



**TUGAS AKHIR - MN184802**

**OPTIMASI BERAT KONSTRUKSI SEKAT MELINTANG  
KAPAL DENGAN VARIASI PENEGAR SEKAT**

**Alfath Lathiful Ikhwan  
NRP 0411154000057**

**Dosen Pembimbing  
M. Nurul Misbah, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**



**TUGAS AKHIR - MN184802**

**OPTIMASI BERAT KONSTRUKSI SEKAT MELINTANG  
KAPAL DENGAN VARIASI PENEGAR SEKAT**

**Alfath Lathiful Ikhwan  
NRP 0411154000057**

**Dosen Pembimbing  
M. Nurul Misbah, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**



**FINAL PROJECT - MN184802**

**TRANSVERSE SHIP BULKHEAD CONSTRUCTION WEIGHT  
OPTIMIZATION WITH BULKHEAD STIFFENER VARIATION**

**Alfath Lathiful Ikhwan  
NRP 0411154000057**

**Supervisor  
M. Nurul Misbah, S.T., M.T.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2019**

# LEMBAR PENGESAHAN

## OPTIMASI BERAT KONSTRUKSI SEKAT MELINTANG KAPAL DENGAN VARIASI PENEGAR SEKAT

### 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:

**ALFATH LATHIFUL IKHWAN**  
NRP 0411154000057

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



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

Mengetahui,  
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



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

SURABAYA, JULI 2019

# LEMBAR REVISI

## OPTIMASI BERAT KONSTRUKSI SEKAT MELINTANG KAPAL DENGAN VARIASI PENEGAR SEKAT

### TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir  
Tanggal 04 Juli 2019

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

Oleh:

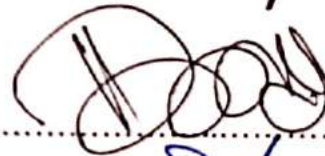
**ALFATH LATHIFUL IKHWAN**  
NRP 0411154000057

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

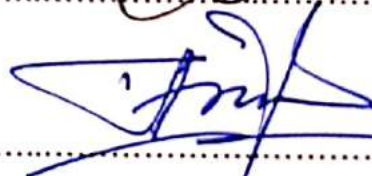
1. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.



2. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.



3. Totok Yulianto, S.T., M.T.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

M. Nurul Misbah, S.T., M.T.



SURABAYA, JULI 2019

## **HALAMAN PERUNTUKAN**

Dipersembahkan untuk kedua orang tua (Ikhwanudin dan Ida Wahyuni) dan adik-adik saya (Adith Septyan Ikhwan dan Haliza Pita Norazlina) yang telah menjadi penyemangat saya setiap saat.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Yang Maha Kuasa, karena atas karunia-Nya Penelitian Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Bapak Misbah selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Kedua orang tua penulis (Ikhwanudin dan Ida Wahyuni) atas dukungan, nasehat dan motivasinya selama pengerjaan penelitian Tugas Akhir;
3. Bapak Totok Yulianto selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas izin pemakaian fasilitas laboratorium;
4. Bapak Langgeng Saika selaku *project manager* di *PT. Batamec Shipyard* yang telah mengizinkan penulis untuk menggunakan data konstruksi dan *general arrangement* kapal tanker PTK untuk keperluan penelitian;
5. Sahabat Gang Makam (Aditya PW, Aditya B, Agam, Ardan, Bagaskoro, Dendy, Fathan, Joni dan Galus) atas dukungan dan bantuannya kepada penulis;
6. Mohamad Irfan Hariyadi atas dukungan dan bantuan kepada penulis selama pengerjaan laporan tugas akhir;
7. Rekan-rekan mahasiswa teknik perkapalan terutama untuk P55 (SAMUDRARAKSA) yang telah membantu memberikan saran dan masukan selama pengerjaan tugas akhir.

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, Juni 2019

Alfath Lathiful Ikhwan

# Optimasi Berat Konstruksi Sekat Melintang Kapal Dengan Variasi Penegar Sekat

Nama Mahasiswa : Alfath Lathiful Ikhwan  
NRP : 0411154000057  
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : M. Nurul Misbah, S.T., M.T.

## ABSTRAK

Sekat merupakan salah satu konstruksi di kapal yang secara umum berfungsi sebagai pemisah antara kompartemen atau ruangan di kapal. Menurut aturan konstruksi standar IACS, ada beberapa sekat yang wajib dipasang pada kapal, seperti sekat tubrukan, sekat kamar mesin, dan sekat buritan (*stern tube*). Dalam mendesain konstruksi sekat yang optimal, haruslah dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan *direct calculation* untuk mengetahui kekuatan struktur sekat tersebut, untuk selanjutnya dapat diputuskan apakah optimasi masih dapat dilakukan dengan mengecilkan ukuran penegar sekat atau merubah susunan struktur sekat tersebut. Apabila konstruksi sekat optimal, maka berat sekat menjadi minimum, sehingga akan menurunkan biaya produksi juga. Hal ini dapat menguntungkan terutama bagi industri galangan kapal. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan optimasi berat konstruksi sekat melintang.

Metode optimasi yang digunakan adalah “*optimization by design trial and error*”, yaitu dengan menentukan variasi dan batasan optimasi dari pertimbangan desainer sendiri. Dalam penentuan variasi dan batasan tersebut, akan berpedoman pada ilmu di bidang teknik perkapalan. Dan untuk *direct calculation* dalam proses optimasi, akan menggunakan metode elemen hingga (FEM) dibantu *software*.

Dari hasil penelitian optimasi sekat melintang, didapatkan bahwa variasi struktur sekat melintang yang paling ringan adalah sekat dengan variasi jarak penegar 600 mm, 1 penumpu horizontal, dengan ukuran profil desain *custom*, yaitu seberat 9045,4 kg, dengan tegangan maksimum yang terjadi sebesar 174,6 MPa dan berat yang lebih ringan sebesar 1,47% (134,7 kg) dari konstruksi sekat melintang data asli. Adapun sekat tersebut menggunakan profil *bulb* yang dapat menurunkan berat konstruksi sekat hingga 3,26% lebih ringan jika dibandingkan profil *unequal legs angles* dan 5,96% jika dibandingkan profil *equal legs angles* dengan susunan struktur konstruksi sekat yang sama.

**Kata kunci:** metode elemen hingga, optimasi, pelat berpenegar, sekat, tegangan.



# **TRANSVERSE SHIP BULKHEAD CONSTRUCTION WEIGHT OPTIMIZATION WITH BULKHEAD STIFFENER VARIATION**

Author : Alfath Lathiful Ikhwan  
Student Number : 0411154000057  
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology  
Supervisor : M. Nurul Misbah, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

Bulkhead is one of the constructions on a ship that is mainly function as a separator between compartments of a ship. According to the IACS standard construction rules, there are several watertight bulkheads that must be installed on the ship, such as collision bulkhead, engine room bulkhead and stern tube bulkhead. Designing an optimal bulkhead construction, requires further analysis using direct calculations to determine the strength of the bulkhead structure, so, it can be decided whether optimization can still be done by reducing the size of bulkhead stiffener or alternate the design of the bulkhead structure. If the bulkhead construction is optimal, then the weight becomes minimum, so that it will reduce production costs as well. This can be beneficial for the shipyard industry. Therefore, this research will examine and optimize the weight of transverse bulkhead construction.

The optimization method used is the “optimization by design trial and error”, namely by determining the variation and limiting the optimization from the consideration of the designer himself. In determining the variations and limitations, naval architecture disciplines will be used for consideration. And for direct calculation in the optimization process, finite element method (FEM) using software will be used.

