4.46 Hasil Deformasi *Base Connection* Variasi *Trim by Stern*

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa tegangan maksimum terjadi pada bagian ujung kupingan *towing hook*. Area ini merupakan titik kritis karena berfungsi sebagai penghubung langsung antara kupingan dengan *doubling plate*, sehingga menjadi lokasi utama penyaluran gaya tarik. Tegangan tinggi di area tersebut disebabkan oleh perubahan geometri yang cukup tajam serta keberadaan lubang yang secara signifikan mengurangi luas penampang efektif dalam menahan beban. Kondisi ini menyebabkan konsentrasi tegangan (*stress concentration*) yang mengakibatkan distribusi tegangan tidak merata. Sementara itu, deformasi yang terjadi tergolong sangat kecil dengan nilai berkisar antara 0,5 hingga 0,7 mm pada seluruh variasi ketebalan kupingan yang dianalisis.

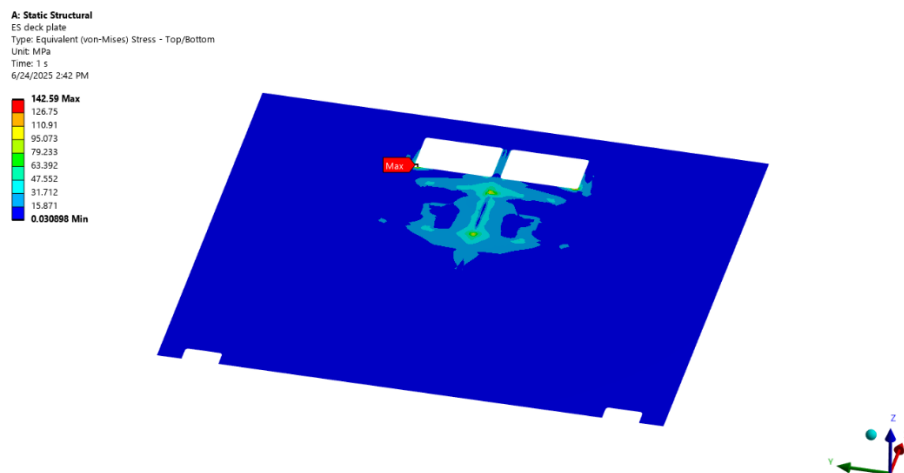
Nilai deformasi tersebut menunjukkan bahwa struktur tersebut tidak mengalami perubahan bentuk yang signifikan dan mampu mempertahankan geometrinya. Besar tegangan dan deformasi maksimum pada setiap ketebalan kupingan *towing hook* dapat dilihat pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31 Tegangan dan Deformasi Maksimum *Base Connection Variasi Trim by Stern*

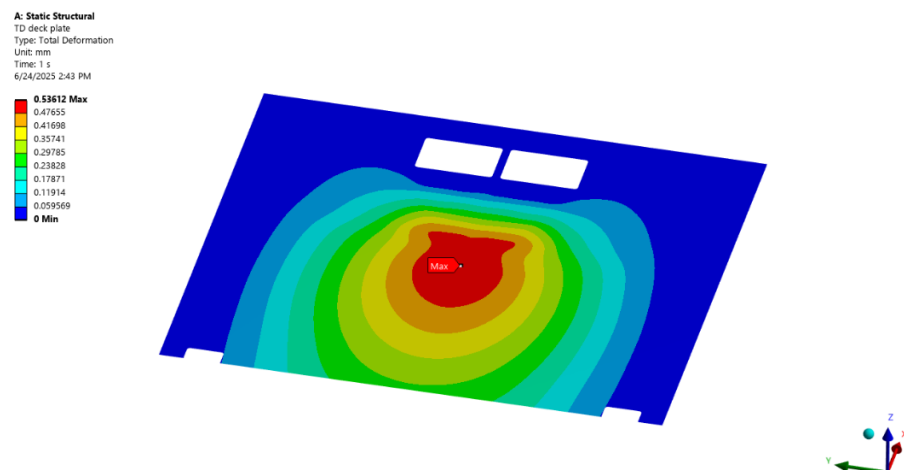
Tebal Kupingan (mm)	Maximum Equivalent Stress (MPa)	Maximum Total Deformation (mm)
20	151,89	0,657
22	140,50	0,597
24	136,16	0,595

d. *Deck Plate*

Gambar 4.46 dan Gambar 4.47 menunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi *deck plate* pada variasi *load case trim by stern*.



Gambar 4.47 Hasil Tegangan *Deck Plate Variasi Trim by Stern*



Gambar 4.48 Hasil Deformasi *Deck Plate Variasi Trim by Stern*

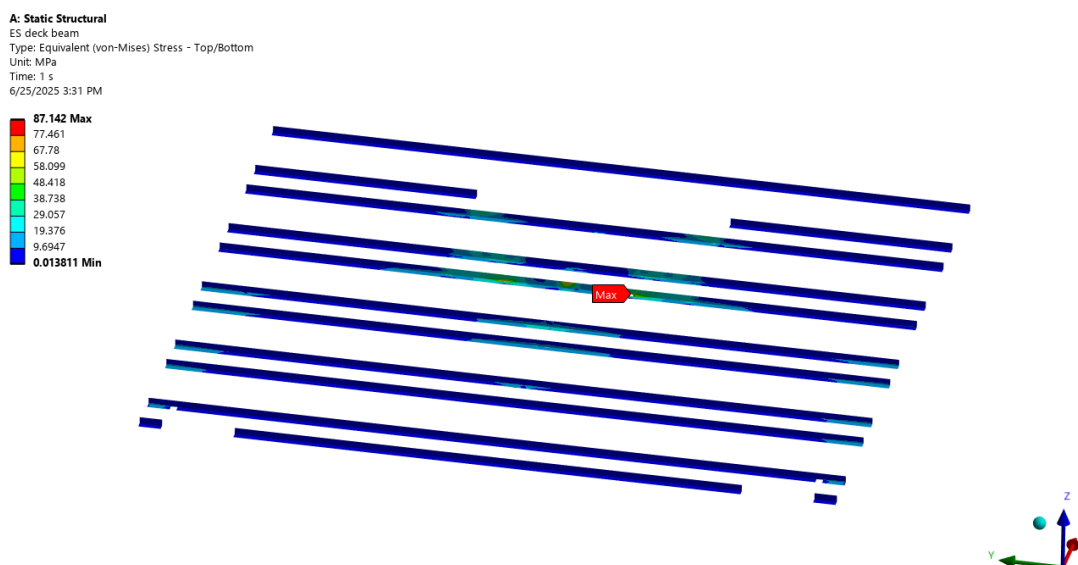
Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, tegangan maksimum diketahui terjadi di sekitar lubang pada struktur *deck plate*. Area ini merupakan titik kritis karena perubahan geometri akibat adanya lubang menyebabkan gangguan dalam distribusi tegangan, sehingga menimbulkan konsentrasi tegangan lokal (*stress concentration*). Kondisi ini umum terjadi pada elemen struktur dengan lubang atau takikan, di mana tegangan tidak terdistribusi secara merata dan menghasilkan nilai maksimum di sekitar tepi lubang. Sementara itu, hasil simulasi deformasi menunjukkan bahwa struktur *deck plate* tidak mengalami deformasi yang tinggi. Nilai deformasi yang relatif kecil mengindikasikan bahwa struktur masih memiliki kekakuan yang cukup untuk mempertahankan bentuk aslinya meskipun berada di bawah beban tarik. Hal ini juga menunjukkan bahwa beban yang diterima tidak menyebabkan perubahan bentuk permanen dan struktur bekerja dalam kondisi elastis. Besar tegangan dan deformasi maksimum pada setiap ketebalan kupingan *towing hook* dapat dilihat pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32 Tegangan dan Deformasi Maksimum *Deck Plate* Variasi *Trim by Stern*

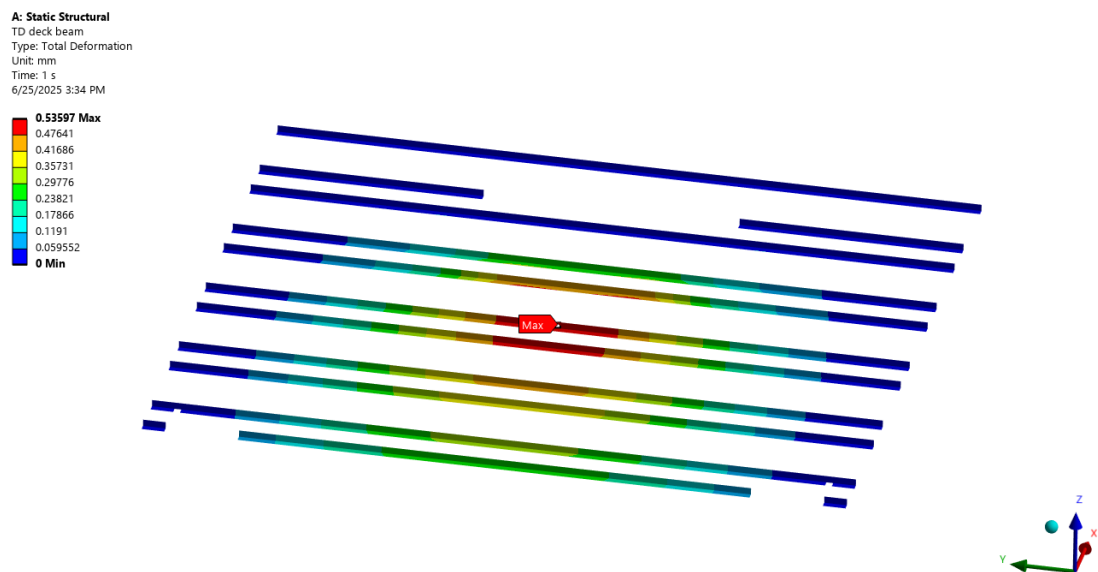
Tebal Kupingan (mm)	Maximum Equivalent Stress (MPa)	Maximum Total Deformation (mm)
20	142,59	0,536
22	138,03	0,511
24	123,59	0,499

e. *Deck Beam*

Gambar 4.48 dan Gambar 4.49 menunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi *deck beam* pada variasi *load case trim by stern*.



Gambar 4.49 Hasil Tegangan *Deck Beam* Variasi *Trim by Stern*



Gambar 4.50 Hasil Deformasi *Deck Beam* Variasi *Trim by Stern*

Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi di area bawah fondasi *towing hook* akibat konsentrasi beban yang disalurkan melalui sambungan ke struktur *deck beam*. Meskipun demikian, deformasi yang terjadi tergolong rendah dan masih berada dalam batas elastis material, menandakan bahwa struktur memiliki kekakuan yang cukup untuk menahan beban tanpa mengalami perubahan bentuk permanen. Hal ini menunjukkan bahwa desain struktur sudah cukup efektif, namun tetap diperlukan evaluasi lanjutan terhadap faktor keamanan untuk menjamin keandalan dalam jangka panjang. Besar tegangan dan deformasi maksimum pada setiap ketebalan kupingan *towing hook* dapat dilihat pada Tabel 4.33.

Tabel 4.33 Tegangan dan Deformasi Maksimum *Deck Beam* Variasi *Trim by Stern*

Tebal Kupingan (mm)	<i>Maximum Equivalent Stress</i> (MPa)	<i>Maximum Total Deformation</i> (mm)
20	87,142	0,535
22	81,903	0,511
24	78,412	0,498

4.3.4. Analisis Tegangan dan Deformasi Maksimum pada *Load Case Trim by Bow*

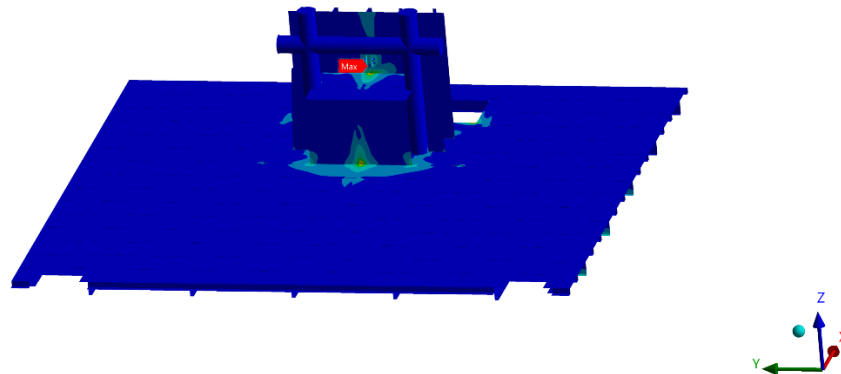
Analisis tegangan dan deformasi maksimum dilakukan dengan gaya tarik sebesar 241,584 kN. Hasil simulasi disajikan pada beberapa gambar dan tabel berikut.

a. *All Structure*

Gambar 4.50 dan Gambar 4.51 menunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi *all structure* pada variasi *load case trim by bow*.

A: Static Structural
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 25/07/2025 13.27

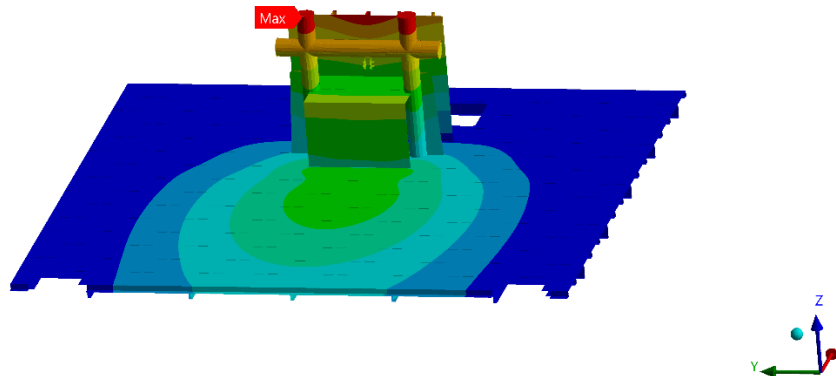
154,92 Max
 137,71
 120,5
 103,28
 86,069
 68,855
 51,642
 34,428
 17,214
 1,7586e-9 Min



Gambar 4.51 Hasil Tegangan *All Structure* Variasi *Trim by Bow*

A: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s
 25/07/2025 13.18

1,21 Max
 1,0756
 0,94113
 0,80668
 0,67224
 0,53779
 0,40334
 0,26889
 0,13445
 0 Min



Gambar 4.52 Hasil Deformasi *All Structure* Variasi *Trim by Bow*

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, diketahui bahwa tegangan maksimum terjadi pada bagian *towing hook foundation*. Hal ini sesuai dengan peran fondasi sebagai elemen struktural utama yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan dari *towing hook* ke struktur dek, serta memberikan dukungan kekuatan agar beban tarik dapat ditahan secara stabil. Lokasi tegangan maksimum ini menandakan bahwa fondasi merupakan titik yang menerima konsentrasi beban terbesar, sehingga validasi kekuatan di area ini menjadi sangat penting dalam menilai kelayakan struktural *towing hook*. Hasil analisis deformasi menunjukkan bahwa struktur *towing hook* secara keseluruhan tidak mengalami deformasi yang signifikan. Nilai deformasi maksimum yang dihasilkan tergolong kecil dan masih berada dalam batas elastis material yang berarti struktur tetap mampu kembali ke bentuk semula setelah beban dilepaskan.

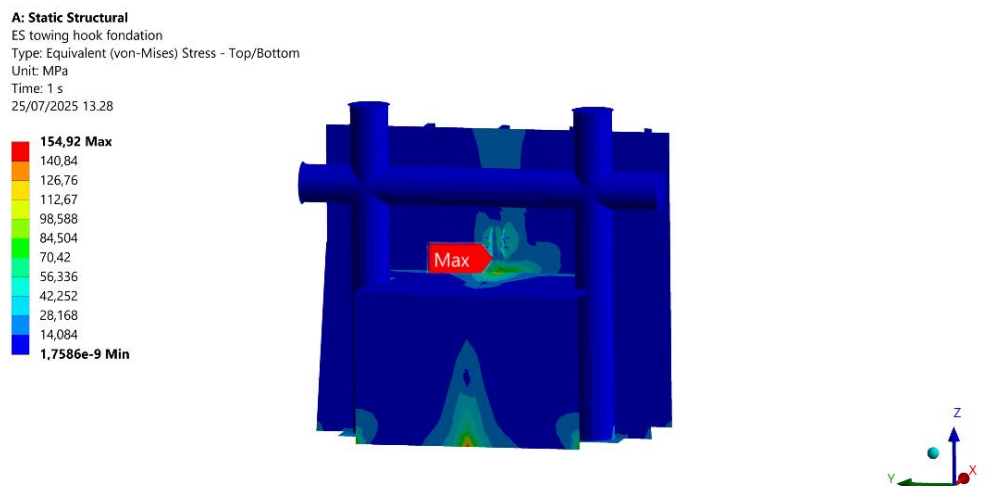
Besar tegangan dan deformasi maksimum pada setiap ketebalan kupingan *towing hook* dapat dilihat pada Tabel 4.34.