From the results of the study of the optimization of transverse bulkhead, the lightest bulkhead weight is obtained for model with variation 600 mm stiffener spacing, 1 horizontal girder, with a custom design profile dimension, which weighed 9045,4 kg, with a maximum equivalent stress of 174,6 MPa, and it is 1,47% (134,7 kg) lighter than the original bulkhead design data. This bulkhead construction uses a bulb profile that can reduce construction weight by 3.26% lighter when compared to the unequal legs angles profile and 5.96% when compared to the equal legs angles profile with the same bulkhead structure arrangement.

**Keywords:** finite element method, optimization, stiffened plate, bulkhead, stress.

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR SIMBOL .....	xiv
Bab I PENDAHULUAN .....	1
I.1. Latar Belakang Masalah .....	1
I.2. Perumusan Masalah .....	1
I.3. Tujuan .....	2
I.4. Batasan Masalah .....	2
I.5. Manfaat .....	3
I.6. Hipotesis .....	3
Bab II STUDI LITERATUR .....	5
II.1. Dasar Teori .....	5
II.1.1. Sekat Kapal ( <i>Bulkhead</i> ).....	5
II.1.2. Optimasi .....	6
II.1.3. Tegangan ( <i>Stress</i> ) .....	7
II.1.4. Regangan ( <i>Strain</i> ).....	11
II.1.5. Modulus Young .....	11
II.1.6. Tekanan Statis Tangki ( <i>Static Tank Pressure</i> ) .....	11
II.1.7. <i>Bulkhead Scantlings</i> .....	12
II.1.8. Profil Penegar ( <i>Stiffener Profile Section</i> ) .....	15
II.1.9. Modulus Penampang ( <i>Section Modulus</i> ).....	16
II.1.10. Lebar Efektif ( <i>Effective Breadth</i> ) .....	16
II.1.11. Sifat Mekanik Bahan ( <i>Material Mechanical Properties</i> ).....	19
II.1.12. Metode Elemen Hingga ( <i>Finite Element Method</i> ) .....	20
II.2. Tinjauan Pustaka.....	22
II.2.1. Optimasi Berat Struktur Sekat Kapal .....	22
II.2.2. Analisis Kekuatan Struktur Kapal .....	22
Bab III METODOLOGI.....	25
III.1. Metode .....	25
III.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah .....	25
III.3. Studi Literatur .....	25
III.4. Pengumpulan Data.....	25
III.5. Perhitungan <i>Bulkhead Scantlings</i> .....	27
III.5.1. Perhitungan Tebal Pelat.....	27
III.5.2. Perhitungan Modulus Penegar Vertikal.....	28
III.5.3. Perhitungan Modulus Penegar Horizontal.....	29

III.6. Desain Dimensi Penegar.....	30
III.7. Perhitungan Beban Statis Tangki.....	31
III.8. Permodelan Finite Element Analysis.....	33
III.8.1. Pembuatan Geometri .....	33
III.8.2. <i>Input Material Engineering Data</i> .....	35
III.8.3. Meshing .....	35
III.8.4. Input Pembebanan (Load) .....	38
III.8.5. Input Kondisi Batas ( <i>Boundary Condition</i> ).....	39
III.8.6. Hasil <i>Post Processor (Post Processor Result)</i> .....	39
III.8.7. Studi Konvergensi <i>Mesh (Studi konvergensi mesh)</i> .....	40
III.9. Optimasi Desain Sekat Melintang.....	41
III.10. Menghitung Berat Struktur Sekat .....	42
III.11. Analisa dan Pembahasan .....	42
III.12. Penarikan Kesimpulan.....	42
III.13. Bagan Alir.....	43
Bab IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	45
IV.1. Perhitungan <i>load</i> (tekanan statis tangki).....	45
IV.2. Kasus 1 (Perbandingan Jenis Profil Penegar).....	46
IV.2.1. Mendesain Profil Penegar.....	46
IV.2.2. Mendesain Geometri Model .....	53
IV.2.3. <i>Studi konvergensi mesh</i> Pada Model Sekat Jarak Penegar 600 mm.....	54
IV.2.4. Analisis Tegangan Dengan FEA .....	56
IV.2.5. Analisis Kriteria Kegagalan dan Berat Minimum .....	58
IV.3. Kasus 2 (Optimasi Sekat Melintang Jenis Profil Bulb).....	58
IV.3.1. Menghitung Modulus Minimum Penegar dan Penumpu Sekat.....	59
IV.3.2. Mendesain Profil Penumpu dan Penegar Tahap Awal (Sebelum Optimasi).....	60
IV.3.3. Mendesain Geometri Model .....	62
IV.3.4. Studi konvergensi mesh Pada Model Jarak 650, 700, 750 dan 800 mm. ....	63
IV.3.5. Optimasi Modulus Penegar Vertikal Dengan Direct Calculation FEM .....	66
IV.3.6. Pembahasan Hasil Tegangan Dengan FEM .....	67
IV.3.7. Rekapitulasi dan Pembahasan Berat Konstruksi Sekat .....	75
Bab V KESIMPULAN DAN SARAN.....	81
V.1. Kesimpulan.....	81
V.2. Saran .....	81
DAFTAR PUSTAKA.....	83
LAMPIRAN	
LAMPIRAN A GAMBAR RENCANA UMUM KAPAL	
LAMPIRAN B GAMBAR KONSTRUKSI SEKAT MELINTANG	
LAMPIRAN C PERHITUNGAN BULKHEAD SCANTLINGS	
LAMPIRAN D KATALOG PROFIL	
LAMPIRAN E PERHITUNGAN DESAIN MODULUS PROFIL	
LAMPIRAN F HASIL ANALISIS TEGANGAN DENGAN FEM	
LAMPIRAN G REKAPITULASI BERAT KONSTRUKSI SEKAT	
BIODATA PENULIS	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Sekat Melintang Kapal Tanker 6500 LTDW .....	6
Gambar II.2 Proses <i>Iterative Optimization by Trial and Error</i> .....	7
Gambar II.3 <i>Pressure-Heads</i> Dan Jarak Untuk Perhitungan Beban Statis Tangki .....	12
Gambar II.4 T-Bar/T-Profile Bar .....	15
Gambar II.5 <i>Bulb Profile/Bulb Plate</i> .....	15
Gambar II.6 <i>Angle Bar</i> .....	15
Gambar II.7 Balok Dengan Beban Momen Fungsi Sinus .....	17
Gambar II.8 Balok Dengan Beban Momen Fungsi Cosinus .....	17
Gambar II.9 Balok Dengan Beban Gaya Terpusat .....	18
Gambar II.10 Arah Pembebanan Pada Pelat Dan Diagram Persebaran Tegangan .....	18
Gambar II.11 Geometri Elemen SHELL .....	21
Gambar II.12 Geometri Elemen BEAM .....	22
Gambar III.1 <i>General Arrangement Oil Tanker 6500 LTDW</i> .....	26
Gambar III.2 Gambar Potongan Melintang Sekat Kapal Tanker 6500 LTDW .....	27
Gambar III.3 Dimensi T-Profile .....	31
Gambar III.4 Diagram Beban Statis Tangki .....	32
Gambar III.5 Desain 2D Sekat Melintang .....	33
Gambar III.6 Desain Profil <i>Beam</i> .....	34
Gambar III.7 Desain Dengan <i>View Cross Section Solids</i> .....	34
Gambar III.8 Garis Hijau Tanda Joint Sambungan .....	35
Gambar III.9 <i>Material Properties Standard Steel</i> .....	35
Gambar III.10 Solution Information Menampilkan Tipe Elemen Yang Digunakan .....	36
Gambar III.11 Hasil Meshing Pada Model Asli Sekat Melintang .....	37
Gambar III.12 Pengecekan Nilai <i>Aspect Ratio</i> .....	37
Gambar III.13 Diagram Pembebanan Fungsi Tinggi (Sumbu Y) .....	38
Gambar III.14 Persebaran Beban Tekanan Statis Tangki .....	38
Gambar III.15 Kondisi Batas <i>Fixed Support</i> Di Ujung Sekat .....	39
Gambar III.16 Hasil Akhir Tegangan Ekvivalen Von-Mises .....	40
Gambar III.17 Konvergensi mesh Pada Model Dengan Jarak Penegar 600 mm .....	41
Gambar III.18 Geometri <i>Properties</i> Pada Model .....	42
Gambar IV.1 Persebaran Beban Statis Tangki Berbentuk Trapesium .....	46
Gambar IV.2 Dimensi Bulb Profile .....	46
Gambar IV.3 Pembagian Bentuk Penampang Pada Profil Bulb .....	47
Gambar IV.4 Dimensi <i>Unequal Legs Angles Profile</i> .....	49
Gambar IV.5 Dimensi <i>Equal Legs Angles Profile</i> .....	50
Gambar IV.6 <i>Dimensi T-Profile</i> .....	51
Gambar IV.7 Geometri Sekat Melintang Untuk Kasus 1 .....	53
Gambar IV.8 Hasil Pendefinisian Profil Penegar Pada Model Sekat Melintang .....	54
Gambar IV.9 Diagram Konvergensi <i>Mesh</i> Model Jarak 600 mm .....	55
Gambar IV.10 <i>Equivalent Stress</i> Pada Model Dengan Jenis Profil <i>Bulb Profile</i> (HP) .....	56
Gambar IV.11 <i>Equivalent Stress</i> Pada Model Dengan Jenis Profil <i>Unequal Angles Bar</i> (UAB) .....	57
Gambar IV.12 <i>Equivalent Stress</i> Pada Model Dengan Jenis Profil <i>Equal Angles Bar</i> (EAB) .....	57

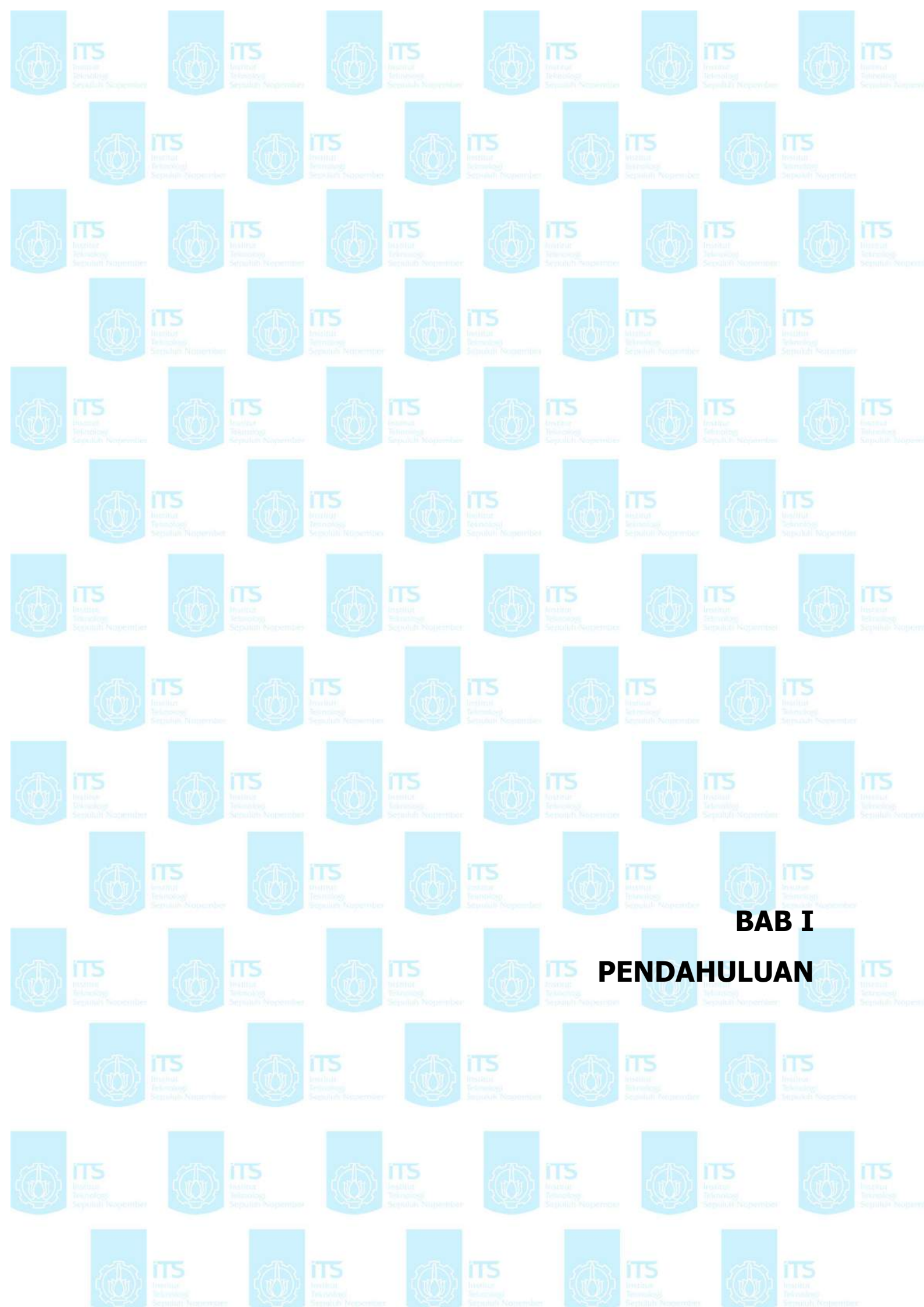
Gambar IV.13 Diagram Konvergensi <i>Mesh</i> Model Jarak Penegar 650 mm.....	63
Gambar IV.14 Diagram Konvergensi <i>Mesh</i> Model Jarak Penegar 700 mm.....	64
Gambar IV.15 Diagram Konvergensi <i>Mesh</i> Model Jarak Penegar 750 mm.....	65
Gambar IV.16 Diagram Konvergensi <i>Mesh</i> Model Jarak Penegar 800 mm.....	65
Gambar IV.17 (a) <i>Equivalent Stress</i> Pada Model 1.1, (b) <i>Equivalent Stress</i> Pada Model 1.2.	67
Gambar IV.18 (a) <i>Equivalent Stress</i> Pada Model 2.1, (b) <i>Equivalent Stress</i> Pada Model 2.2.	68
Gambar IV.19 (a) <i>Equivalent Stress</i> Pada Model 3.1, (b) <i>Equivalent Stress</i> Pada Model 3.2.	69
Gambar IV.20 (a) <i>Equivalent Stress</i> Pada Model 4.1, (b) <i>Equivalent Stress</i> Pada Model 4.2.	69
Gambar IV.21 (a) <i>Equivalent Stress</i> Pada Model 5.1, (b) <i>Equivalent Stress</i> Pada Model 5.2.	70
Gambar IV.22 (a) <i>Equivalent Stress</i> Pada Model 6.1, (b) <i>Equivalent Stress</i> Pada Model 6.2.	71
Gambar IV.23 (a) <i>Equivalent Stress</i> Pada Model 7.1, (b) <i>Equivalent Stress</i> Pada Model 7.2.	72
Gambar IV.24 (a) <i>Equivalent Stress</i> Pada Model 8.1, (b) <i>Equivalent Stress</i> Pada Model 8.2.	72
Gambar IV.25 (a) <i>Equivalent Stress</i> Pada Model 9.1, (b) <i>Equivalent Stress</i> Pada Model 9.2.	73
Gambar IV.26 (a) <i>Equivalent Stress</i> Pada Model 10.1, (b) <i>Equivalent Stress</i> Pada Model 10.2 .....	74
Gambar IV.27 Model Tidak Memenuhi Kriteria Tegangan Izin Kelas .....	75
Gambar IV.28 Grafik Berat Sekat Untuk Model 1.1 – 5.1.....	76
Gambar IV.29 Grafik Berat Sekat Untuk Model 6.1 – 10.1.....	77
Gambar IV.30 Grafik Berat Sekat Untuk Model 1.2 – 5.2.....	78
Gambar IV.31 Grafik Berat Sekat Untuk Model 6.2 – 10.2.....	78