Tabel 4.34 Tegangan dan Deformasi Maksimum *All Structure Variasi Trim by Bow*

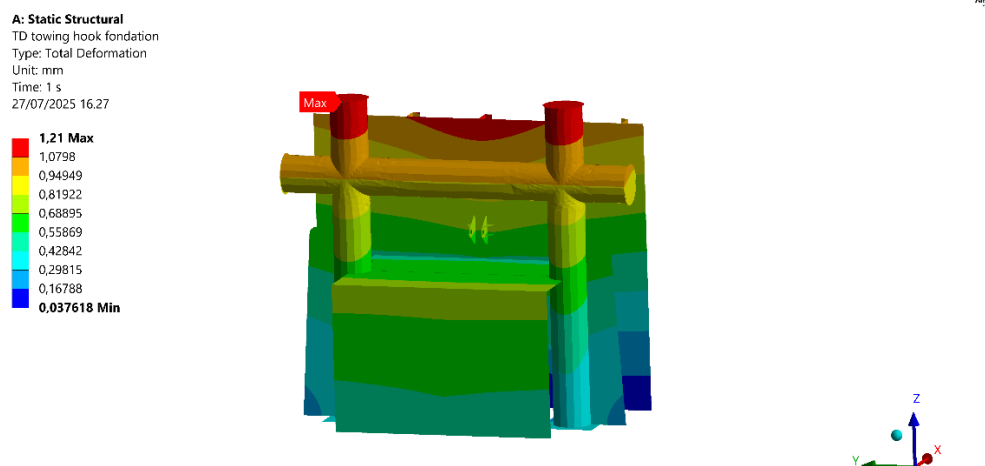
Tebal Kupingan (mm)	Maximum Equivalent Stress (MPa)	Maximum Total Deformation (mm)
20	154,92	1,21
22	144,77	1,133
24	139,22	1,074

b. *Towing Hook Foundation*

Gambar 4.52 dan Gambar 4.53 menunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi *towing hook foundation* pada variasi *load case trim by bow*.



Gambar 4.53 Hasil Tegangan *Towing Hook Foundation Variasi Trim by Bow*



Gambar 4.54 Hasil Deformasi *Towing Hook Foundation Variasi Trim by Bow*

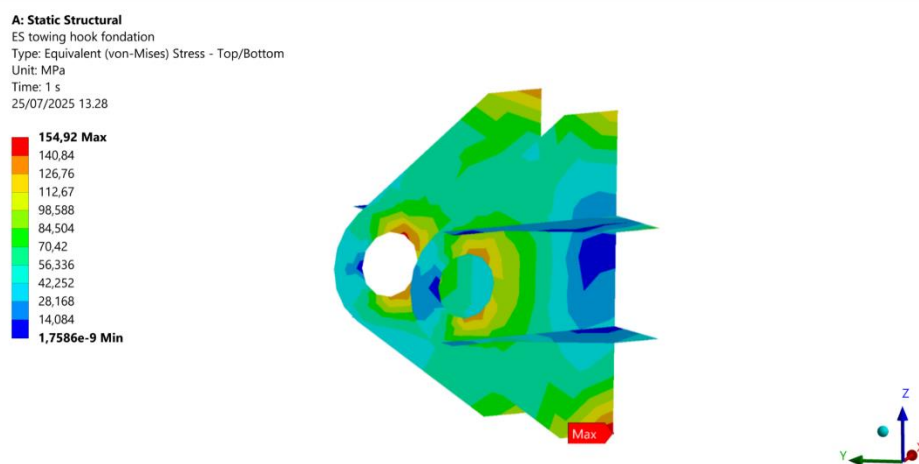
Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi pada ujung kupingan *towing hook*. Lokasi ini merupakan titik kritis yang menerima konsentrasi gaya tarik terbesar, karena gaya dari *towrope* ditransmisikan melalui sambungan pada bagian tersebut. Tegangan tinggi pada area ini juga dipengaruhi oleh perubahan geometri yang tajam serta keberadaan lubang sebagai yang menyebabkan penurunan luas penampang efektif dan menimbulkan konsentrasi tegangan (*stress concentration*). Kondisi ini memperkuat pentingnya desain geometri untuk meminimalkan tegangan lokal. Dalam cakupan deformasi, hasil simulasi menunjukkan bahwa struktur *towing hook foundation* tidak mengalami deformasi yang signifikan. Nilai deformasi yang rendah menunjukkan bahwa struktur memiliki tingkat kekakuan (*stiffness*) yang memadai untuk menahan gaya tarik yang bekerja tanpa mengalami perubahan bentuk yang berlebihan. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur masih berada dalam kondisi elastis, sehingga mampu mempertahankan geometrinya selama kondisi operasional berlangsung. Besar tegangan dan deformasi maksimum pada setiap ketebalan kupingan *towing hook* dapat dilihat pada Tabel 4.35.

Tabel 4.35 Tegangan dan Deformasi Maksimum *Towing Hook Foundation* Variasi *Trim by Bow*

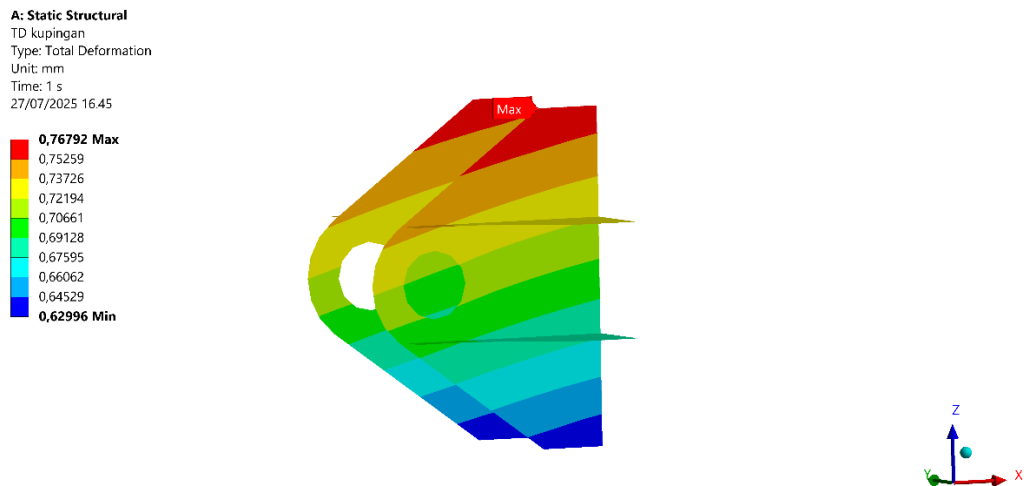
Tebal Kupingan (mm)	Maximum Equivalent Stress (MPa)	Maximum Total Deformation (mm)
20	154,92	1,21
22	144,77	1,133
24	139,22	1,074

c. Base Connection

Gambar 4.54 dan Gambar 4.55 menunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi *base connection* pada variasi *load case trim by bow*.



Gambar 4.55 Hasil Tegangan *Base Connection* Variasi *Trim by Bow*



Gambar 4.56 Hasil Deformasi *Base Connection* Variasi *Trim by Bow*

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa tegangan maksimum terjadi pada bagian ujung kupingan *towing hook*. Area ini merupakan titik kritis karena berfungsi sebagai penghubung langsung antara kupingan dengan *doubling plate*, sehingga menjadi lokasi utama penyaluran gaya tarik. Tegangan tinggi di area tersebut disebabkan oleh perubahan geometri yang cukup tajam serta keberadaan lubang yang secara signifikan mengurangi luas penampang efektif dalam menahan beban. Kondisi ini menyebabkan konsentrasi tegangan (*stress concentration*) yang mengakibatkan distribusi tegangan tidak merata. Sementara itu, deformasi yang terjadi tergolong sangat kecil dengan nilai berkisar antara 0,6 hingga 0,8 mm pada seluruh variasi ketebalan kupingan yang dianalisis. Nilai deformasi tersebut menunjukkan bahwa struktur tersebut tidak mengalami perubahan bentuk yang signifikan dan mampu mempertahankan geometrinya. Besar tegangan dan deformasi maksimum pada setiap ketebalan kupingan *towing hook* dapat dilihat pada Tabel 4.36.

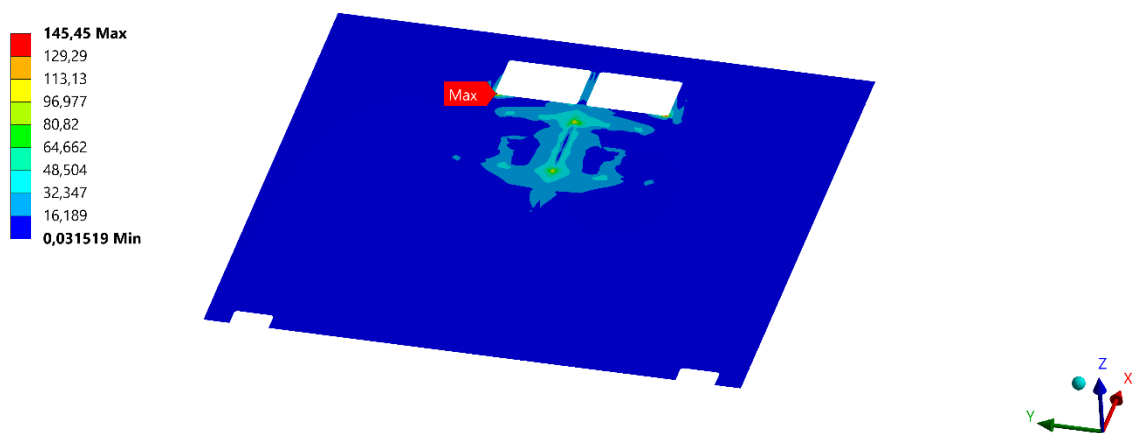
Tabel 4.36 Tegangan dan Deformasi Maksimum *Base Connection* Variasi *Trim by Bow*

Tebal Kupingan (mm)	<i>Maximum Equivalent Stress</i> (MPa)	<i>Maximum Total Deformation</i> (mm)
20	154,92	0,767
22	144,77	0,724
24	139,22	0,691

d. *Deck Plate*

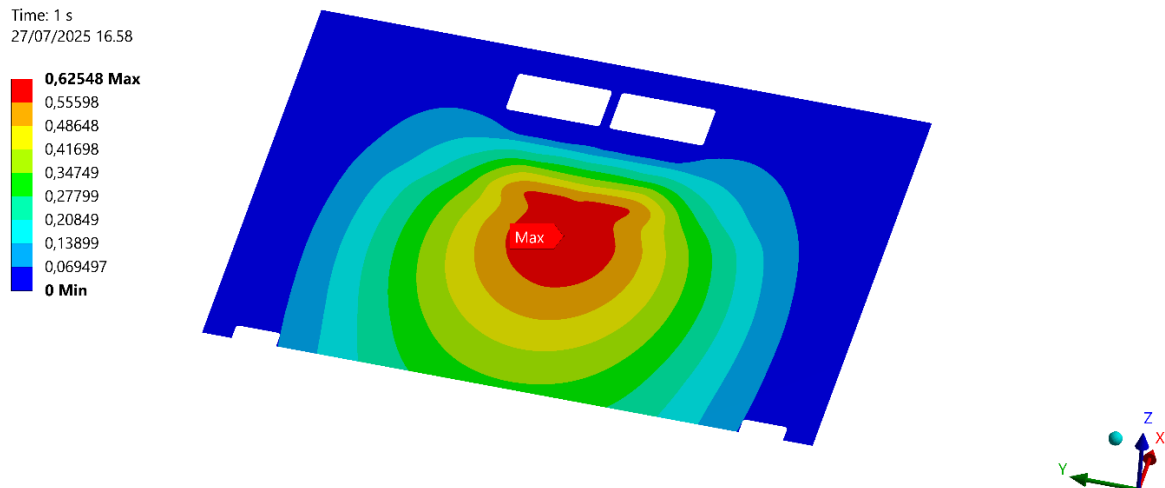
Gambar 4.56 dan Gambar 4.57 menunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi *deck plate* pada variasi *load case trim by bow*.

A: Static Structural
 ES deck plate
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 25/07/2025 13.29



Gambar 3.41 Hasil Tegangan *Deck Plate* Variasi *Trim by Bow*

A: Static Structural
 TD deck plate
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s
 27/07/2025 16.58



Gambar 3.42 Hasil Deformasi *Deck Plate* Variasi *Trim by Bow*

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, tegangan maksimum diketahui terjadi di sekitar lubang pada struktur *deck plate*. Area ini merupakan titik kritis karena perubahan geometri akibat adanya lubang menyebabkan gangguan dalam distribusi tegangan, sehingga menimbulkan konsentrasi tegangan lokal (*stress concentration*). Kondisi ini umum terjadi pada elemen struktur dengan lubang atau takikan, di mana tegangan tidak terdistribusi secara merata dan menghasilkan nilai maksimum di sekitar tepi lubang. Sementara itu, hasil simulasi deformasi menunjukkan bahwa struktur *deck plate* tidak mengalami deformasi yang tinggi. Nilai deformasi yang relatif kecil mengindikasikan bahwa struktur masih memiliki kekakuan yang cukup untuk mempertahankan bentuk aslinya meskipun berada di bawah beban tarik. Hal

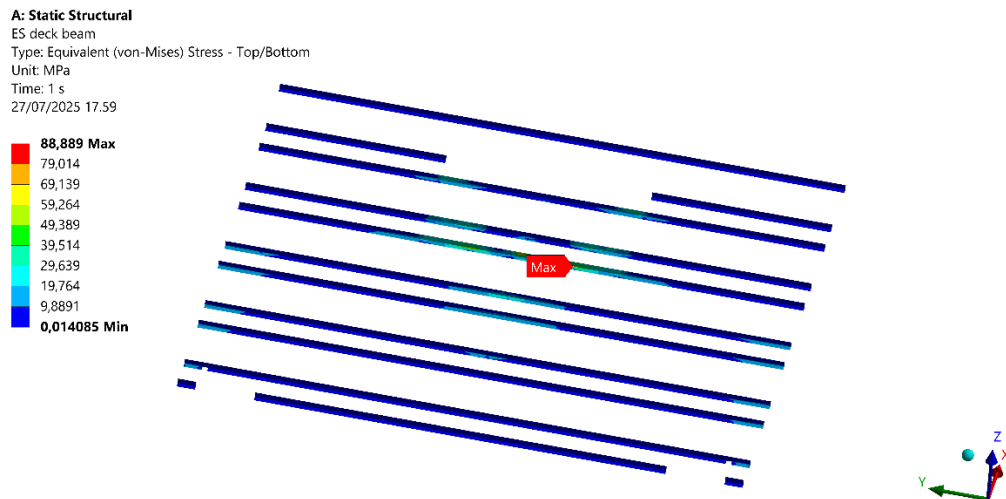
ini juga menunjukkan bahwa beban yang diterima tidak menyebabkan perubahan bentuk permanen dan struktur bekerja dalam kondisi elastis. Besar tegangan dan deformasi maksimum pada setiap ketebalan kupingan *towing hook* dapat dilihat pada Tabel 4.37.

Tabel 4.37 Tegangan dan Deformasi Maksimum *Deck Plate Variasi Trim by Bow*

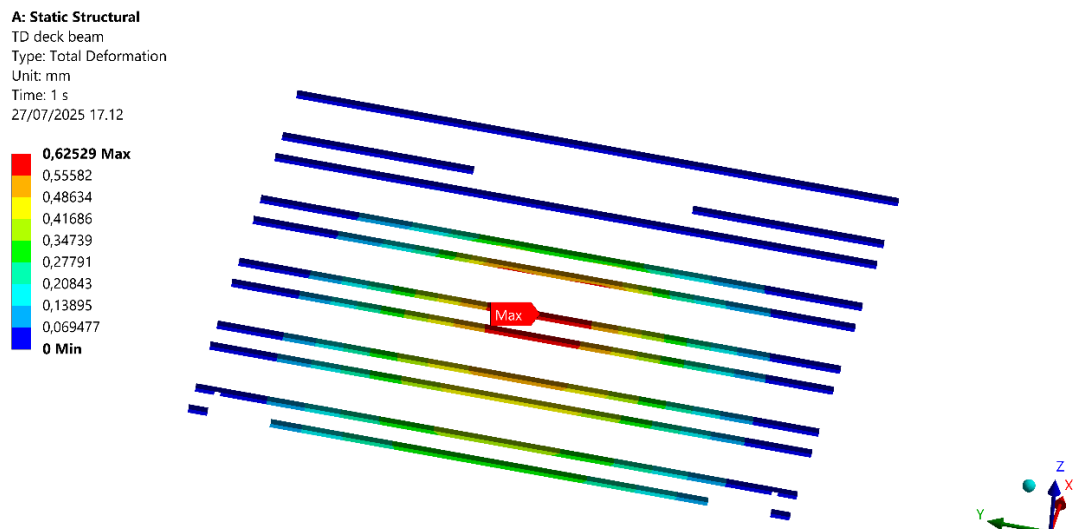
Tebal Kupingan (mm)	Maximum Equivalent Stress (MPa)	Maximum Total Deformation (mm)
20	145,45	0,625
22	137,95	0,593
24	131,85	0,568

e. *Deck Beam*

Gambar 4.58 dan Gambar 4.59 menunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi *deck beam* pada variasi *load case trim by bow*.



Gambar 4.57 Hasil Tegangan *Deck Beam Variasi Trim by Bow*



Gambar 4.58 Hasil Deformasi *Deck Beam Variasi Trim by Bow*

Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi di area bawah fondasi *towing hook* akibat konsentrasi beban yang disalurkan melalui sambungan ke struktur *deck beam*. Meskipun demikian, deformasi yang terjadi tergolong rendah dan masih berada dalam batas elastis material, menandakan bahwa struktur memiliki kekakuan yang cukup untuk menahan beban tanpa mengalami perubahan bentuk permanen. Hal ini menunjukkan bahwa desain struktur sudah cukup efektif, namun tetap diperlukan evaluasi lanjutan terhadap faktor keamanan untuk menjamin keandalan dalam jangka panjang. Besar tegangan dan deformasi maksimum pada setiap ketebalan kupingan *towing hook* dapat dilihat pada Tabel 4.38.