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Tebal Minimum .....	13
Tabel II.2 Nilai dari $C_3$ .....	14
Tabel II.3 Tabel Perhitungan Momen Inersia.....	16
Tabel III.1 Ukuran Utama Kapal .....	26
Tabel III.2 Perhitungan Tebal Pelat Minimum.....	28
Tabel III.3 Perhitungan Modulus Minimum Penegar Vertikal.....	29
Tabel III.4 Perhitungan Modulus Minimum Penegar Horizontal.....	29
Tabel III.5 Perhitungan Modulus T-Profile .....	30
Tabel III.6 Perhitungan Modulus Dengan Pelat Pengikut.....	31
Tabel III.7 Tabel Perhitungan Pembebanan Tekanan Statis Tangki .....	32
Tabel IV.1 Perhitungan <i>load</i> (tekanan statis tangki) .....	45
Tabel IV.2 Dimensi Profil Bulb .....	47
Tabel IV.3 Tabulasi Perhitungan Inersia Dan Modulus Penampang <i>Bulb Profile</i> .....	48
Tabel IV.4 Perhitungan Modulus <i>Unequal Legs Angles Profile</i> .....	49
Tabel IV.5 Perhitungan Modulus <i>Equal Legs Angles Profile</i> .....	51
Tabel IV.6 Perhitungan Momen Inersia Dan Modulus Penampang <i>T-Profile</i> .....	52
Tabel IV.7 Perhitungan Modulus Penampang Profil T Dengan Pelat Pengikut .....	52
Tabel IV.8 Hasil Studi Konvergensi <i>Mesh</i> Untuk Model Jarak 600 mm.....	55
Tabel IV.9 Perhitungan Modulus Minimum Penegar Vertikal Sekat Dengan Rumus Kelas... 59	59
Tabel IV.10 Rekapitulasi Modulus Minimum Penegar Vertikal.....	59
Tabel IV.11 Perhitungan Modulus Minimum Penumpu Horizontal Sekat Dengan Rumus Kelas .....	60
Tabel IV.12 Rekapitulasi Modulus Minimum Penegar Horizontal.....	60
Tabel IV.13 Perhitungan Modulus Penegar Vertikal Dengan Pelat Pengikut.....	61
Tabel IV.14 Desain Penegar Vertikal Ukuran Awal Sebelum Optimasi .....	61
Tabel IV.15 Perhitungan Modulus Penumpu Horizontal Dengan Pelat Pengikut .....	62
Tabel IV.16 Desain Ukuran Profil Penumpu Horizontal .....	62
Tabel IV.17 Hasil Optimasi Modulus Penegar Vertikal Sekat.....	66
Tabel IV.18 Rekapitulasi Berat Konstruksi Model Sekat .....	75

## DAFTAR SIMBOL

$\rho$	=	Massa jenis material ( $\text{kg.m}^{-3}$ )
$\sigma$	=	Tegangan (MPa)
$\varepsilon$	=	Regangan (m)
E	=	Modulus Young (MPa)
$\sigma_{\text{vm}}$	=	Tegangan Von-Mises (MPa)
$\sigma_{\text{izin}}$	=	Tegangan izin dari aturan kelas [ClassNK] (MPa)
$\sigma_y$	=	Tegangan <i>yield</i> (MPa)
Z	=	Section Modulus ( $\text{cm}^3$ )



## **BAB I**

# **PENDAHULUAN**



# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang Masalah

Dalam proses mendesain kapal, seorang desainer kapal harus mampu mendesain kapal sesuai apa yang dibutuhkan oleh *owner* dan juga nantinya desain tersebut haruslah memenuhi peraturan konstruksi badan klasifikasi dan peraturan statutori oleh IMO (*International Maritime Organization*) yang menyangkut keselamatan dan keamanan kapal, kargo serta penumpang. Dalam mendesain konstruksi suatu kapal, seorang desainer kapal juga harus mempertimbangkan banyak hal, seperti memastikan agar desain konstruksi yang digunakan memenuhi standar kekuatan konstruksi yang disyaratkan kelas, memastikan agar tidak terjadi *overdesign* pada struktur (desain yang terlalu kuat dan berlebihan pada kapal) dan juga harus mempertimbangkan kemudahan proses produksi komponen kapal tersebut agar harga produksi tetap ekonomis.

*Overdesign* dihindari dalam mendesain kapal, karena hal ini membuat kapal menjadi lebih berat dan ini menyebabkan kapal menjadi tidak efisien lagi baik dari segi teknis maupun ekonomis. Begitu pula dalam mendesain konstruksi sekat melintang kapal (*transverse watertight bulkhead*), haruslah dibuat seoptimal mungkin. Sekat melintang kapal selain berfungsi sebagai tembok pemisah yang kedap air pada kapal, juga berfungsi untuk menambah kekuatan konstruksi kapal. Oleh karena itu dalam proses optimasi desain struktur sekat, haruslah dianalisa dengan lebih dalam dan menyeluruh lagi tentang persebaran tegangan dan keterkaitannya dengan berat konstruksinya. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan coba dilakukan analisis kekuatan konstruksi pada sekat melintang pada kapal tanker 6500 LTDW (*Long Tonnage Dead Weight*) untuk mendapatkan berat konstruksi yang paling minimum dengan mempertimbangkan aspek tegangan izin dari aturan kelas.

### I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka permasalahan yang akan diselesaikan antara lain:

1. Jenis profil penegar apa yang memiliki berat paling optimum (minimum) untuk digunakan pada konstruksi sekat melintang kapal?

2. Bagaimana mendapatkan desain konstruksi sekat dengan berat konstruksi paling optimum (minimum) dengan variasi jarak penegar sekat, jumlah penumpu sekat, jenis profil penegar dan cara mendapatkan ukuran penegar (menentukan ukuran dengan perhitungan manual (desain *custom*) dan menentukan ukuran berdasarkan katalog profil di pasaran) dengan mempertimbangkan aspek tegangan izin?

### **I.3. Tujuan**

Berdasarkan perumusan masalah yang telah dipaparkan, maka tujuan dari Tugas Akhir antara lain:

1. Untuk mendapatkan jenis profil penegar yang memiliki berat paling optimum (minimum) untuk digunakan pada konstruksi sekat melintang kapal.
2. Untuk mendapatkan desain konstruksi sekat dengan berat konstruksi paling optimum (minimum) dengan variasi jarak penegar sekat, jumlah penumpu sekat, jenis profil penegar dan cara mendapatkan ukuran penegar (menentukan ukuran dengan perhitungan manual (desain *custom*) dan menentukan ukuran berdasarkan katalog profil di pasaran) dengan mempertimbangkan aspek tegangan izin.

### **I.4. Batasan Masalah**

Agar penyusunan tugas akhir ini dapat lebih terarah, maka diberikan batasan-batasan masalah pada beberapa hal sebagai berikut:

1. Analisa persebaran tegangan hanya dilakukan pada sekat melintang ruang muat kapal menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan software.
2. Metode optimasi yang digunakan adalah "*optimization by design trial and error*"
3. Optimasi dilakukan dengan fungsi objektif untuk mendapatkan berat konstruksi minimum dengan variabel-variabel berupa jarak penegar sekat, jumlah penumpu sekat dan ukuran serta jenis profil yang digunakan dengan batasan aspek tegangan izin menurut peraturan kelas (ClassNK).
4. Variasi jenis profil penegar yang digunakan adalah Profil *Bulb*, *Equal Legs Angle Bar* dan *Unequal Legs Angle Bar*.
5. Variasi jarak penegar sekat yang digunakan yaitu 600 mm, 650 mm, 700 mm, 750 mm dan 800 mm.

6. Permodelan dilakukan dengan menggunakan model 2 dimensi, dan *bracket* pada ujung-ujung penegar tidak dimodelkan dalam penelitian.
7. Analisis tegangan yang dilakukan pada kedua kasus hanya difokuskan pada sekat melintangnya saja tanpa memperhitungkan koneksi antara penegar sekat dengan pembujur geladak maupun pembujur alas dalam.
8. Pada proses optimasi, sekat melintang kapal dianggap akan diaplikasikan untuk kapal dengan sistem konstruksi melintang, sehingga variasi jarak penegar sekat dapat diaplikasikan tanpa merubah jarak gading (*frame jarak*) kapal.

### **I.5. Manfaat**

Adapun manfaat yang didapat setelah menyelesaikan tugas akhir, antara lain:

1. Mengetahui desain konstruksi sekat melintang ruang muat kapal yang memiliki berat konstruksi minimum dan memenuhi tegangan izin.
2. Mengetahui jenis profil penegar sekat yang memiliki berat konstruksi minimum dan memenuhi tegangan izin.
3. Mengetahui hubungan variasi jarak penegar sekat, jumlah penegar dan penumpu sekat, jenis profil penegar dan cara mendapatkan ukuran penegar (menentukan ukuran dengan perhitungan manual (desain *custom*) dan menentukan ukuran berdasarkan katalog profil di pasaran) dengan kekuatan dan berat konstruksi.
4. Data yang dihasilkan dapat digunakan sebagai acuan dalam mendesain sekat melintang ruang muat.

### **I.6. Hipotesis**

Adapun hipotesis awal penulis pada penelitian berdasarkan masalah yang telah dijabarkan antara lain:

1. Jenis profil penegar yang memiliki berat paling minimum untuk digunakan dalam konstruksi sekat melintang kapal adalah jenis profil *bulb*.
2. Desain konstruksi sekat ruang muat kapal yang memiliki berat konstruksi paling optimum (minimum) yang memenuhi tegangan izin adalah desain sekat melintang dengan ukuran penegar desain dengan menggunakan jarak penegar sekat 600 mm dengan 2 buah penumpu horizontal sekat.

Halaman ini sengaja dikosongkan

The background of the page is a repeating pattern of the ITS logo. Each logo consists of a circular emblem with a stylized figure inside, followed by the text 'ITS' in a bold, sans-serif font, and 'Institut Teknologi Sepuluh Nopember' in a smaller font below it. The logos are arranged in a grid-like pattern across the entire page.

## BAB II

# STUDI LITERATUR

## **BAB II**

### **STUDI LITERATUR**

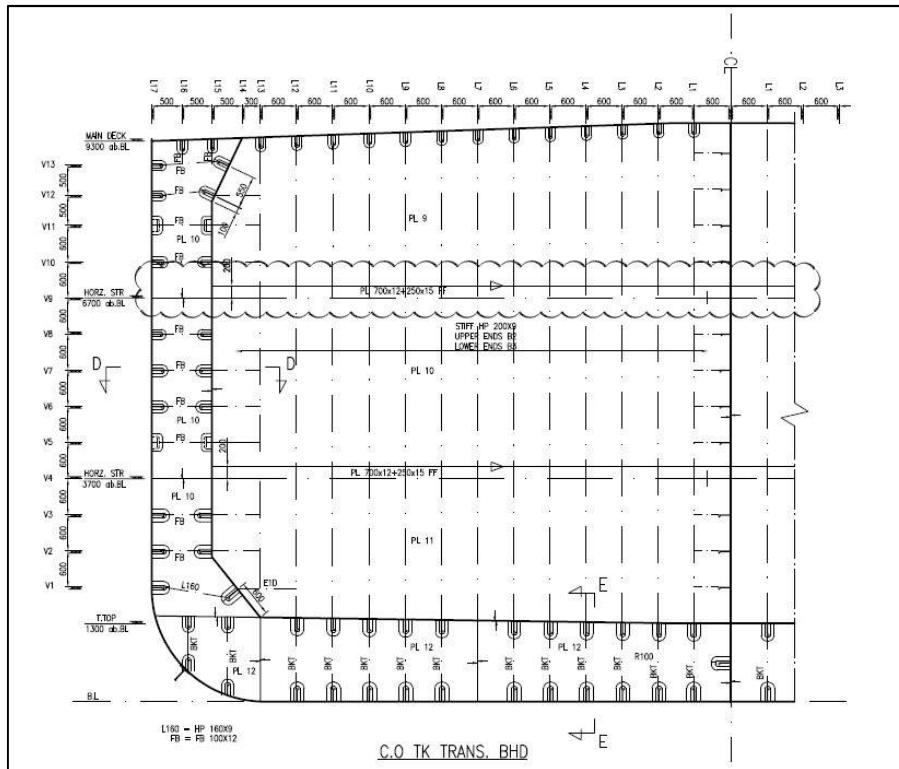
#### **II.1. Dasar Teori**

Pada penelitian ini, dasar teori yang digunakan adalah optimasi desain struktur sekat melintang kapal dengan mendesain ulang penegar sekat yaitu dengan mengecilkan modulusnya dengan mengacu kepada toleransi standar EN 10067. Kemudian akan dilakukan analisis kegagalan pada desain sekat tersebut, menggunakan metode FEM (*Finite Element Method*) dengan kriteria kegagalan *von-mises stress* sesuai yang disyaratkan oleh *rules ClassNK*. Detail seluruh dasar teori yang digunakan dalam penelitian akan dijabarkan pada SubBab dibawah ini.

##### **II.1.1. Sekat Kapal (*Bulkhead*)**

Sekat pada kapal berdasarkan posisinya dapat dibagi menjadi 2, yaitu sekat memanjang (*longitudinal bulkhead*) dan sekat melintang (*transverse bulkhead*). Sekat kapal memiliki 3 fungsi utama, yaitu membagi badan kapal menjadi ruangan-ruangan yang kedap air, menambah kekuatan melintang kapal, dan mencegah menjalarnya api saat terjadi kebakaran. Jika ditinjau dari fungsinya, sekat melintang kapal dapat dibagi menjadi beberapa golongan, yaitu sekat kedap air, sekat kedap minyak, sekat untuk keperluan akomodasi, dan sekat berlubang (*swash bulkhead*) untuk mengatasi *sloshing* dan *free surface effect* muatannya (Ardianus, Sujiatanti, & Setyawan, 2018).

Aturan mengenai jumlah sekat melintang terdapat pada peraturan konstruksi klasifikasi yaitu ClassNK. Seluruh kapal wajib memiliki *collision bulkhead*, *stern tube bulkhead*, *engine room bulkhead* pada bagian depan dan belakang kamar mesin. Untuk kapal yang kamar mesinnya terletak di aft, *stern tube bulkhead* boleh digunakan untuk menggantikan sekat belakang kamar mesin. Sekat melintang pada umumnya dibuat dari beberapa lajur pelat yang disusun secara mendatar sampai geladak seperti yang dapat dilihat pada Gambar II.1. Penegarinya ada 2 tipe, yaitu penegar vertikal dan penegar horizontal. Ujung penegar sekat dapat diikat dengan pelat lutut (*bracketed end connection*), dengan pengelasan langsung pada geladak dan *double bottom*, ataupun membiarkan penegar tanpa pengikatan (*unbracketed end connections*) kecuali penegar yang dihubungkan dengan penumpu geladak dan penumpu samping alas (Djaja & Sofi', 2008).