Tabel 4.38 Tegangan dan Deformasi Maksimum *Deck Beam* Variasi *Trim by Bow*

Tebal Kupingan (mm)	<i>Maximum Equivalent Stress</i> (MPa)	<i>Maximum Total Deformation</i> (mm)
20	88,889	0,625
22	80,898	0,593
24	74,837	0,568

4.3.5. Perbandingan Tegangan Maksimum dengan Tegangan Izin BKI

Perbandingan antara tegangan maksimum hasil simulasi dengan tegangan izin berdasarkan ketentuan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) digunakan sebagai dasar untuk memvalidasi kelayakan *struktur towing hook* dalam mendukung operasi penarikan. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk memastikan bahwa tegangan yang timbul selama kondisi operasional tidak melebihi batas tegangan izin yang telah ditetapkan, sehingga struktur dapat berfungsi secara aman. Apabila tegangan maksimum melebihi tegangan izin, maka struktur dinyatakan tidak memenuhi persyaratan klasifikasi dan diperlukan tindakan seperti perbaikan, penambahan penguatan struktural, atau penggantian komponen. Hasil perbandingan antara tegangan maksimum dan tegangan izin berdasarkan standar BKI disajikan pada beberapa Tabel 4.39 hingga 4.42 dan Gambar 4.59.

a. *Load Case 0°*

Tabel 4.39 Perbandingan Tegangan Maksimum dengan Tegangan Izin BKI Variasi 0°

Tebal Kupingan (mm)	<i>Object</i>	<i>Stress Max</i> (MPa)	<i>Permissible Stress</i> (MPa)	<i>Factor of Safety</i>	Keterangan
20	<i>Base Connection</i>	145,27	199,75	1,375	Memenuhi
	<i>Foundation</i>	145,27	199,75	1,375	

Tebal Kupingan (mm)	Object	Stress Max (MPa)	Permissible Stress (MPa)	Factor of Safety	Keterangan
	Deck Plate	136,69	197,77	1,446	
	Deck Beam	83,529	180	2,154	
22	Base Connection	130,52	199,75	1,530	
	Foundation	130,52	199,75	1,530	
	Deck Plate	113,09	197,77	1,748	
	Deck Beam	77,589	180	2,319	
24	Base Connection	124,30	199,75	1,606	
	Foundation	124,30	199,75	1,606	
	Deck Plate	101,07	197,77	1,956	
	Deck Beam	74,299	180	2,422	

b. Load Case 45°

Tabel 4.40 Perbandingan Tegangan Maksimum dengan Tegangan Izin BKI Variasi 45°

Tebal Kupingan (mm)	Object	Stress Max (MPa)	Permissible Stress (MPa)	Factor of Safety	Keterangan
20	Base Connection	105,18	199,75	1,899	Memenuhi
	Foundation	105,18	199,75	1,899	
	Deck Plate	98,745	197,77	2,002	
	Deck Beam	60,345	180	2,982	
22	Base Connection	101,75	199,75	1,963	
	Foundation	101,75	199,75	1,963	
	Deck Plate	85,067	197,77	2,324	
	Deck Beam	58,955	180	3,053	
24	Base Connection	95,793	199,75	2,085	

Tebal Kupingan (mm)	Object	Stress Max (MPa)	Permissible Stress (MPa)	Factor of Safety	Keterangan
	<i>Foundation</i>	95,793	199,75	2,085	
	<i>Deck Plate</i>	78,601	197,77	2,516	
	<i>Deck Beam</i>	56,368	180	3,193	

c. Variasi *Trim by Stern*

Tabel 4.41 Perbandingan Tegangan Maksimum dengan Tegangan Izin BKI Variasi *Trim by Stern*

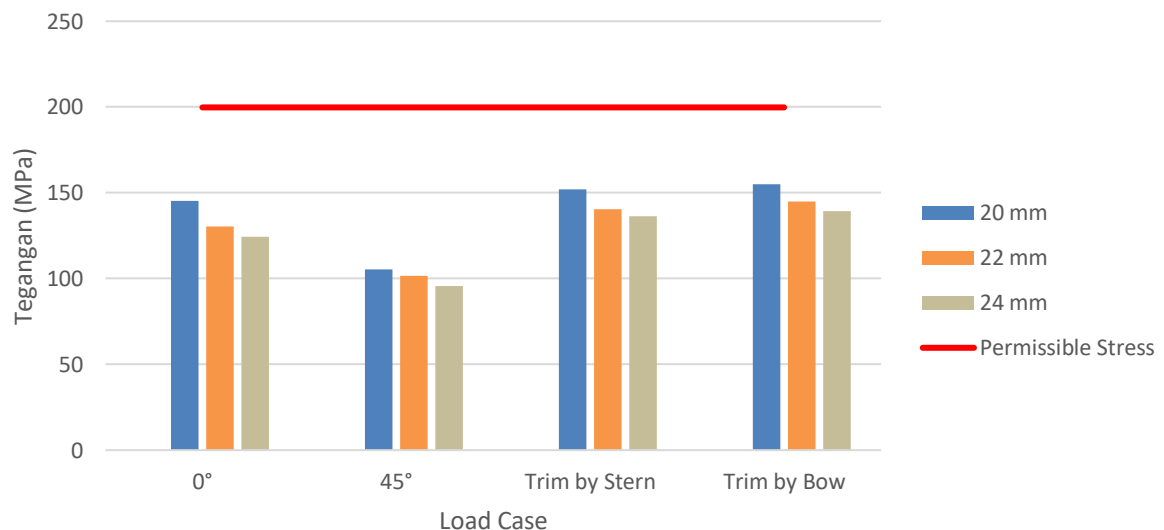
Tebal Kupingan (mm)	Object	Stress Max (MPa)	Permissible Stress (MPa)	Factor of Safety	Keterangan
20	<i>Base Connection</i>	151,89	199,75	1,315	Memenuhi
	<i>Foundation</i>	151,89	199,75	1,315	
	<i>Deck Plate</i>	142,59	197,77	1,386	
	<i>Deck Beam</i>	87,142	180	2,065	
22	<i>Base Connection</i>	140,50	199,75	1,421	
	<i>Foundation</i>	140,50	199,75	1,421	
	<i>Deck Plate</i>	138,03	197,77	1,432	
	<i>Deck Beam</i>	81,903	180	2,197	
24	<i>Base Connection</i>	136,16	199,75	1,467	
	<i>Foundation</i>	136,16	199,75	1,467	
	<i>Deck Plate</i>	123,59	197,77	1,600	
	<i>Deck Beam</i>	78,412	180	2,295	

d. Variasi *Trim by Bow*

Tabel 4.42 Perbandingan Tegangan Maksimum dengan Tegangan Izin BKI Variasi *Trim by Bow*

Tebal Kupingan (mm)	Object	Stress Max (MPa)	Permissible Stress (MPa)	Factor of Safety	Keterangan
20	<i>Base Connection</i>	154,92	199,75	1,289	Memenuhi
	<i>Foundation</i>	154,92	199,75	1,289	
	<i>Deck Plate</i>	145,45	197,77	1,359	
	<i>Deck Beam</i>	88,889	180	2,024	

Tebal Kupingan (mm)	Object	Stress Max (MPa)	Permissible Stress (MPa)	Factor of Safety	Keterangan
22	Base Connection	144,77	199,75	1,379	
	Foundation	144,77	199,75	1,379	
	Deck Plate	137,95	197,77	1,433	
	Deck Beam	80,898	180	2,225	
24	Base Connection	139,22	199,75	1,434	
	Foundation	139,22	199,75	1,434	
	Deck Plate	131,85	197,77	1,499	
	Deck Beam	74,837	180	2,405	



Gambar 4.59 Perbandingan Tegangan Maksimum dengan Tegangan Izin BKI pada Setiap Variasi

Berdasarkan hasil yang diperoleh, diketahui bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada struktur hasil simulasi berada di bawah batas tegangan izin yang ditetapkan oleh BKI (Biro Klasifikasi Indonesia). Selain itu, tegangan maksimum menunjukkan tren penurunan seiring dengan peningkatan ketebalan kupingan *towing hook*. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur masih berada dalam batas aman dan tidak mengalami kegagalan material selama kondisi pembebanan yang disimulasikan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa desain struktur telah memenuhi persyaratan klasifikasi dan layak digunakan secara operasional tanpa risiko

kerusakan akibat beban berlebih. Hasil ini sekaligus memvalidasi kelayakan struktural dari komponen yang dianalisis. Meskipun demikian, perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut terhadap potensi kelelahan material (*fatigue*) akibat beban siklik dan kondisi operasional jangka panjang guna memastikan keandalan dan keselamatan struktur.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisis yang telah dilakukan maka kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perbedaan *load case* pada proses penarikan *barge* memberikan pengaruh terhadap respons struktur dan nilai gaya tarik maksimum yang terjadi. Berdasarkan hasil simulasi, pada frekuensi gelombang sebesar 1,199 rad/s diperoleh gaya tarik maksimum sebesar 227,027 kN untuk *load case* 0°, 164,014 kN untuk *load case* 45°, 236,847 kN untuk *load case trim by stern*, dan 241,584 kN untuk *load case trim by bow*. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi kondisi penarikan memengaruhi besarnya gaya yang diterima oleh sistem secara signifikan.
2. Pengaruh beban tarik terhadap tegangan dan deformasi struktur *towinghook* memperlihatkan bahwa peningkatan gaya tarik secara langsung meningkatkan nilai tegangan dan deformasi pada struktur. Tegangan maksimum terjadi di sekitar area kupingan atau *base connection*. Area ini menjadi titik kritis akibat konsentrasi tegangan yang tinggi karena perubahan geometri dan arah aliran gaya. Tegangan maksimum pada masing-masing *load case* terjadi pada ketebalan kupingan 20 mm dengan nilai berturut-turut sebesar 145,27 MPa, 105,18 MPa, 151,89 MPa, dan 154,92 MPa. Deformasi yang terjadi juga menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya beban tarik, terutama pada bagian struktur yang tidak ditumpu atau memiliki kekakuan lebih rendah.
3. Perbandingan antara tegangan maksimum yang terjadi dengan tegangan izin berdasarkan aturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) menunjukkan bahwa seluruh skenario simulasi yang diuji menghasilkan nilai tegangan maksimum yang masih berada di bawah batas tegangan izin yang diperkenankan. Hal ini menandakan bahwa struktur *towing hook* yang dianalisis masih memenuhi kriteria kelayakan desain secara struktural dan dapat dikatakan aman untuk digunakan dalam operasi nyata.

5.2. Saran

Untuk penelitian lebih lanjut, disarankan agar mempertimbangkan kondisi laut yang lebih kompleks seperti gelombang acak (*irregular wave*) serta variasi tinggi gelombang.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

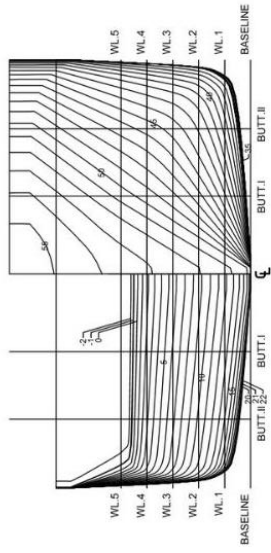
- Bathe, K.J. (1996). *Finite Element Procedures*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Beer, F.P., Johnston, E.R., DeWolf, J.T. & Mazurek, D.F. (2015). *Mechanics of Materials*. 7th ed. New York: McGraw-Hill Education.
- Bhattacharya, R. (1978). *Dynamics of Marine Vehicles*. New York: John Wiley & Sons.
- Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). (2021). *Rules for the Classification and Construction of Ships – Volume II: Machinery Installations*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia. Available at: <https://class.bki.co.id> [Accessed 19 May 2025].
- Cahyono, B.S. (2017). *Analisa Teknis Penerapan Kort Nozzle untuk Kapal SPOB 4990 DWT*. ITS Repository
- Dieter, G.E. (1988). *Mechanical Metallurgy*. 3rd ed. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Djatkiko, E. b. (2012). *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press.
- El Zaalik, M.A.A., Kotb, M.A. dan Sharara, A.I., 2015. *Theoretical and experimental measurements of bollard pull with emphasis on propeller dimensions*. International Journal of Multidisciplinary and Current Research, 3(July/Aug), pp.777–783.
- Gere, J.M. & Goodno, B.J. (2012). *Mechanics of Materials*. 8th ed. Stamford, CT: Cengage Learning.
- Hibbeler, R.C. (2011). *Mechanics of Materials*. 8th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- ITTC. (2014). *ITTC – Recommended Procedures and Guidelines: Seakeeping Experiments*. ITTC.
- Khrisdiyanto, F. A. (2024). *Analisis Perawatan Peralatan Towing Barge di Kapal TB. Trans Power 215 Guna Menunjang Keselamatan Pelayaran*. STIP Jakarta.
- Lewis, E.V. (1988). *Principles of Naval Architecture* (Vol. 1). Jersey City: Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME). Available online
- Logan, D.L. (2006). *A First Course in the Finite Element Method*. 4th ed. Belmont, CA: Thomson—Brooks/Cole.
- Madier, D. (2020). *Practical Finite Element Analysis for Mechanical Engineers*. 1st ed. Montreal: FEA Academy. ISBN 9781999047504. 639 pp.
- Mapariorio, M. A. and Dlukha, S. (2020) ‘*Analysis of Fatigue Life of Tugboat Towing Hook Construction Using Finite Element Method*’, 17(2), pp. 86–94.
- Ma’ruf, A., & Pranata, E. (2020). *Analisa seakeeping kapal pembersih sampah (trash skimmer) di wilayah perairan Teluk Sumenep*. SEMITAN: Jurnal Sumber daya Bumi Berkelanjutan.
- Maritime Mutual Insurance Association, (2020). *Tug and Tow Safety Guide: Best Practice for Safe Towing Operations*.
- Muckle, W. (1983). *Naval Architecture for Marine Engineers*. London: Butterworths. Available online
- Mulyatno, I. P. and Alan, M. (2013) ‘*Analisa Kekuatan Konstruksi Bracket Towing Hook Pada Tb. Bontang Dengan Metode Elemen Hingga Dan Rules BKI*’, *Kapal*, 9(1), pp. 1–5.
- Novri, J. (2018). *Analisa Diameter Ducted Propeller Nozzle Terhadap Parameter Hidrodinamis Kapal Tugboat*. Academia.edu
- Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia. (2014). *Peraturan Menteri Perhubungan No. 93 Tahun 2014 tentang Tata Cara Penyelenggaraan Pekerjaan Penundaan Kapal di Pelabuhan*. Jakarta: Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.

- Rawson, K.J. & Tupper, E.C. (2001). *Basic Ship Theory* Volume 1. 5th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann. Available online
- Reddy, J.N. (2006). *An Introduction to the Finite Element Method*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill.
- Rinaldi, M.F.T., & Koenhardono, E.S. (2024). *Machinery System Design Of Salvage Vessel For River And Lake In Indonesia*. ITS Repository
- Rizky, A. P., Mulyatno, I. P. and Joko Sisworo, S. (2016) ‘Analisa *Fatigue* Kontruksi *Main Deck* sebagai Penumpu *Towing Hook* akibat Beban Tarik pada Kapal Tug Boat 2 x 800 HP dengan Metode Elemen Hingga’, *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(1), pp. 190–198.
- Shigley, J.E. & Mischke, C.R. (2015). *Mechanical Engineering Design*. 10th ed. New York: McGraw-Hill Education.
- Sholihin, A. R. (2015). Analisis Gerakan Kapal FLNG pada Kondisi *Free Floating* di Gelombang Reguler dengan *Computational Fluid Dynamic*.
- Ugural, A.C. & Fenster, S.K. (2011). *Advanced Mechanics of Materials and Applied Elasticity*. 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Valentino, P., Yudo, H. and Zakki, A. F. (2022) ‘*Strength Analysis of Towing Hook Support Structure* on TB. Khatulistiwa 01’, *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 7(4), pp. 311–320. doi: 10.12962/j25481479.v7i4.14734.
- von Mises, R. (1913). *Theory of Elastic-Plastic Behavior of Solids*. Translated in later editions of plasticity textbooks.