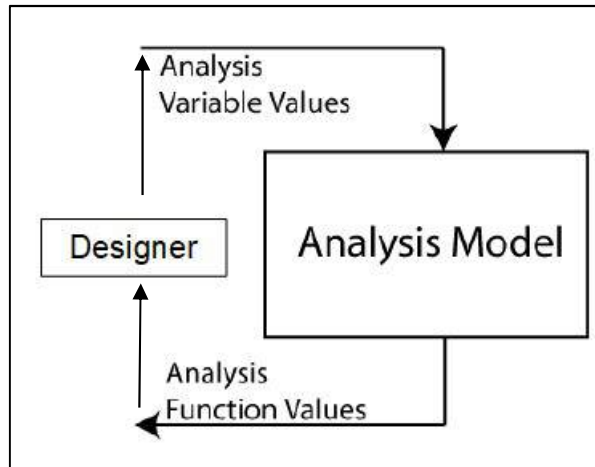


**Gambar II.1** Sekat Melintang Kapal Tanker 6500 LTDW  
(Sumber : PT. XXX, 2018)

### II.1.2. Optimasi

Dalam desain teknik (*engineering design*), banyak hal yang harus dipertimbangkan selain memastikan bahwa desain tersebut bekerja sesuai fungsinya. Contoh hal yang harus dipertimbangkan adalah seperti biaya produksi yang kecil agar dapat bersaing di pasaran. Untuk memastikan bahwa desain tersebut adalah desain yang terbaik, maka dibutuhkanlah optimasi *engineering design*. Optimasi pada *engineering design* tidak selalu merupakan fungsi minimalisasi, seperti contohnya dalam mendesain robot pengangkat (*lift robot*), kita ingin memaksimalkan beban yang dapat diangkat oleh robot tersebut, sehingga kita gunakan metode optimasi fungsi maksimum.

Adapun dalam proses pengerjaan tugas akhir ini, metode optimasi yang akan digunakan adalah metode *optimization by design trial and error* (dapat dilihat pada Gambar II.2). Desainer pertama kali harus menentukan *set of input* yang akan digunakan dalam proses optimisasi yang dirasa akan menghasilkan output yang lebih baik. Adapun *series of input* yang dimaksud adalah berupa *variables*, *objectives*, dan *constraints*. Proses desain dengan metode ini biasanya akan berakhir seiring habisnya waktu atau uang yang dialokasikan untuk desain tersebut. (Parkinson, Balling, & Hedengren, 2013)



**Gambar II.2** Proses *Iterative Optimization by Trial and Error*  
(Sumber : *Optimization Methods for Design Engineering, 2013*)

### II.1.3. Tegangan (*Stress*)

Dalam mekanika bahan, gaya dalam yang bekerja pada luas yang kecil tak berhingga sebuah potongan, akan terdiri dari bermacam-macam besaran dan arah. Gaya-gaya dalam ini merupakan vektor dalam alam dan bertahan dalam keseimbangan terhadap gaya-gaya luar terpakai. Dalam mekanika bahan kita perlu menentukan intensitas dari gaya-gaya ini dalam berbagai bagian dari potongan, sebagai perlawanan terhadap deformasi sedang kemampuan bahan untuk menahan gaya tersebut tergantung pada intensitas ini. Pada umumnya, intensitas gaya yang bekerja pada luas yang kecil tak berhingga suatu potongan berubah-ubah dari suatu titik ke titik lain. Pada prakteknya, biasanya intensitas gaya diuraikan menjadi tegak lurus dan sejajar dengan irisan yang diselidiki.

#### a. Tegangan Normal

Intensitas gaya yang tegak lurus atau normal terhadap irisan disebut tegangan normal (*normal stress*) pada sebuah titik. Dalam huruf Yunani dilambangkan dengan  $\sigma$  (*sigma*). Tegangan normal yang menghasilkan tarikan (*tension*) pada permukaan sebuah potongan biasa disebut tegangan tarik (*tensile stress*), sedangkan tegangan normal yang mendorong potongan tersebut disebut tegangan tekan (*compressive stress*). Suatu tegangan tertentu yang dianggap benar-benar bertitiktangkap pada sebuah titik, secara matematis didefinisikan sebagai:

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta F}{\Delta A} \right) \quad (\text{II.1})$$

Dengan :

$\sigma$  = Tegangan normal (N/m<sup>2</sup>)

F = Gaya normal (N)

A = Luas Penampang (m<sup>2</sup>)



(Popov, 1984)

b. Tegangan Geser

Komponen yang lain dari intensitas gaya yang bekerja sejajar dengan bidang dari luas elementer ini disebut tegangan geser. Tegangan geser ini dilambangkan dengan abjad Yunani  $\tau$  (tau). Secara matematis ia didefinisikan sebagai:

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta V}{\Delta A} \right) \quad (\text{II.2})$$

Dengan :

$\tau$  = Tegangan geser (N/m<sup>2</sup>)

V = Gaya geser (N)

A = Luas bidang elementer (m<sup>2</sup>)

(Popov, 1984)

c. Tegangan Von-Mises

Tegangan von-mises diperkenalkan oleh Richard von Mises pada tahun 1913, dimana tegangan ini biasanya digunakan sebagai tolok ukur kriteria kegagalan suatu material atau struktur. Kegagalan terjadi apabila tegangan yang terjadi melebihi tegangan luluh (*yield stress*), dimana material akan mengalami deformasi plastis. Akan tetapi, perlu diketahui bahwa tegangan merupakan besaran tensor dan bukanlah terdiri dari satu besaran saja (atau skalar). Jadi apabila sebuah material ditarik searah sumbu x-x, secara teknis lebih tepat dikatakan bahwa material mengalami luluh ketika komponen tegangan sumbu x-x lebih besar daripada tegangan luluhnya. Akan tetapi, pada penerapannya di dunia nyata, tegangan tensor lebih umum pada dasarnya tidaklah uniaksial. Kemungkinan besar setiap komponen dari stress tensor selalu memiliki nilai. Begitu halnya dengan regangan tensor juga dapat diuraikan menjadi regangan analog. Tegangan tensor memiliki 6 komponen independen yang dapat diuraikan menjadi bagian volumetrik (atau hidrostatis) dan bagian deviatorik. Secara matematis, besar tegangan dan regangan volumetrik dapat ditetapkan sebesar satu per tiga dari *trace of strain* dan *stress tensor*. Perbedaan nilainya menghasilkan yang dinamakan tegangan deviatorik. Regangan volumetrik murni merupakan perubahan pada volume objek tanpa mengubah bentuk objek tersebut (seperti menskala ukuran suatu objek, bentuknya tetap sama). Sebaliknya, regangan deviatorik yang berhubungan dengan *shearing* dan efek distorsi akan diamati. Sesuai hukum termodinamika, energi tidak diciptakan maupun dihancurkan, melainkan hanya diubah ke bentuk lain. Jadi ketika sebuah gaya mekanik bekerja pada sebuah objek, maka akan ada usaha

yang disalurkan ke objek tersebut. Energi tersebut disimpan dalam bentuk *strain energy*. Densitas dari *strain energy* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$W = \frac{1}{2} \sigma \varepsilon \quad (\text{II.3})$$

Jadi, ini merupakan total energi regangan yang disimpan dalam setiap volume differensial dari objek tersebut. Jika seluruh energi regangan dari seluruh volume differensial dijumlahkan (integrasi volume), didapatkanlah total energi regangan yang disimpan pada objek tersebut. Dari seluruh total energi, salah satunya dapat mengubah volume dari material (atau regangan volumetrik) dan disebut dengan energi volumetrik. Sedangkan sisa dari energi digunakan untuk mengubah bentuk dari material disebut dengan energi deviatorik. Tegangan von mises berhubungan dengan komponen tegangan total yang menjadi energi distorsi, yang dirumuskan secara matematis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} \sigma : \varepsilon \\ &= \frac{1}{2} (\sigma_v + \sigma_d) : (\varepsilon_v + \varepsilon_d) \\ &= \frac{1}{2} (\sigma_v : \varepsilon_v + \sigma_v : \varepsilon_d + \sigma_d : \varepsilon_v + \sigma_d : \varepsilon_d) \end{aligned} \quad (\text{II.4})$$