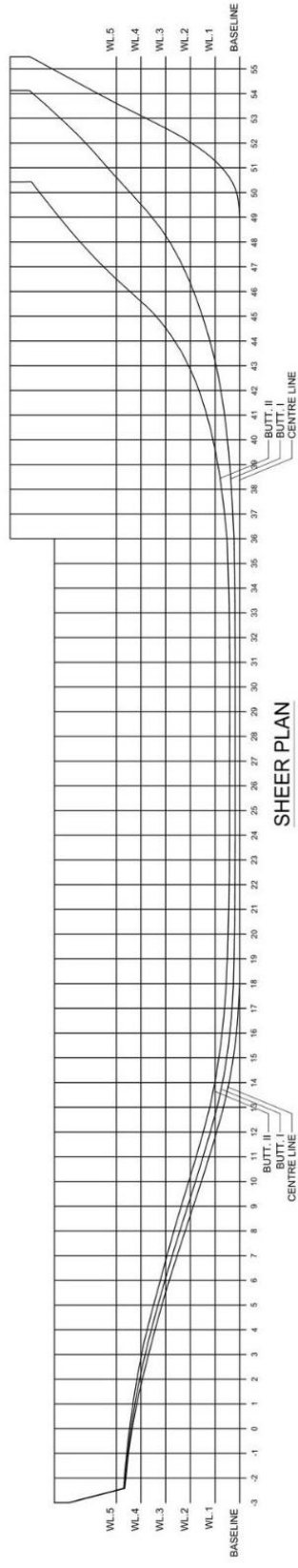
LAMPIRAN

- Lampiran A *Linesplan Tugboat*
- Lampiran B *Construction Profile Tugboat*
- Lampiran C *Towing & Bolder Construction Tugboat*
- Lampiran D Data Ketinggian Gelombang Laut
- Lampiran E Perhitungan Tegangan Izin BKI
- Lampiran F Hasil *Running* Variasi Model

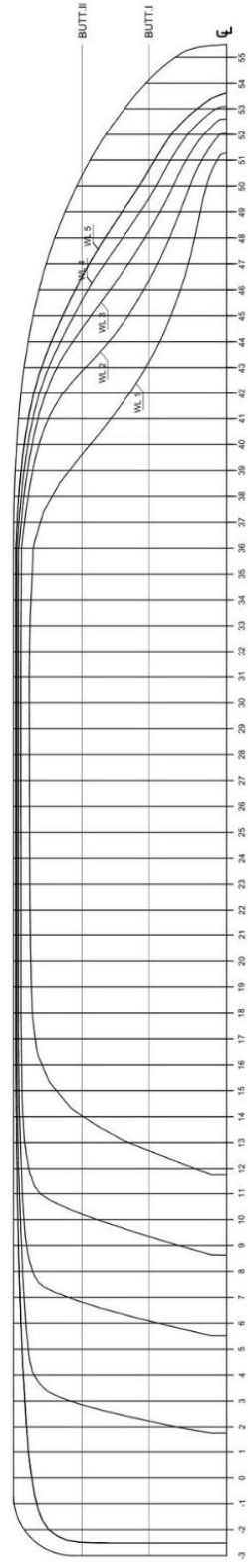
LAMPIRAN A
LINESPLAN TUGBOAT



BODY PLAN



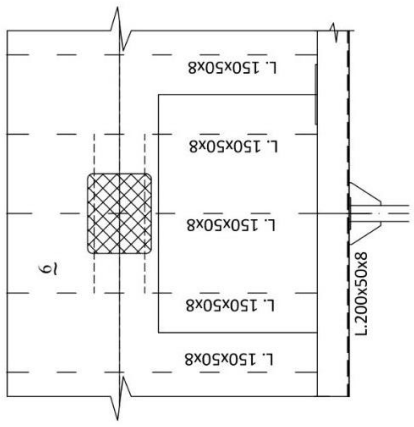
SHEER PLAN



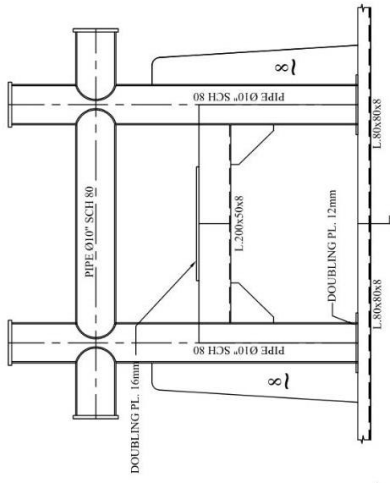
HALF BREADTH PLAN

LAMPIRAN B
CONSTRUCTION PROFILE TUGBOAT

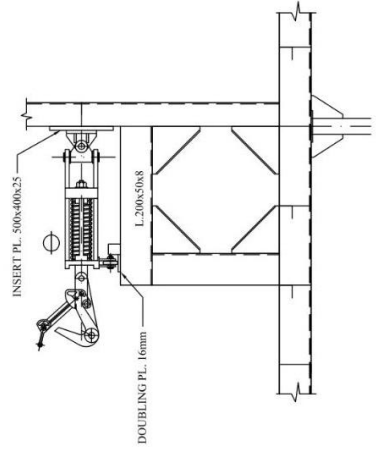
LAMPIRAN C
TOWING & BOLDER CONSTRUCTION TUGBOAT



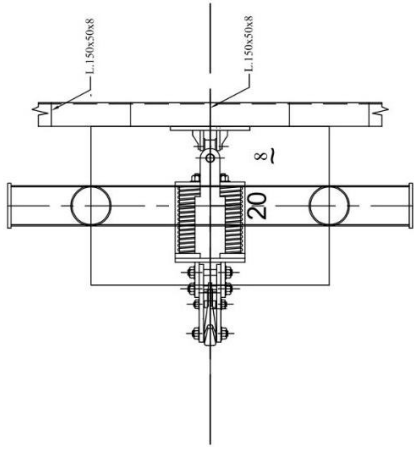
FRAME No. 21



FRAME No. 20



18 19 20 21 22



LAMPIRAN D
DATA KETINGGIAN GELOMBANG LAUT

Count of VCMX	Wave Height (m)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.9	Grand Total	
Date																																									
2024-12-28T03:00:00.000Z															1																										1
2024-12-28T06:00:00.000Z														1																											1
2024-12-28T09:00:00.000Z																1																									1
2024-12-28T12:00:00.000Z																	1																								1
2024-12-28T15:00:00.000Z																		1																							1
2024-12-28T18:00:00.000Z																			1																						1
2024-12-28T21:00:00.000Z																				1																					1
2024-12-29T00:00:00.000Z																					1																				1
2024-12-29T03:00:00.000Z																						1																			1
2024-12-29T06:00:00.000Z																							1																		1
2024-12-29T09:00:00.000Z																								1																	1
2024-12-29T12:00:00.000Z																									1																1
2024-12-29T15:00:00.000Z																										1															1
2024-12-29T18:00:00.000Z																											1														1
2024-12-29T21:00:00.000Z																												1													1
2024-12-30T00:00:00.000Z																													1												1
2024-12-30T03:00:00.000Z																														1											1
2024-12-30T06:00:00.000Z																															1										1
2024-12-30T09:00:00.000Z																																1									1
2024-12-30T12:00:00.000Z																																	1								1
2024-12-30T15:00:00.000Z																																		1							1
2024-12-30T18:00:00.000Z																																			1						1
2024-12-30T21:00:00.000Z																																				1					1
2024-12-31T00:00:00.000Z																																					1				1
2024-12-31T03:00:00.000Z																																									1
2024-12-31T06:00:00.000Z																																									1
2024-12-31T09:00:00.000Z																																									1
2024-12-31T12:00:00.000Z																																									

LAMPIRAN E
PERHITUNGAN TEGANGAN IZIN BKI

Permissible					
Permissible for towing gear (BKI Pt 1 Vol II Sec 27 B.7)					
The stresses in the foundations and fastening elements shall not exceed the permissible stresses shown in Table 27.2, assuming a load equal to the test load of the towing hook in case of hook arrangements, and a load of the winch holding capacity in case of towing winches, see also C.3.5 and C.5.3					
Table 27.2 Permissible stresses					
Type of stress		Permissible stress			
Axial and bending tension and axial and bending compression with box type girders and tubes		$\sigma = 0,83 \cdot R_{eH}$			
Axial and bending compression with girders of open cross sections or with girders consisting of several members		$\sigma = 0,72 \cdot R_{eH}$			
Shear		$\tau = 0,48 \cdot R_{eH}$			
Equivalent stress		$\sigma_v = 0,85 \cdot R_{eH}$			
R_{eH} = yield strength or 0,2% (proof stress)					
so that,					
1	Axial and bending tension and axial and bending compression with box type girders and tubes				
	σ	=	0,83 x ReH	=	195.05 N/mm2
2	Axial and bending compression with girders of open cross sections or with girders consisting of several members				
	σ	=	0,72 x ReH	=	169.2 N/mm2
3	Shear				
	τ	=	0,48 x ReH	=	112.8 N/mm2
4	Equivalent stress				
	σ_v	=	0,85 x ReH	=	199.75 N/mm2
Permissible for shell plating (BKI Pt 1 Vol II Sec 6 A.2)					
	σ_{perm}	=	permissible design stress [N/mm2]		
	σ_{perm}	=	$\left(0.8 + \frac{L}{450}\right) \frac{230}{K}$ [N/mm2] For L< 90 m		
	σ_{perm}	=	197.77	N/mm2	
Desc :					
k = The material factor k in the formulae of the following Sections is to be taken 1,0 for normal strength hull structural steel. BKI pt 1 vol II sec 2 B.1.2					
Permissible deck beam and suporting deck structures (BKI pt 1 vol II sec 10 A.2)					
Where the scantlings of girders not forming part of the longitudinal hull structure, or of transverses, deck beams, etc. are determined by means of strength calculations the following stresses are not to be exceeded:					
	σ_b	$\leq \frac{150}{K}$ [N/mm2]			
	σ_b	≤ 150 [N/mm2]			
	τ	$\leq \frac{100}{K}$ [N/mm2]			
	τ	≤ 100 [N/mm2]			
	σ_v	$= \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} < \frac{180}{k}$ [N/mm2]			
	σ_v	=	229.13	≈	180 N/mm2

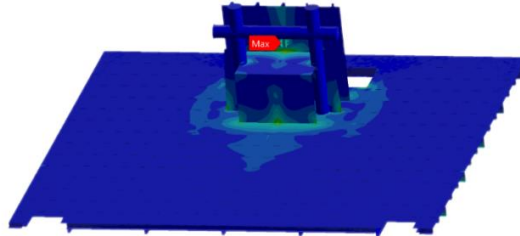
LAMPIRAN F
HASIL *RUNNING* VARIASI MODEL

- **Load Case 0°**

- a. Tebal Kupingan 20 mm

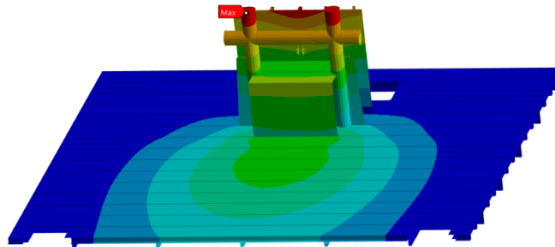
A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
23/06/2025 20:05

145.27 Max
129.13
112.99
96.846
80.705
64.564
48.423
32.282
16.141
1.6335e-9 Min



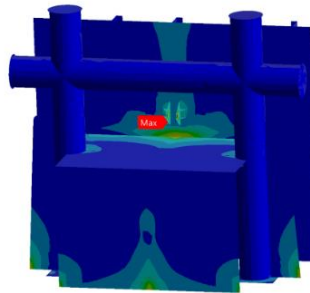
A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
6/25/2025 5:56 PM

0.69143 Max
0.61481
0.53778
0.46095
0.38413
0.30773
0.23048
0.15385
0.076826
0 Min



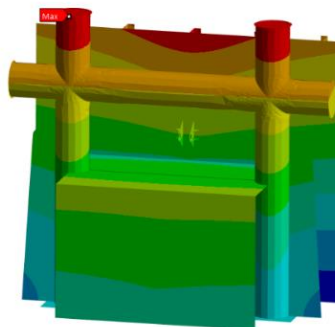
A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
23/06/2025 20:05

145.27 Max
129.13
112.99
96.846
80.705
64.564
48.423
32.282
16.141
1.6335e-9 Min



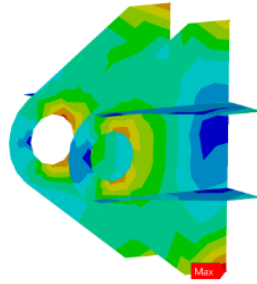
A: Static Structural
TD towing hook foundation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
6/24/2025 2:13 PM

0.69143 Max
0.61499
0.54256
0.46812
0.39388
0.31925
0.24481
0.17037
0.095933
0.021496 Min



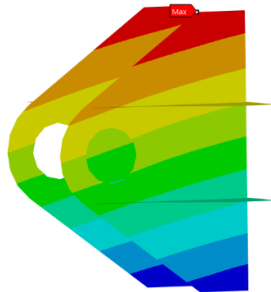
A: Static Structural
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 23/06/2025 20:05

145.27 Max
 129.13
 112.99
 96.846
 80.705
 64.564
 48.423
 32.282
 16.141
 1.6335e-9 Min



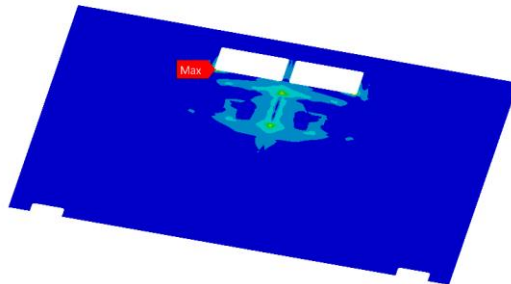
A: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s
 6/04/2025 1:55 PM

0.43862 Max
 0.42988
 0.42114
 0.4124
 0.40366
 0.39492
 0.38618
 0.37744
 0.3687
 0.35996 Min



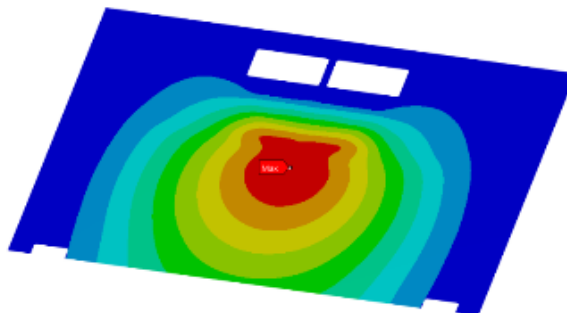
A: Static Structural
 ES deck plate
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 24/07/2025 20:55

136.69 Max
 121.5
 106.32
 91.134
 75.95
 60.766
 45.582
 30.398
 15.214
 0.029619 Min



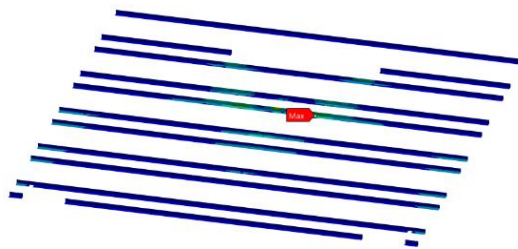
A: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s
 6/04/2025 2:29 PM

0.35741 Max
 0.3177
 0.27939
 0.23826
 0.19836
 0.15889
 0.11954
 0.079478
 0.039713
 0 Min



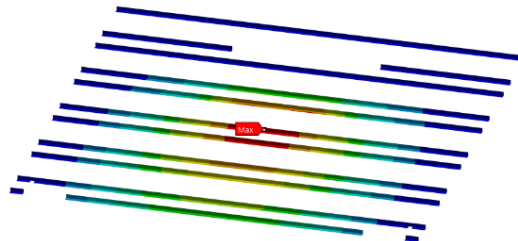
A: Static Structural
 ES deck beam
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 6/24/2025 3:03 PM

83.529 Max
 74.25
 64.87
 55.69
 46.411
 37.131
 27.832
 18.572
 9.2928
0.013338 Min



A: Static Structural
 TD deck beam
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s
 6/24/2025 3:06 PM

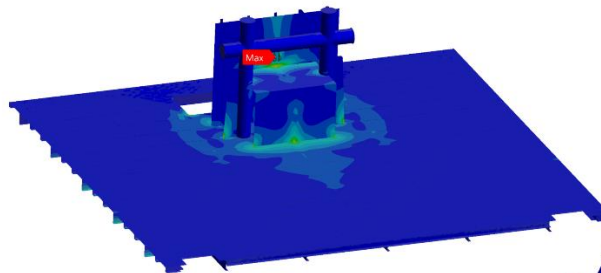
0.36731 Max
 0.31761
 0.27791
 0.23821
 0.19851
 0.1588
 0.1191
 0.079402
 0.039701
0 Min



b. Tebal Kupingan 22 mm

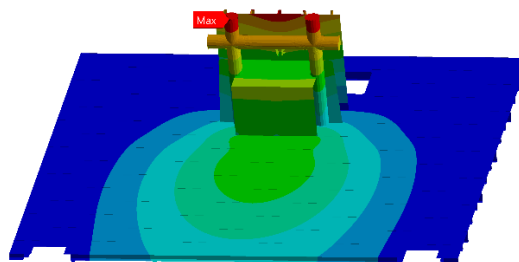
A: Static Structural
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 30/06/2025 19:48

130.52 Max
 116.01
 101.51
 87.011
 72.509
 58.007
 43.505
 29.004
 14.502
1.3062e-8 Min



A: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s
 02/07/2025 13:50

0.61106 Max
 0.54316
 0.47527
 0.40737
 0.33948
 0.27158
 0.20369
 0.13579
 0.067895
0 Min



A: Static Structural

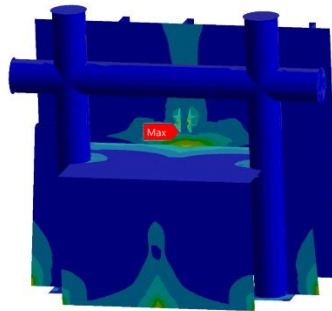
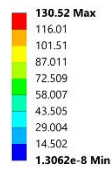
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1 s

30/06/2025 19:48



A: Static Structural

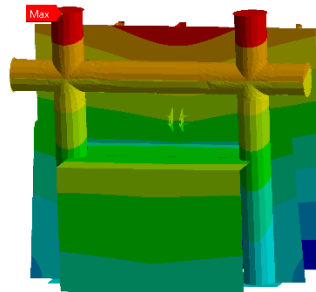
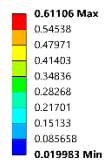
TD towing hook foundation

Type: Total Deformation

Unit: mm

Time: 1 s

02/07/2025 13:47



A: Static Structural

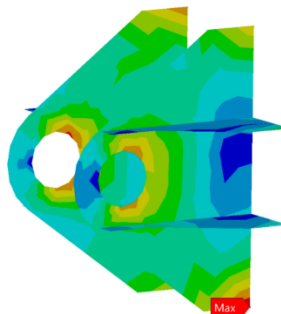
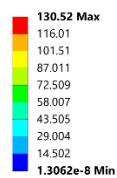
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1 s

30/06/2025 19:48



A: Static Structural

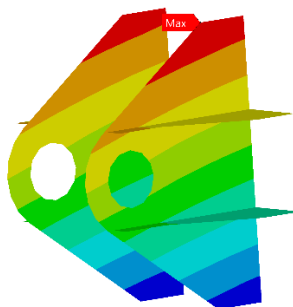
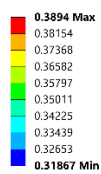
TD kupingan