Dimana *v* melambangkan komponen volumetrik dan *d* melambangkan komponen deviatorik. Namun, hasil penjumlahan dari tensor volumetrik dan deviatorik selalu 0. Oleh karena itu, kerapatan (densitas) energi regangan berkurang menjadi:

$$W = \underbrace{\frac{1}{2} \sigma_v : \varepsilon_v}_{\text{volumetric}} + \underbrace{\frac{1}{2} \sigma_d : \varepsilon_d}_{\text{deviatoric}} \quad (\text{II.5})$$

Dimana total energi dapat dituliskan dalam bentuk komponen volumetrik dan deviatorik. Kemudian, energi regangan deviatorik dapat dituliskan ulang melalui representatif tegangan skalar, sebagai berikut:

$$\varepsilon_d = \frac{1}{2G} \sigma_d \rightarrow W_{dev} = \frac{1}{4G} \sigma_d : \sigma_d = \frac{1}{4G} \sigma_{rep}^2 \rightarrow \sigma_{rep} = \sqrt{\sigma_d : \sigma_d} \quad (\text{II.6})$$

Tegangan representatif inilah yang dikenal dengan tegangan von mises. Dengan mengambil keadaan 1-D *stress*, tegangan von mises dapat dituliskan menjadi:

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \rightarrow \sigma_d = \begin{bmatrix} -\frac{2\sigma}{3} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{\sigma}{3} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{\sigma}{3} \end{bmatrix} \rightarrow \sigma_{rep} = \sqrt{\frac{2}{3}}\sigma \quad (\text{II.7})$$

Hal lain yang perlu dipertimbangkan adalah *principal stresses*. Pada umumnya, stress memiliki bentuk *full symmetric matrix*. Dalam keadaan ini, sulit untuk menentukan keputusan desain apabila hanya menggunakan data dari eksperimen uniaksial sederhana. Namun, pada semua kasus, akan ada sebuah bidang yang mengalami murni hanya mengalami pembebanan volumetrik. Dengan merotasi *general stress tensor* akan mendapatkan matrix diagonal, dimana elemen diagonalnya tersebut yang dikenal dengan *principal stresses*.

Dalam analisis kekuatan struktur, untuk menentukan apakah sebuah material akan mengalami luluh (*yield*) ketika mendapatkan pembebanan yang kompleks, biasanya digunakan *von mises yield criterion*. Efek dari *intermediate principal stress* dapat dimasukkan dengan mengasumsikan bahwa *yielding* (peluluhan) tergantung terhadap nilai *root-mean-square* diameter dari 3 lingkaran mohr. Inilah yang dinamakan *von Mises criterion*, yang secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\{[\sigma_2 - \sigma_3]^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 + (\sigma_1 - \sigma_2)^2\} / 3 \}^{\frac{1}{2}} = C \quad (\text{II.8})$$

\*Persamaan ini ekuivalen dengan mengasumsikan bahwa *yielding* (peluluhan) terjadi ketika energi regangan distorsi elastis mencapai nilai kritis. (Hosford, 2005)

#### d. Tegangan Izin

Tegangan izin adalah batas maksimum tegangan yang boleh terjadi dalam suatu struktur. Untuk mencari tegangan izin, terlebih dahulu harus melihat tegangan luluh (*yield*) dari suatu material tersebut. Setelah itu, *safety factor* (faktor keselamatan) juga harus ditetapkan sebelum masuk ke perhitungan tegangan izin. Adapun rumus menghitung tegangan izin adalah sebagai berikut:

$$\sigma_{izin} = \frac{\sigma_{yield}}{\text{Faktor Keamanan}} \quad (\text{II.9})$$

(Isworo, 2018)

Pada *rules ClassNK* sendiri, terdapat rumus untuk menghitung tegangan izin yang disesuaikan dengan jenis material dan struktur yang ditinjau. Adapun *rules* untuk menghitung tegangan izin untuk sekat melintang adalah sebagai berikut:

$$\sigma_e = \frac{175}{K} \quad (\text{II.10})$$

Dimana :

$\sigma_e$  = *equivalent stress*

$K$  = *Material factor (mild steel = 1)*

(ClassNK, 2018)

#### II.1.4. Regangan (*Strain*)

Regangan merupakan pertambahan panjang per satuan panjang awal. Perbandingan antara tegangan dan regangan disebut modulus elastisitas atau modulus young. Secara matematis, regangan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (\text{II.11})$$

Dimana :

$\varepsilon$  = Regangan

$\delta$  = Pertambahan panjang total (m)

$L$  = Panjang awal (m)

(Gere & Timoshenko, 1996)

#### II.1.5. Modulus Young

Modulus elastisitas adalah angka yang digunakan untuk mengukur objek atau ketahanan bahan untuk mengalami deformasi elastis ketika gaya diterapkan pada benda itu. Modulus elastisitas atau modulus young secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\text{II.12})$$

Dimana :

$E$  = Modulus elastisitas

$\sigma$  = Tegangan

$\varepsilon$  = Regangan

(Gere & Timoshenko, 1996)

#### II.1.6. Tekanan Statis Tangki (*Static Tank Pressure*)

Tekanan statis tangki yang terjadi pada kapal tanker disebabkan oleh fluida, yaitu salah satunya oleh muatannya sendiri berupa minyak (*oil*). Adapun dalam melakukan analisis nantinya akan digunakan besaran tekanan statis tangki sesuai peraturan kelas, sebagai berikut :

Nilai untuk *tank testing pressure* diambil dari yang terbesar dari rumus dibawah ini:

$$P_{in-test} = \rho_{sw} g z_{test} \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$P_{in-test} = \rho_{sw} g z_{tk} + P_{valve} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad \text{(II.13)}$$

Dimana :

$z_{test}$  : Jarak vertikal dari *load point* ke titik terjauh dari berikut ini, dalam meter:

(a) *Top of overflow*

(b) 2.4 m diatas *top of tank*

$z_{tk}$  : Jarak vertikal dari titik tertinggi tangki (tidak termasuk *small hatchways*) ke *load point*.

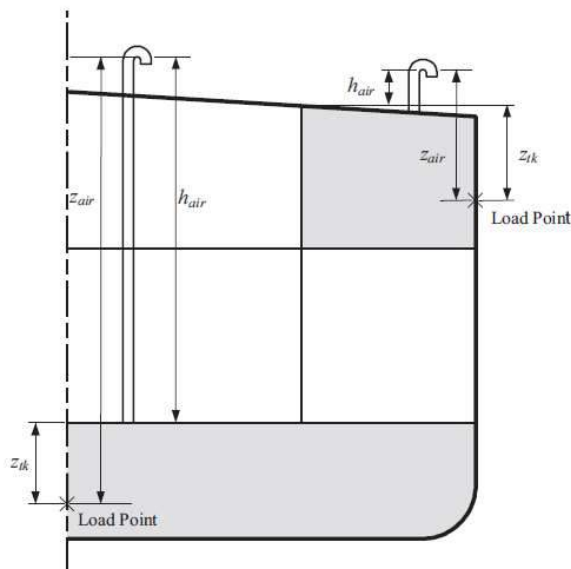
$\rho_{sw}$  : massa jenis air laut, 1.025 tonnes/m<sup>3</sup>

$g$  : percepatan gravitasi, 9.81 m/s<sup>2</sup>

$P_{valve}$  : sebesar *pressure relief valve*, tidak kurang dari 25 kN/m<sup>2</sup>

(IACS, 2018)

Untuk penjelasan tiap notasi dengan gambar dapat dilihat pada Gambar II.3.