Type: Total Deformation

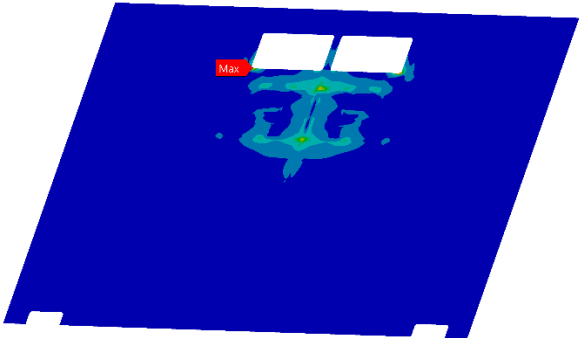
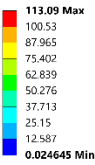
Unit: mm

Time: 1 s

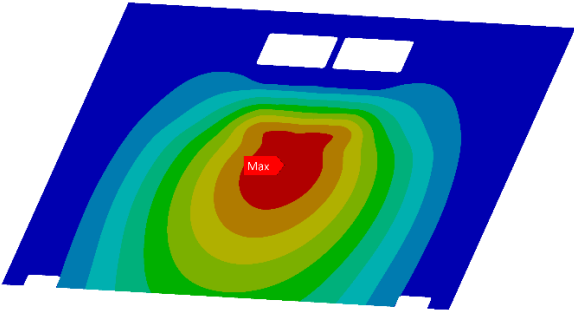
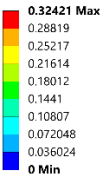
02/07/2025 13:43



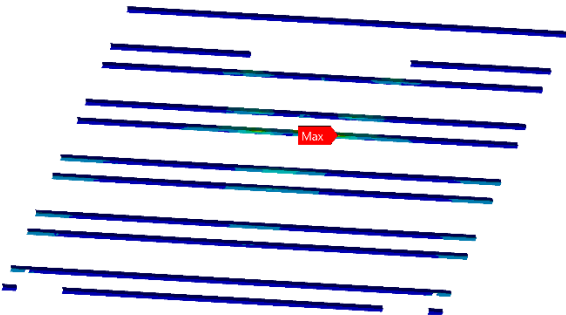
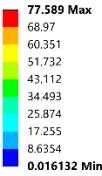
A: Static Structural
ES deck plate
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
02/07/2025 13:26



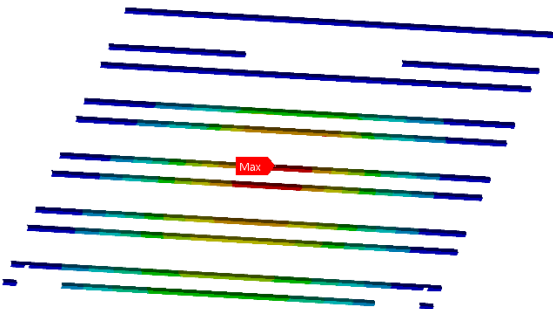
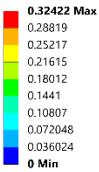
A: Static Structural
TD deck plate
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
02/07/2025 13:41



A: Static Structural
ES deck beam
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
02/07/2025 13:37



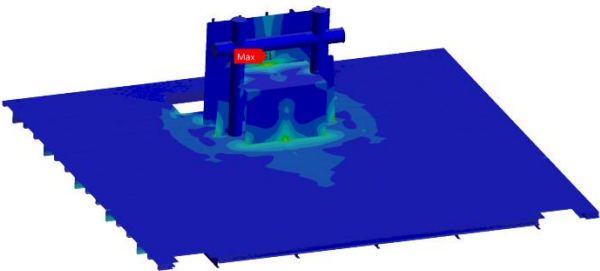
A: Static Structural
TD deck beam
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
02/07/2025 13:40



c. Tebal Kupingan 24 mm

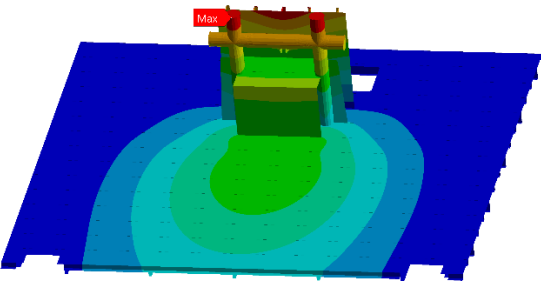
A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
30/06/2025 19:45

124.3 Max
110.49
96.682
82.87
69.058
55.247
41.435
27.623
13.812
1.3049e-8 Min



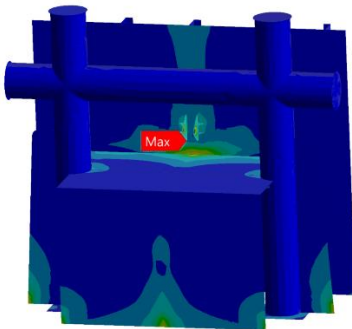
A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
02/07/2025 14:03

0.56849 Max
0.50533
0.44216
0.379
0.31583
0.25266
0.1895
0.12633
0.063166
0 Min



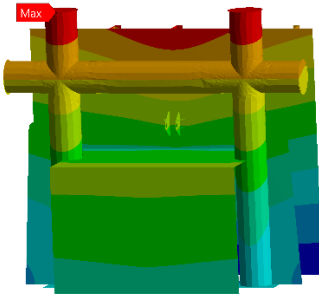
A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
30/06/2025 19:45

124.3 Max
110.49
96.682
82.87
69.058
55.247
41.435
27.623
13.812
1.3049e-8 Min



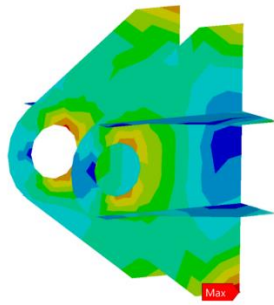
A: Static Structural
TD towing hook fondation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
02/07/2025 14:01

0.56849 Max
0.50745
0.44641
0.38537
0.32433
0.26328
0.20224
0.1412
0.080157
0.019114 Min



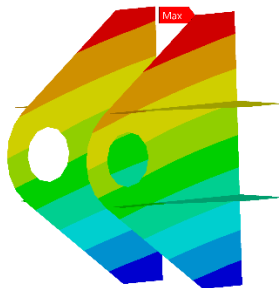
A: Static Structural
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 30/06/2025 19:45

124.3 Max
 110.49
 96.682
 82.87
 69.058
 55.247
 41.435
 27.623
 13.812
1.3049e-8 Min



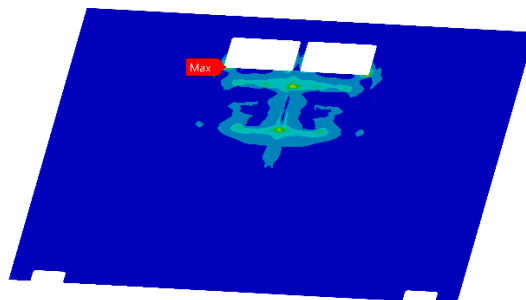
A: Static Structural
 TD kuplingan
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s
 02/07/2025 14:01

0.36426 Max
 0.35682
 0.34938
 0.34194
 0.3345
 0.32706
 0.31962
 0.31218
 0.30474
0.29729 Min



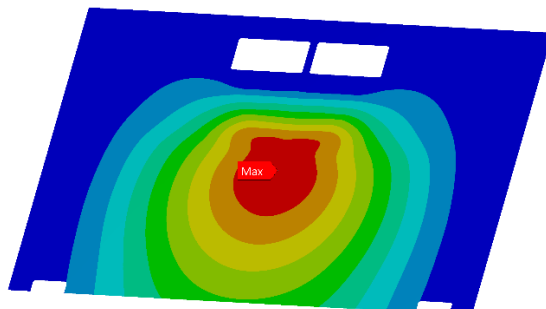
A: Static Structural
 ES deck plate
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 02/07/2025 13:56

101.07 Max
 89.844
 78.616
 67.388
 56.16
 44.932
 33.703
 22.475
 11.247
0.018877 Min



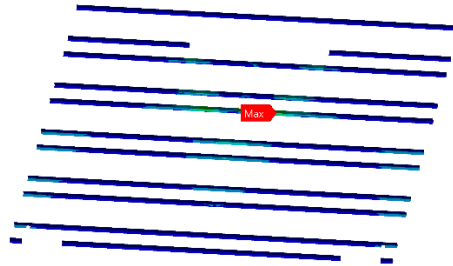
A: Static Structural
 TD deck plate
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s
 02/07/2025 13:59

0.30811 Max
 0.27387
 0.23964
 0.20541
 0.17117
 0.13694
 0.1027
 0.068469
 0.034234
0 Min



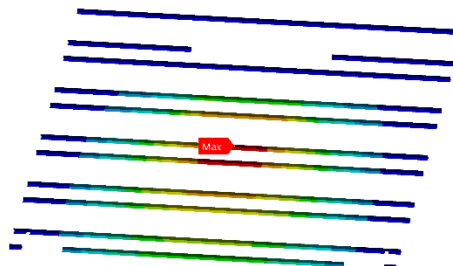
A: Static Structural
ES deck beam
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
02/07/2025 13:57

74.299 Max
66.045
57.791
49.537
41.282
33.028
24.774
16.52
8.2658
0.011693 Min



A: Static Structural
TD deck beam
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
02/07/2025 13:59

0.30811 Max
0.27388
0.23964
0.20541
0.17117
0.13694
0.1027
0.068469
0.034234
0 Min

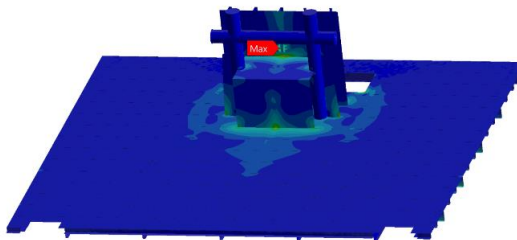


- **Load Case 45°**

- a. Tebal Kupingan 20 mm

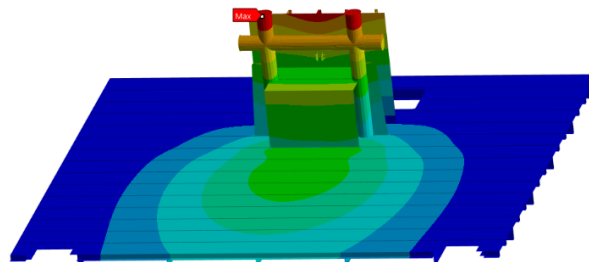
A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
23/06/2025 20:07

105.18 Max
93.493
81.807
70.12
58.433
46.747
35.06
23.373
11.687
1.1991e-9 Min

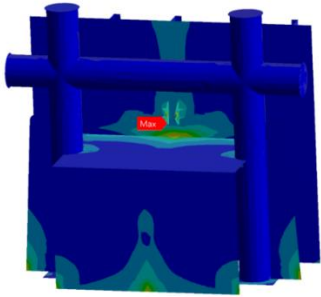
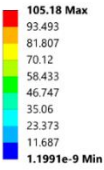


A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
6/23/2025 7:55 PM

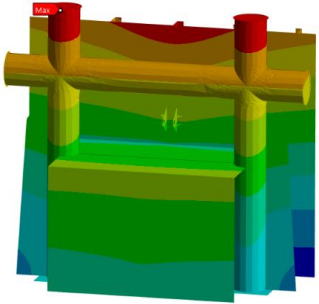
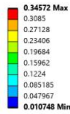
0.34572 Max
0.3073
0.26889
0.23048
0.19206
0.15365
0.11524
0.076828
0.038413
0 Min



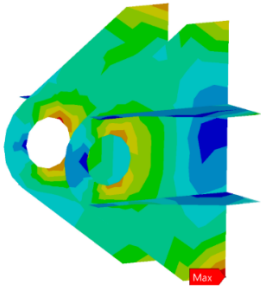
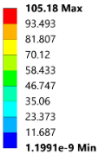
A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
23/06/2025 20:07



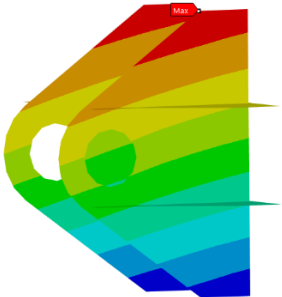
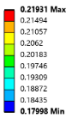
A: Static Structural
TD towing hook foundation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
6/24/2025 2:17 PM



A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
23/06/2025 20:07

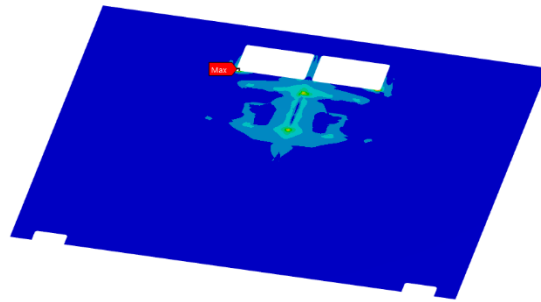


A: Static Structural
TD kopingan
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
6/24/2025 2:02 PM



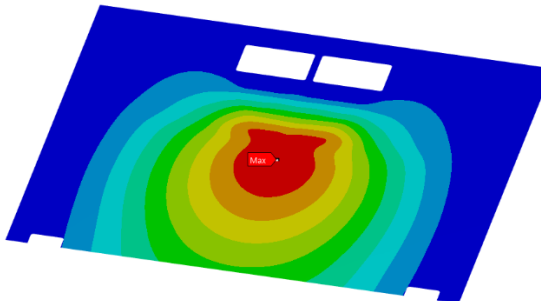
A: Static Structural
 ES deck plate
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 6/24/2025 2:35 PM

98.745 Max
 87.776
 76.807
 65.837
 54.868
 43.899
 32.929
 21.96
 10.991
 0.021396 Min



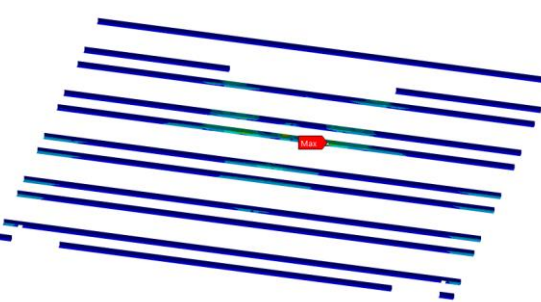
A: Static Structural
 TD deck plate
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s
 6/24/2025 2:38 PM

0.17871 Max
 0.15885
 0.13899
 0.11914
 0.099282
 0.079425
 0.059569
 0.039713
 0.019856
 0 Min



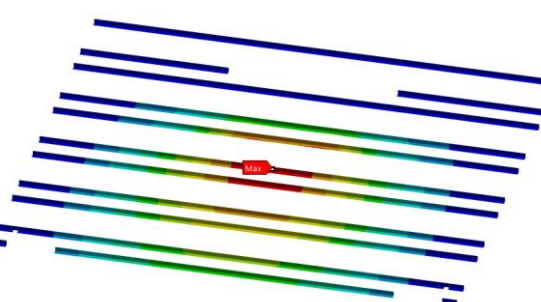
A: Static Structural
 ES deck beam
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 6/25/2025 3:10 PM

60.345 Max
 53.641
 46.937
 40.233
 33.529
 26.825
 20.121
 13.417
 6.7135
 0.0095638 Min



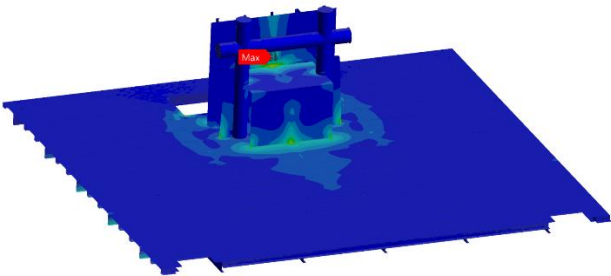
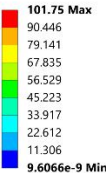
A: Static Structural
 TD deck beam
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s
 6/25/2025 3:13 PM

0.17866 Max
 0.1588
 0.13895
 0.1191
 0.099253
 0.079402
 0.059552
 0.039701
 0.019851
 0 Min

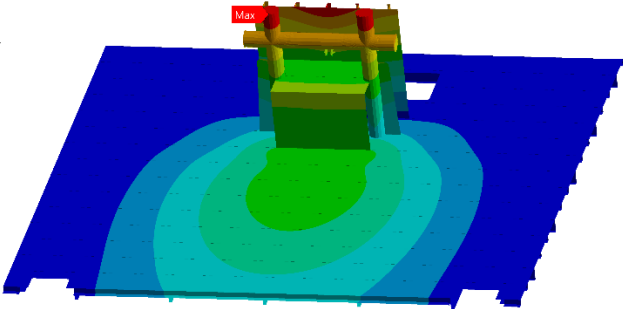
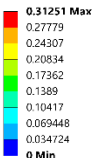


b. Tebal Kupingan 22 mm

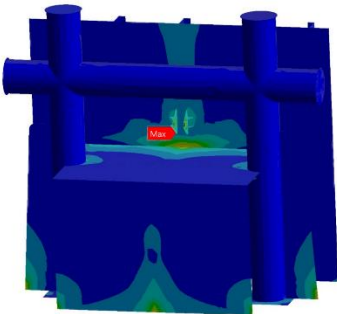
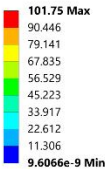
A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
30/06/2025 19:41



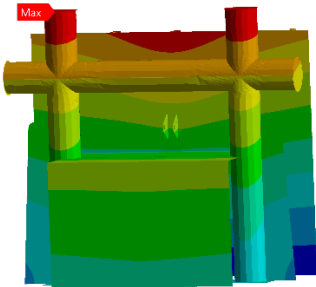
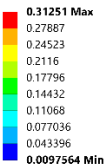
A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
02/07/2025 14:21



A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
30/06/2025 19:41

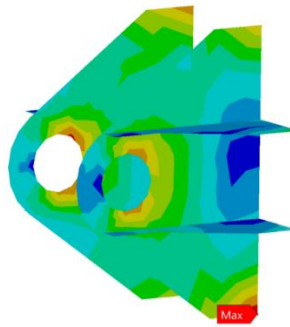


A: Static Structural
TD towing hook fondation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
02/07/2025 14:19



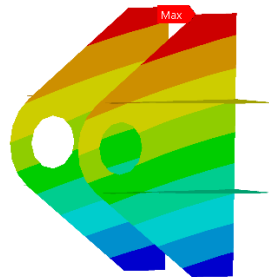
A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
30/06/2025 19:41

101.75 Max
90.446
79.141
67.835
56.529
45.223
33.917
22.612
11.306
9.6066e-9 Min



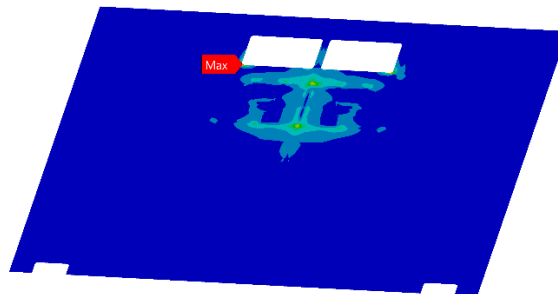
A: Static Structural
TD kupingan
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
02/07/2025 14:20

0.19982 Max
0.19574
0.19167
0.18759
0.18352
0.17944
0.17537
0.17129
0.16722
0.16314 Min



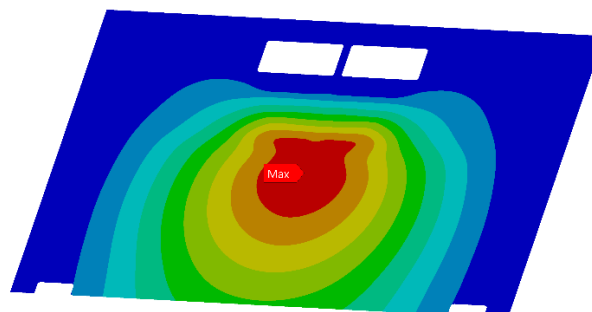
A: Static Structural
ES deck plate
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
02/07/2025 14:17

85.067 Max
75.617
66.168
56.718
47.268
37.819
28.369
18.92
9.4703
0.020769 Min



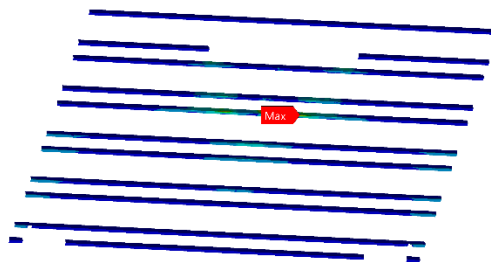
A: Static Structural
TD deck plate
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
02/07/2025 14:18

0.16705 Max
0.14849
0.12993
0.11136
0.092804
0.074243
0.055682
0.037122
0.018561
0 Min



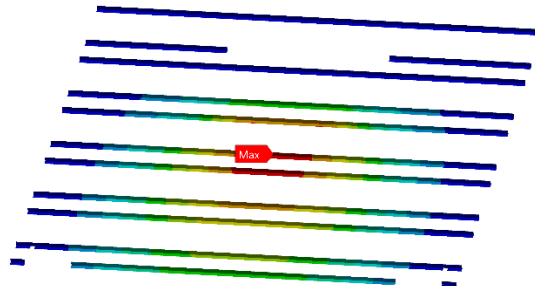
A: Static Structural
 ES deck beam
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 02/07/2025 14:16

58.955 Max
 52.406
 45.857
 39.307
 32.758
 26.209
 19.66
 13.111
 6.562
0.012855 Min



A: Static Structural
 TD deck beam
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s
 02/07/2025 14:19

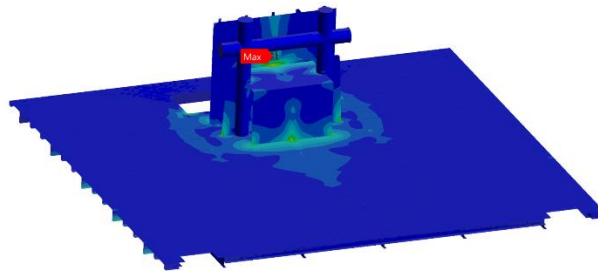
0.16705 Max
 0.14849
 0.12993
 0.11137
 0.092805
 0.074244
 0.055683
 0.037122
 0.018561
0 Min



c. Tebal Kupingan 24 mm

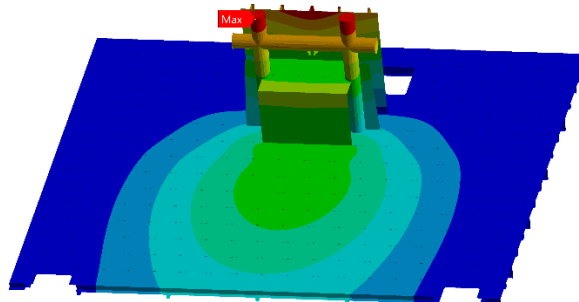
A: Static Structural
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 30/06/2025 19:43

95.793 Max
 85.149
 74.506
 63.862
 53.218
 42.575
 31.931
 21.287
 10.644
9.4633e-9 Min



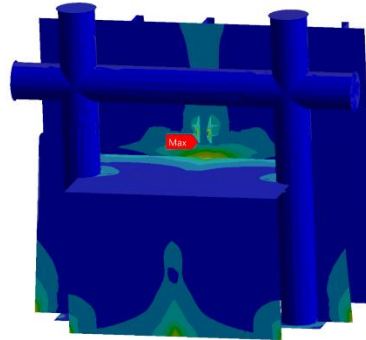
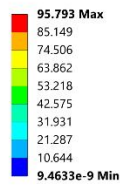
A: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s
 02/07/2025 14:11

0.2965 Max
 0.26356
 0.23061
 0.19767
 0.16472
 0.13178
 0.098835
 0.06589
 0.032945
0 Min



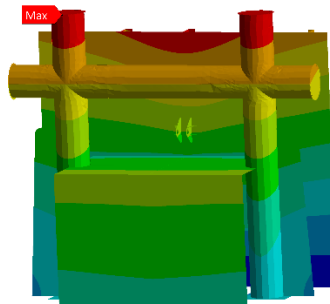
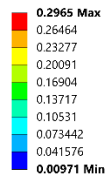
A: Static Structural

Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
30/06/2025 19.43



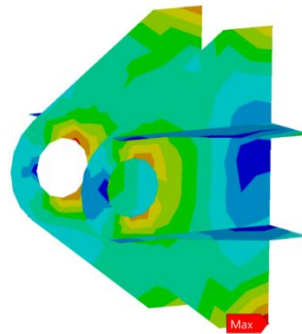
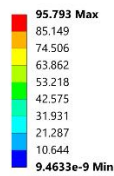
A: Static Structural

TD towing hook foundation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
02/07/2025 14.09



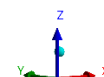
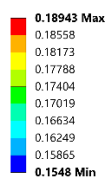
A: Static Structural

Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
30/06/2025 19.43

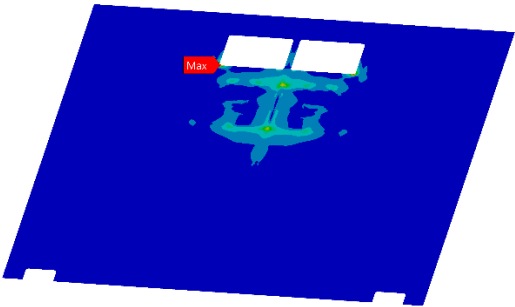
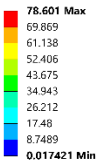


A: Static Structural

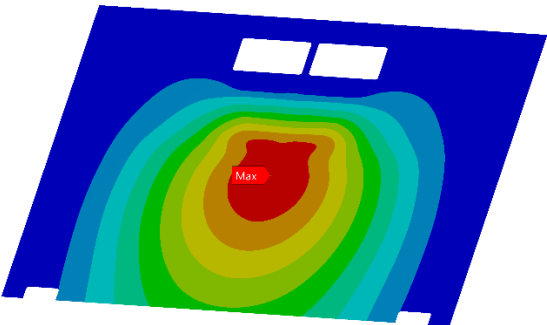
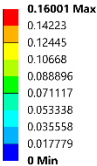
TD kupingan
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
02/07/2025 14.10



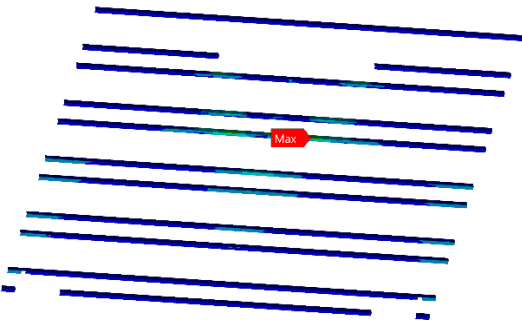
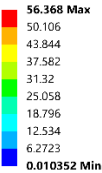
A: Static Structural
ES deck plate
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
02/07/2025 14:07



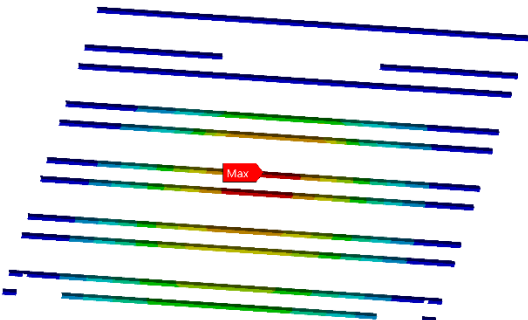
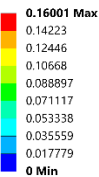
A: Static Structural
TD deck plate
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
02/07/2025 14:08



A: Static Structural
ES deck beam
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
02/07/2025 14:07



A: Static Structural
TD deck beam
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
02/07/2025 14:08

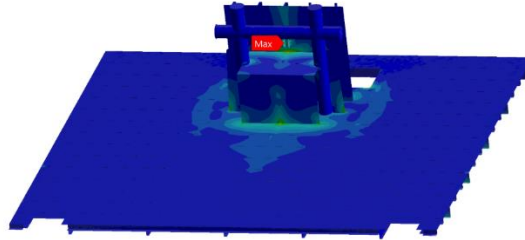


- *Load Case Trim by Stern*

- a. Tebal Kupingan 20 mm

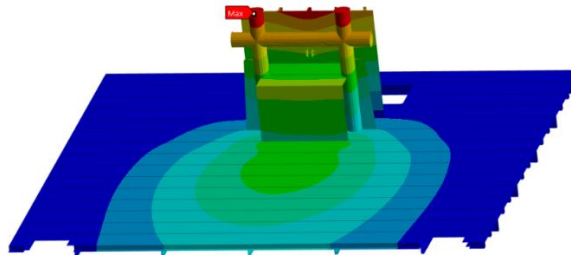
A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
23/06/2025 20:09

151.89 Max
135.01
118.13
101.26
84.382
67.505
50.629
33.753
16.876
1.7324e-9 Min



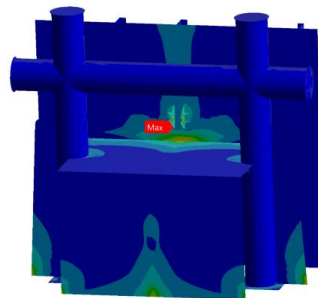
A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
6/25/2025 8:50 PM

1.0371 Max
0.92191
0.80967
0.69143
0.57619
0.46095
0.34572
0.23048
0.11524
0 Min



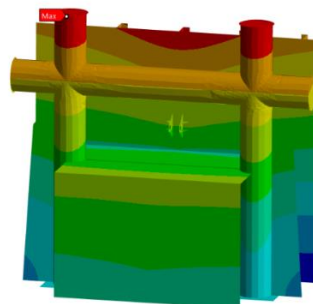
A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
23/06/2025 20:09

151.89 Max
135.01
118.13
101.26
84.382
67.505
50.629
33.753
16.876
1.7324e-9 Min



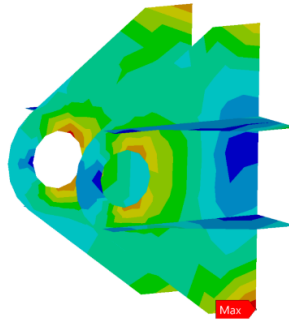
A: Static Structural
TD towing hook foundation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
6/24/2025 2:10 PM

1.0371 Max
0.92549
0.81184
0.70216
0.59032
0.47887
0.36721
0.25556
0.1439
0.032244 Min



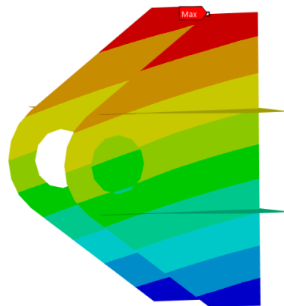
A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
23/06/2025 20:09

151.89 Max
135.01
118.13
101.26
84.382
67.505
50.629
33.753
16.876
1.7324e-9 Min



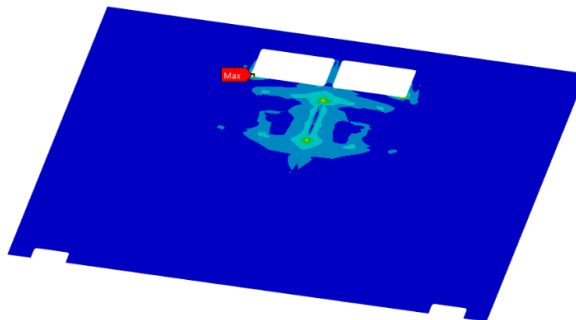
A: Static Structural
TD kuprangan
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
6/24/2025 2:07 PM

0.65793 Max
0.64682
0.63171
0.6186
0.60549
0.59238
0.57927
0.56616
0.55306
0.53995 Min



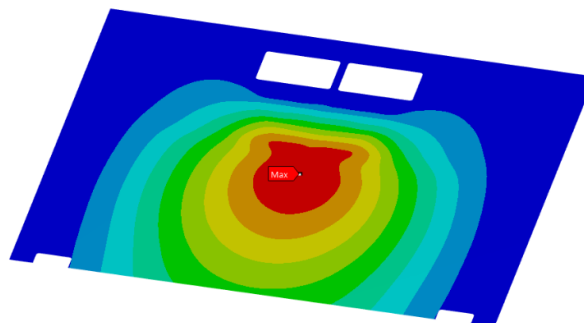
A: Static Structural
ES deck plate
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
6/24/2025 2:42 PM

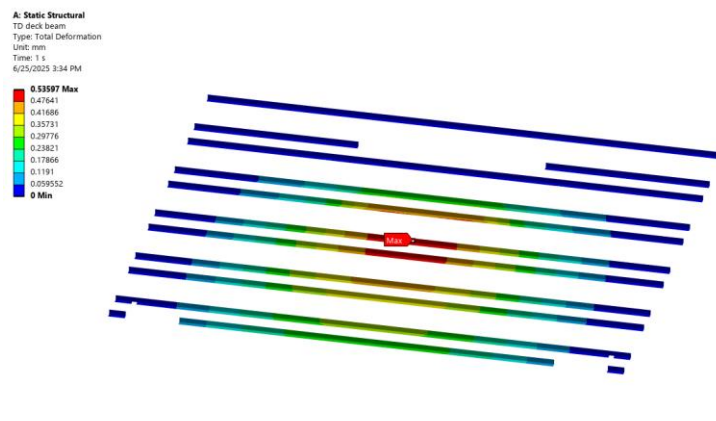
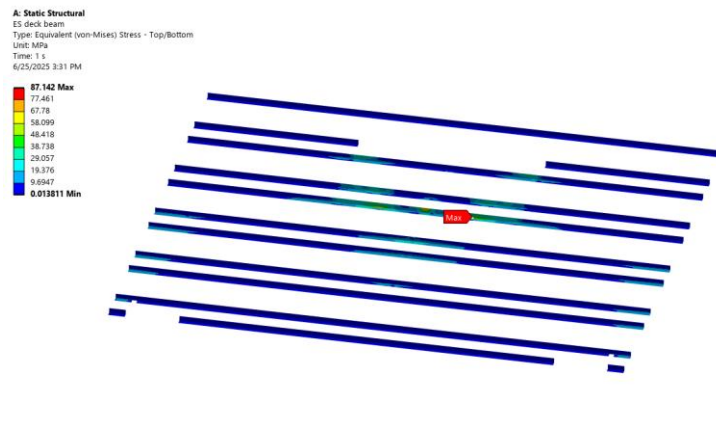
142.59 Max
126.75
110.91
95.073
79.233
63.392
47.552
31.712
15.871
0.030098 Min



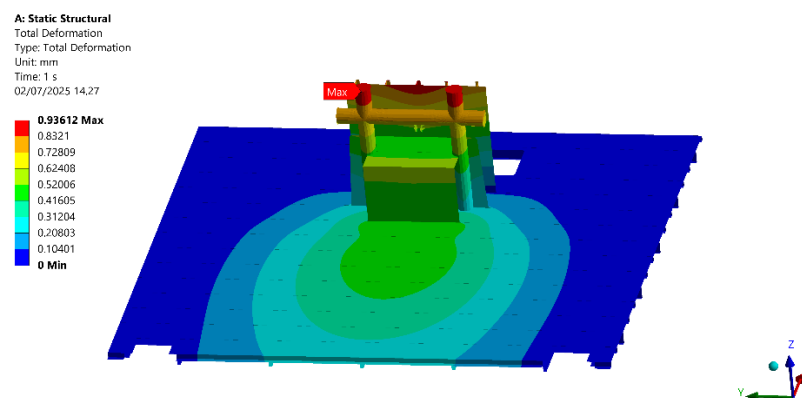
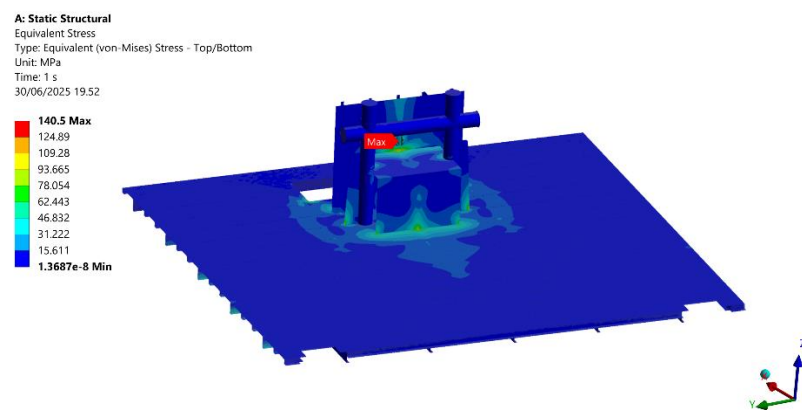
A: Static Structural
TD deck plate
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
6/24/2025 2:43 PM

0.53612 Max
0.47655
0.41698
0.35741
0.29785
0.23828
0.17871
0.11914
0.059569
0 Min

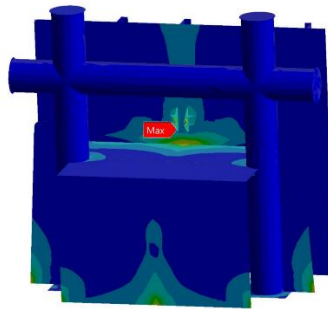
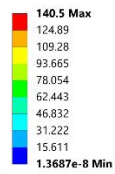




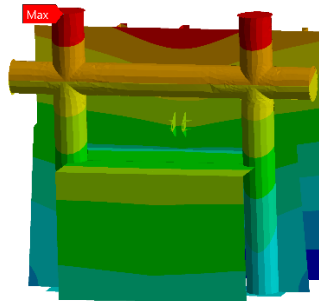
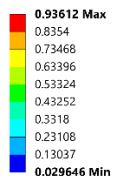
b. Tebal Kupingan 22 mm



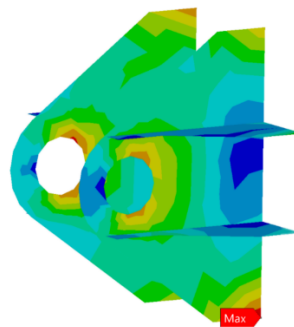
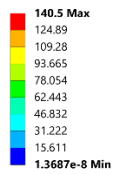
A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
30/06/2025 19.52



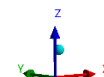
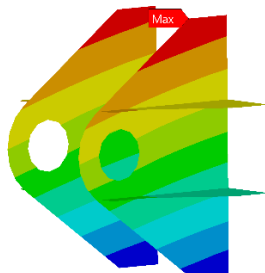
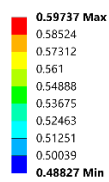
A: Static Structural
TD towing hook foundation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
02/07/2025 14.26



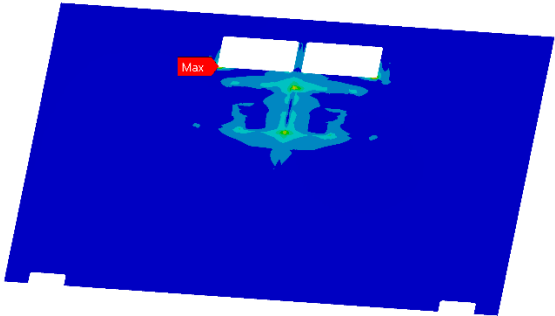
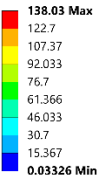
A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
30/06/2025 19.52



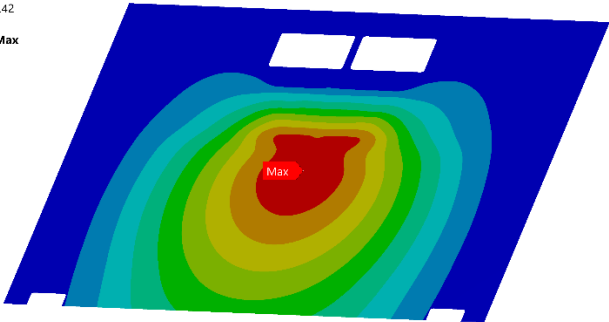
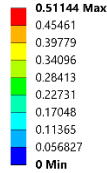
A: Static Structural
TD kupingan
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
02/07/2025 14.26



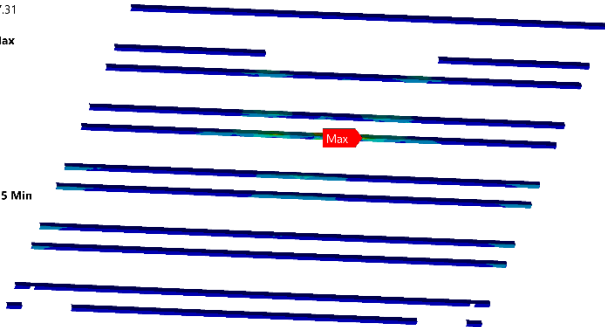
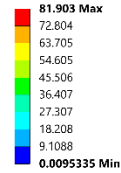
A: Static Structural
ES deck plate
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
03/07/2025 17.21



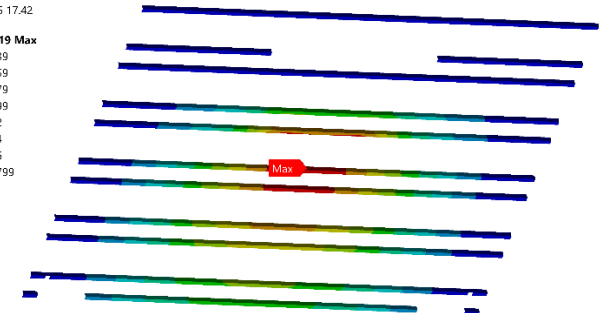
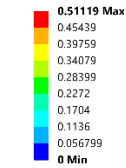
A: Static Structural
TD deck plate
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
03/07/2025 17.42



A: Static Structural
ES deck beam
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
03/07/2025 17.31



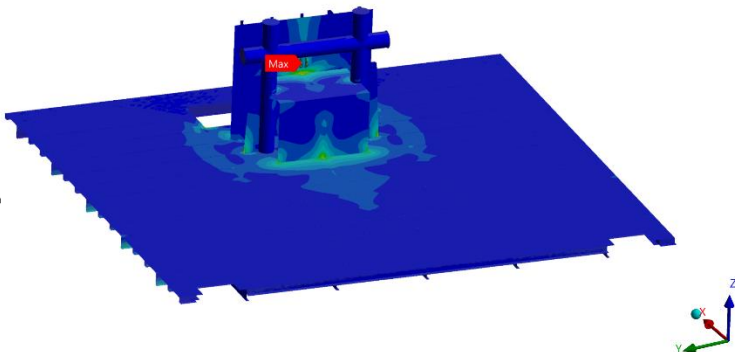
A: Static Structural
TD deck beam
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
03/07/2025 17.42



c. Tebal Kupingan 24 mm

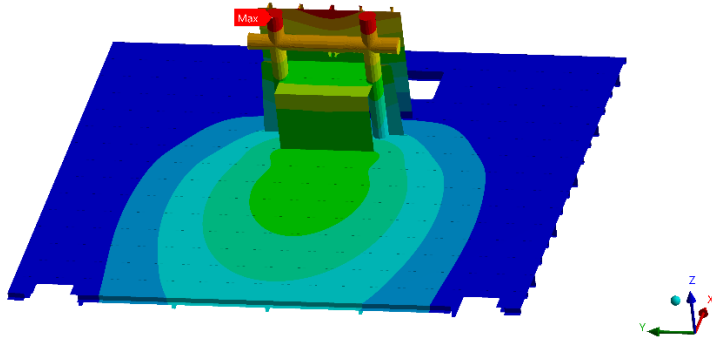
A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
30/06/2025 19:50

136.16 Max
121.03
105.9
90.775
75.645
60.516
45.387
30.258
15.129
1.3631e-8 Min



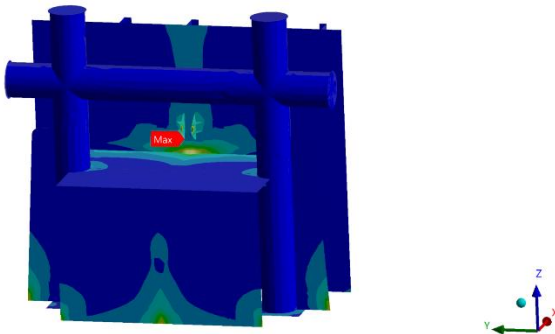
A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
02/07/2025 14:31

0.93478 Max
0.83091
0.72705
0.62319
0.51932
0.41546
0.31159
0.20773
0.10386
0 Min



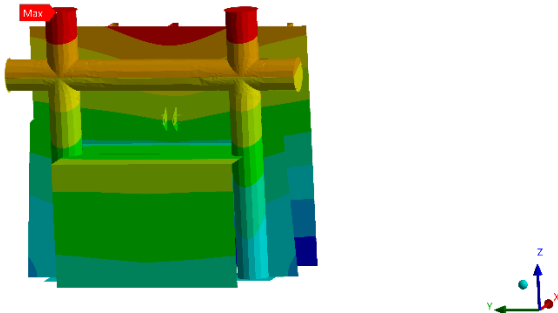
A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
30/06/2025 19:50

136.16 Max
121.03
105.9
90.775
75.645
60.516
45.387
30.258
15.129
1.3631e-8 Min



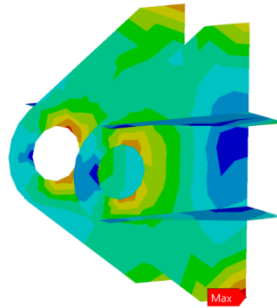
A: Static Structural
TD towing hook fondation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
02/07/2025 14:32

0.93478 Max
0.83425
0.73372
0.63319
0.53266
0.43212
0.33159
0.23106
0.13053
0.030002 Min



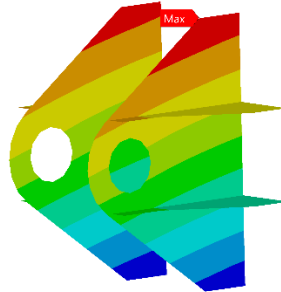
A: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
30/06/2025 19:50

136.16 Max
121.03
105.9
90.775
75.645
60.516
45.387
30.258
15.129
1.3631e-8 Min



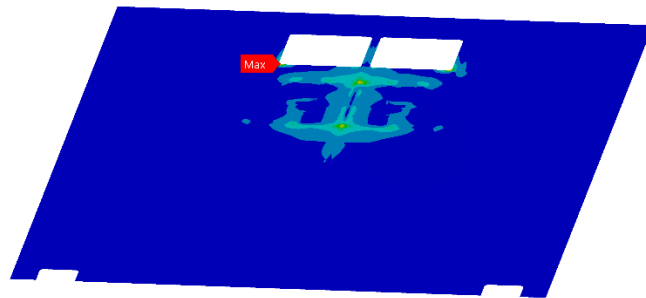
A: Static Structural
TD kupingan
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
02/07/2025 14:31

0.59534 Max
0.58333
0.57131
0.55929
0.54727
0.53525
0.52324
0.51122
0.4992
0.48718 Min



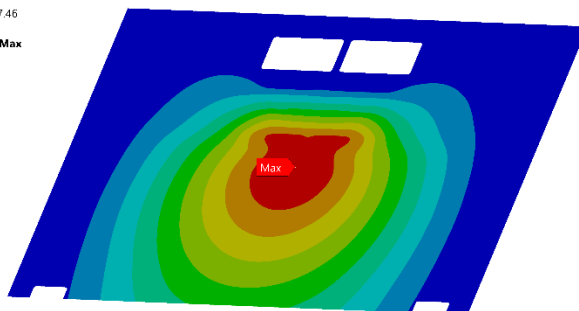
A: Static Structural
ES deck plate
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
02/07/2025 14:29

123.59 Max
109.86
96.134
82.405
68.676
54.946
41.217
27.488
13.759
0.029963 Min



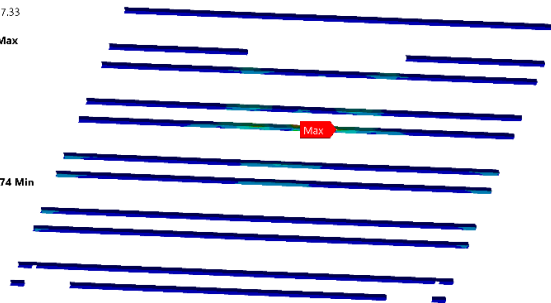
A: Static Structural
TD deck plate
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
03/07/2025 17:46

0.49932 Max
0.44384
0.38836
0.33288
0.2774
0.22192
0.16644
0.11096
0.05548
0 Min



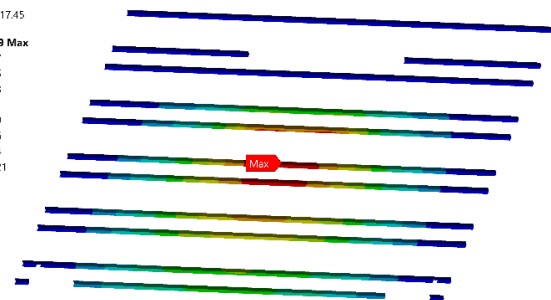
A: Static Structural
 ES deck beam
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 03/07/2025 17:33

78.412 Max
 69.701
 60.989
 52.278
 43.566
 34.855
 26.143
 17.432
 8.72
0.0085074 Min



A: Static Structural
 TD deck beam
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s
 03/07/2025 17:45

0.49879 Max
 0.44337
 0.38795
 0.33253
 0.27711
 0.22169
 0.16626
 0.11084
 0.055421
0 Min

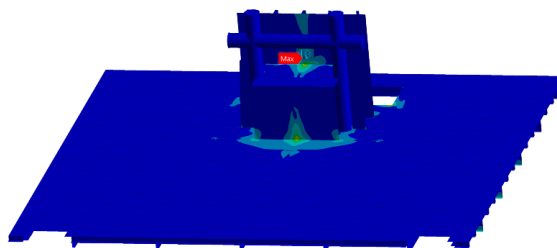


- *Load Case Trim by Bow*

a. Tebal Kupingan 20 mm

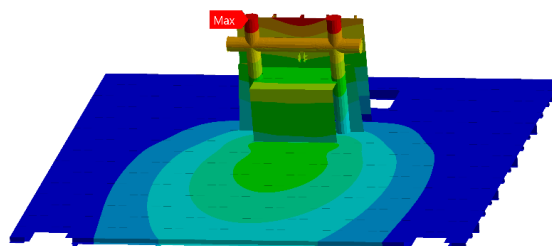
A: Static Structural
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 25/07/2025 13:27

154.92 Max
 137.71
 120.5
 103.28
 86.069
 68.855
 51.642
 34.428
 17.214
1,7586e-9 Min

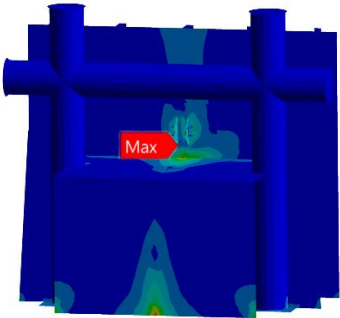
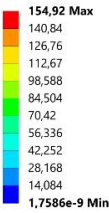


A: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s
 25/07/2025 13:18

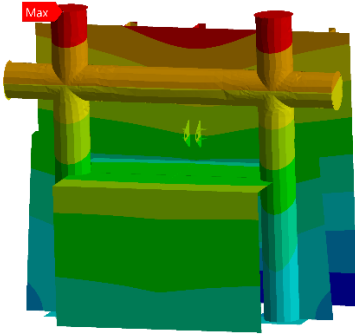
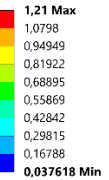
1,21 Max
 1,0756
 0,94113
 0,80668
 0,67224
 0,53779
 0,40334
 0,26889
 0,13445
0 Min



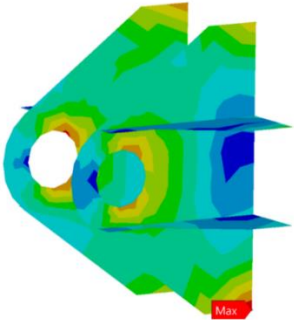
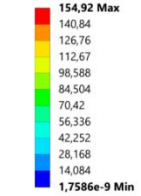
A: Static Structural
ES towing hook fondation
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
25/07/2025 13.28



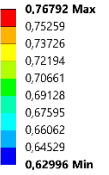
A: Static Structural
TD towing hook fondation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
27/07/2025 16.27



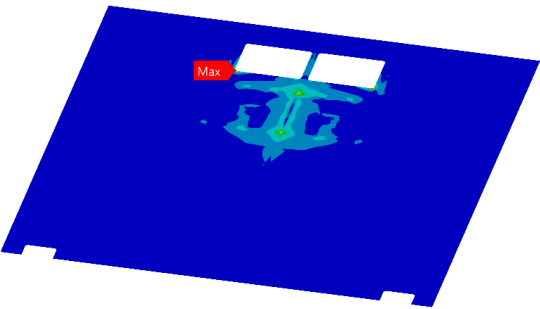
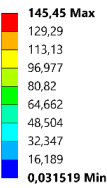
A: Static Structural
ES towing hook fondation
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
25/07/2025 13.28



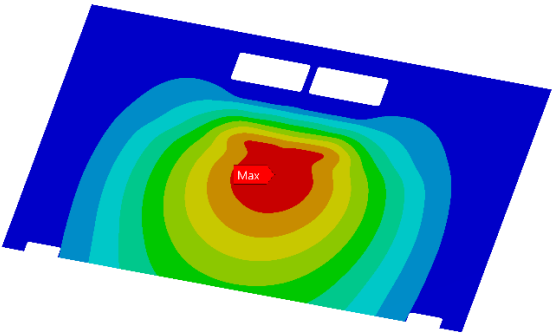
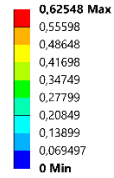
A: Static Structural
TD kupingan
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
27/07/2025 16.45



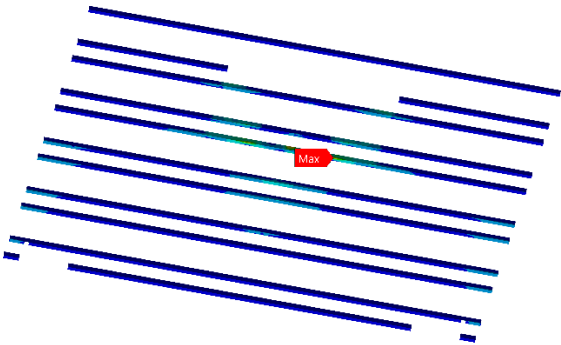
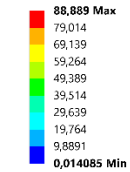
A: Static Structural
ES deck plate
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
25/07/2025 13.29



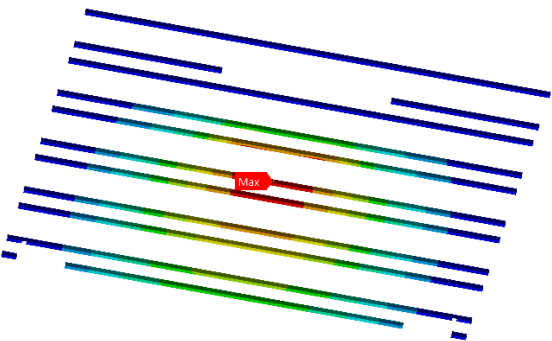
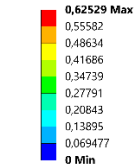
A: Static Structural
TD deck plate
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
27/07/2025 16.58



A: Static Structural
ES deck beam
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
27/07/2025 17.59



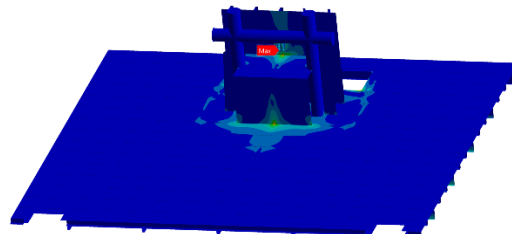
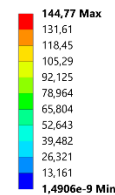
A: Static Structural
TD deck beam
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
27/07/2025 17.12



b. Tebal Kupingan 22 mm

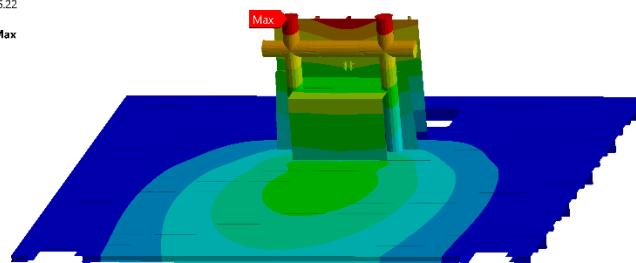
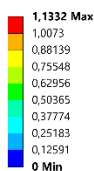
A: Static Structural

Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
25/07/2025 13.36



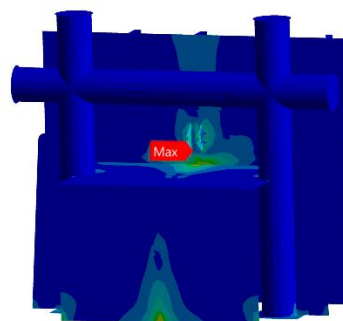
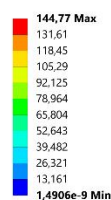
A: Static Structural

Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
27/07/2025 16.22



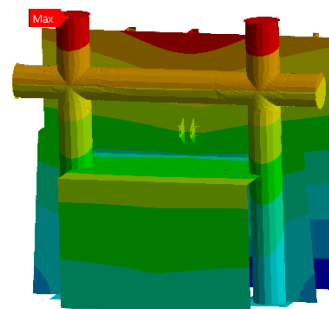
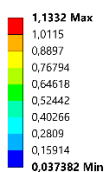
A: Static Structural

ES towing hook fondation
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
25/07/2025 13.37

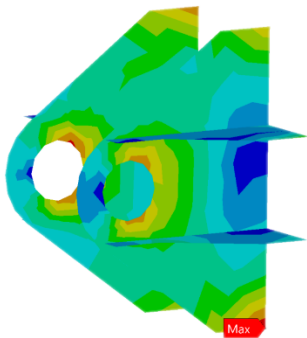
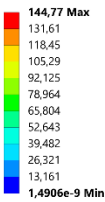


A: Static Structural

TD towing hook fondation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
27/07/2025 16.34

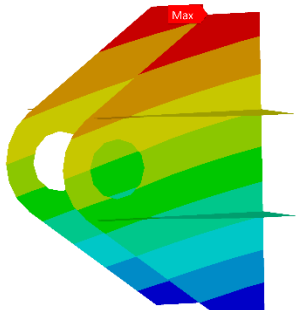
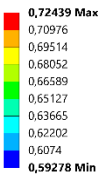


A: Static Structural
ES towing hook fondation
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
25/07/2025 13.37

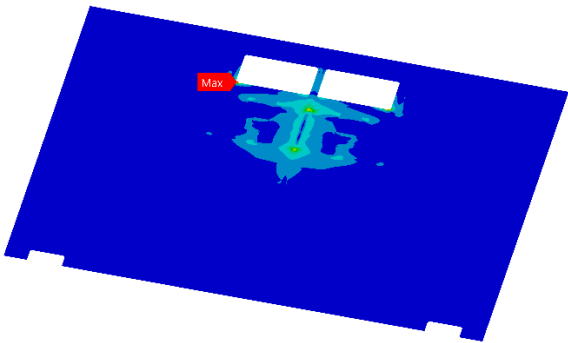
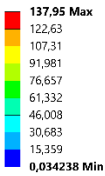


As

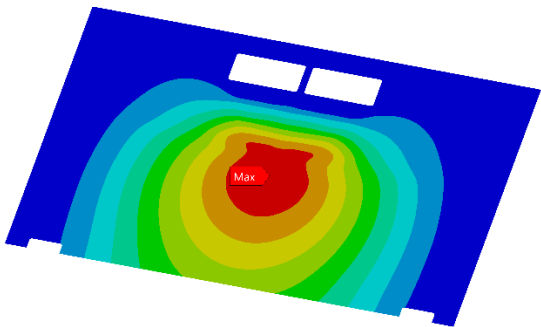
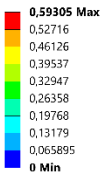
A: Static Structural
TD kupingan
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
27/07/2025 16.50



A: Static Structural
ES deck plate
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
27/07/2025 17.56

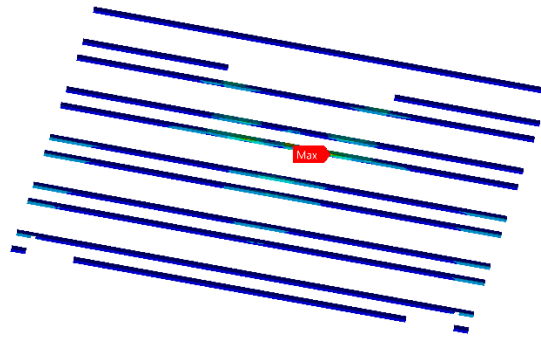


A: Static Structural
TD deck plate
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
27/07/2025 16.59



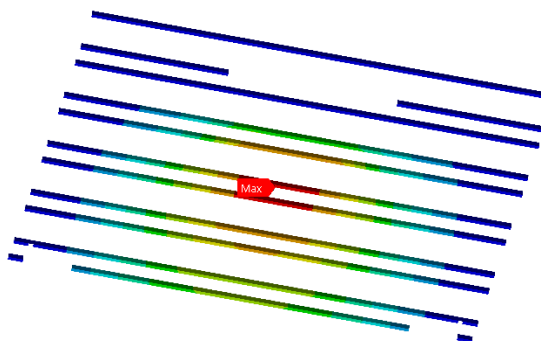
A: Static Structural
 ES deck beam
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 27/07/2025 18.00

80.898 Max
 71,912
 62,925
 53,938
 44,951
 35,965
 26,978
 17,991
 9,0043
0.017603 Min



A: Static Structural
 TD deck beam
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s
 27/07/2025 17.14

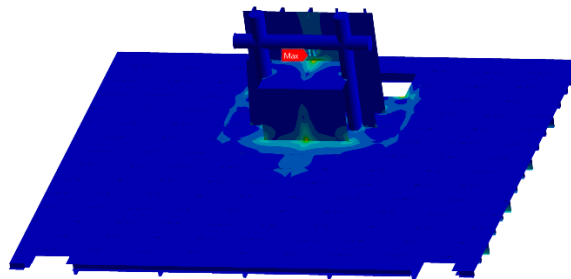
0.59318 Max
 0,52728
 0,46137
 0,39546
 0,32955
 0,26364
 0,19773
 0,13182
 0,065909
0 Min



c. Tebal Kupingan 24 mm

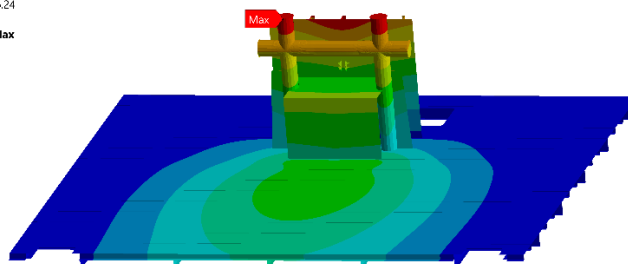
A: Static Structural
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 25/07/2025 13.43

139,22 Max
 128,51
 117,8
 107,09
 96,383
 85,674
 74,965
 64,256
 53,546
 42,837
 32,128
 21,419
 10,709
1,4603e-8 Min

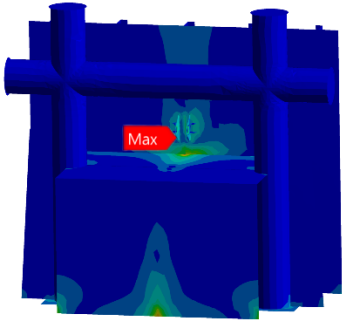
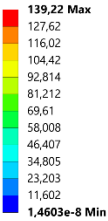


A: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1 s
 27/07/2025 16.24

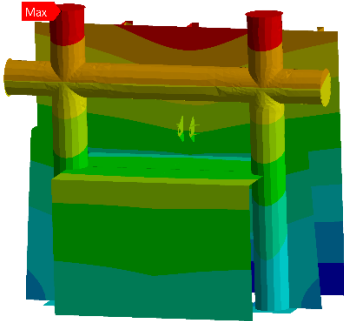
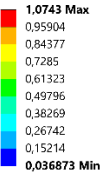
1,0743 Max
 0,95495
 0,83558
 0,71621
 0,59684
 0,47747
 0,3581
 0,23874
 0,11937
0 Min



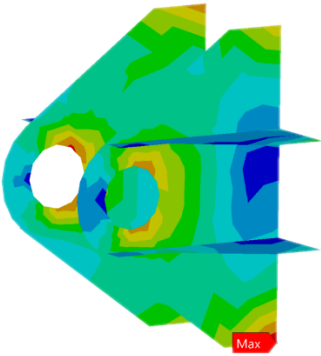
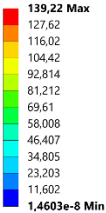
A: Static Structural
ES towing hook fondation
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
25/07/2025 13.45



A: Static Structural
TD towing hook fondation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
27/07/2025 16.41

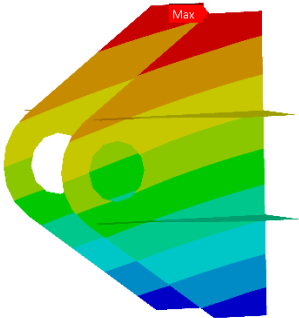
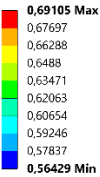


A: Static Structural
ES towing hook fondation
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
25/07/2025 13.45



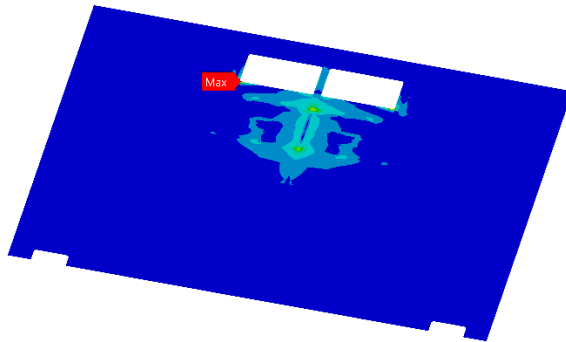
Araps

A: Static Structural
TD kupingan
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
27/07/2025 16.51



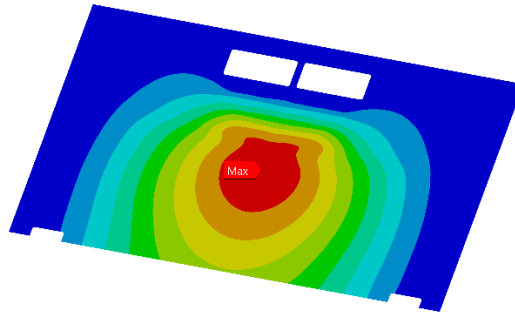
A: Static Structural
ES deck plate
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
27/07/2025 17:56

131,85 Max
117,2
102,55
87,909
73,263
58,618
43,972
29,327
14,681
0,035323 Min



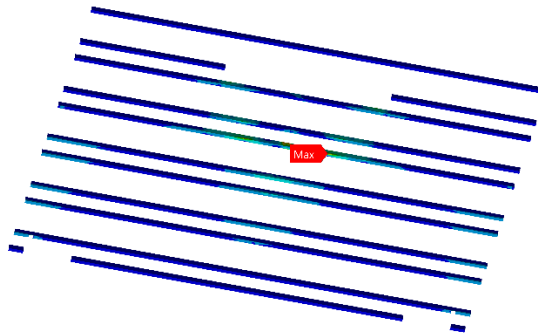
A: Static Structural
TD deck plate
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
27/07/2025 16:59

0,56802 Max
0,5049
0,44179
0,37868
0,31557
0,25245
0,18934
0,12623
0,063113
0 Min



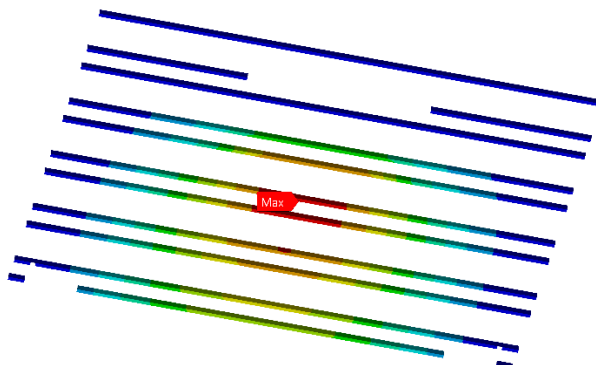
A: Static Structural
ES deck beam
Type: Equivalent (von Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1 s
27/07/2025 18:00

74,837 Max
66,523
58,21
49,897
41,583
33,27
24,957
16,644
8,3303
0,016952 Min



A: Static Structural
TD deck beam
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1 s
27/07/2025 17:15

0,56806 Max
0,50494
0,44182
0,37871
0,31559
0,25247
0,18935
0,12624
0,063118
0 Min



BIODATA PENULIS



Ahmad Fatih Arkan Hanif, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Malang pada 22 Desember 2002 silam, Penulis merupakan anak pertama dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar di TK Aisyah 11 Malang, kemudian melanjutkan ke SDN Purwantoro 8, SMPN 3 Malang, dan SMAN 1 Kepanjen. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2021 melalui jalur SNMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Struktur Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff* Departemen Kajian dan Aksi Strategis BEM FTK ITS 2023/2024 serta Kepala Divisi Agitasi dan Propaganda Departemen Kajian dan Aksi Strategis BEM FTK ITS 2024/2025. Selan itu, Penulis juga pernah menjadi peserta PKM Tingkat ITS.

Penulis tercatat pernah menjadi *grader* untuk mata kuliah Teori Desain Kapal dan Peraturan Statutori.

Email: 5018211012@student.its.ac.id/aarkanhanif@gmail.com