**Gambar II.3 Pressure-Heads Dan Jarak Untuk Perhitungan Beban Statis Tangki**  
(Sumber : *ClassNK Rules Part CSR-T, 2018*)

### II.1.7. Bulkhead Scantlings

Bulkhead scantlings secara keseluruhan meliputi perhitungan *plate bulkhead*, *vertical stiffener bulkhead* dan *horizontal girder bulkhead*. Perhitungan *minimum requirement* dilakukan sesuai dengan peraturan konstruksi kelas yaitu ClassNK.

#### a. Minimum Plate Thickness Requirement

**Ch 29.2.1** : Tebal dari *structural members* pada *cargo oil tanks* dan *deep tanks* seperti *bulkhead plating*, *floors*, *girders*, *struts* dan *brackets* tidak boleh kurang dari Tabel II-1 yang mana disesuaikan dengan panjang kapal.

**Tabel II.1 Tebal Minimum**

L (m)	≥		105	120	135	150	165	180	195	225	275	325	375
	<	105	120	135	150	165	180	195	225	275	325	375	
Thickness		8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5

**Ch 29.4.1** : Tebal untuk *bulkhead plating* tidak boleh kurang dari nilai yang terbesar yang didapat dari perhitungan rumus, dengan mensubstitusikan nilai  $h$ , dengan  $h_1$ ,  $h_2$  dan  $h_3$  :

$$t = C_1 C_2 S(\sqrt{h}) + 3,5 \text{ (mm)} \quad (\text{II.14})$$

Dimana :

S : Jarak antar penegar (m)

$h_1$  : Jarak vertikal dari ujung bawah pelat yang ditinjau hingga ke *top of hatchway*.

$h_2$  :  $0.85(h_1 + \Delta h)$

Dimana :

$$\Delta h = 16/L(l_t - 10) + 0.25(b_t - 10) \text{ (m)}$$

$l_t$  : panjang tangki (m), masukkan 10 meter apabila  $l_t < 10$  meter

$b_t$  : lebar tangki (m), masukkan 10 meter apabila  $b_t < 10$  meter

$h_3$  :  $0.3\sqrt{L}$

$C_1$  : Koefisien panjang kapal

Bernilai 1.0, untuk kapal L kurang dari sama dengan 230 m

Bernilai 1.07, untuk kapal L lebih dari sama dengan 430 m

Untuk L diantara dua nilai tersebut, dapat menggunakan interpolasi linear

$C_2$  : Untuk *transverse bulkhead*

$$C_2 = 3.6\sqrt{K}$$

K : Koefisien sesuai dengan jenis baja yang digunakan (*mild steel* = 1.0)

(ClassNK, 2018)

**b. Minimum Vertical Stiffener Modulus Requirement**

**Ch 29.5.2** *Section modulus Z* dari penegar tidak boleh kurang dari hasil perhitungan dengan rumus berikut:

$$Z = 125 C_1 C_2 C_3 S h l^2 \text{ (cm}^3\text{)} \quad (\text{II.15})$$

Dimana:

S : Jarak antar penegar (m)

h : jarak dari *mid-point stiffener* ke *top of hatchway*

$C_1$  : Koefisien panjang kapal

Bernilai 1.0, untuk kapal L kurang dari sama dengan 230 m

Bernilai 1.07, untuk kapal L lebih dari sama dengan 430 m

Untuk L diantara dua nilai tersebut, dapat menggunakan interpolasi linear

C<sub>2</sub> : K/18 (Untuk *transverse bulkhead*)

C<sub>3</sub> : Ditentukan dari Tabel II-2, berdasarkan jenis ujung sambungan:

Tabel II.2 Nilai dari C<sub>3</sub>

The other end	One end			
	Rigid fixity by bracket	Soft fixity by bracket	Supported by girders or lug-connection	Snip
Rigid fixity by bracket	0.70	1.15	0.85	1.30
Soft fixity by bracket	1.15	0.85	1.30	1.15
Supported by girders or lug-connection	0.85	1.30	1.00	1.50
Snip	1.30	1.15	1.50	1.50

Catatan:

1. *Rigid fixity by bracket*, berarti terdapat sambungan tetap (*fixed*) antara penegar dengan *double bottom*, atau penegar sebanding pada *planes* atau *bracket* yang berdampingan, atau sambungan tetap lain yang setara.
2. *Soft fixity by bracket*, berarti terdapat sambungan antara *beams*, *frames*, dll. yang bersilangan posisinya dan *bracket*.

K : Koefisien sesuai dengan jenis baja yang digunakan (*mild steel* = 1.0)

(ClassNK, 2018)

**c. Minimum Horizontal Girder Modulus Requirement**

Untuk modulus minimum *horizontal girder*, sesuai Ref: (2018) *Rules for the Survey and Constructions of Steel Ships (Part C)*, adalah sebagai berikut:

**Ch 13.2.6** *Section modulus Z* dari penegar tidak boleh kurang dari hasil perhitungan dengan rumus berikut:

$$Z = 4,75 S h l^2 \text{ (cm}^3\text{)} \tag{II.16}$$

Dimana:

S : Lebar area yang didukung oleh *girder*

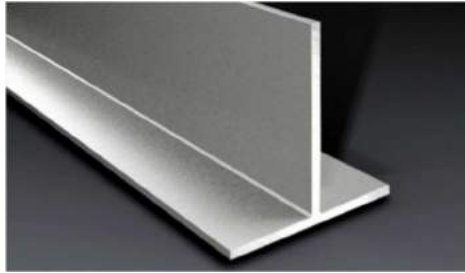
h : Jarak vertikal dari *midpoint* of l, hingga ke *top of bulkhead* pada *centerline*.

l : Panjang girder, diukur diantara tumpuan *girder* yang berdekatan. Panjang l dapat dimodifikasi sesuai dengan 1.1.16. Apabila terdapat *brackets* dengan *curved free edges*, panjang lengan efektif *bracket* diperhitungkan sebagai b seperti di *Fig. C13.4*.

(ClassNK, 2018)

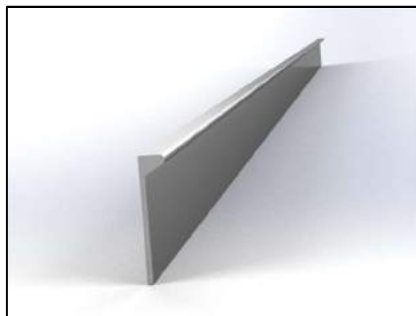
### II.1.8. Profil Penegar (*Stiffener Profile Section*)

Ada beberapa jenis profil penegar yang biasa digunakan dalam praktek pembangunan kapal. Untuk *primary stiffeners* atau penegar besar/utama, biasanya digunakan profil jenis *T-profile/T-bar* seperti pada Gambar II.4. Umumnya, pembuatan *T-bar* dilakukan manual di galangan, yaitu menggunakan dua buah pelat yang diposisikan tegak lurus membentuk T, dan kemudian di las. Hal ini disebabkan *T-Profile* yang dibutuhkan kapal biasanya berukuran besar, dan kebutuhannya yang berbeda-beda tiap kapal (dari segi ukuran dan bentuk kelengkungan).



**Gambar II.4 T-Bar/T-Profile Bar**  
(Sumber : [www.imk-rks.com](http://www.imk-rks.com), 2019)

Untuk *secondary stiffeners* atau penegar kecil, jenis profil yang digunakan yang biasa digunakan ada 3 jenis, yaitu *bulb profile* (seperti pada Gambar II.5), *equal* dan *unequal angle bar (L-profile)* (seperti pada Gambar II.6). Profil jenis ini biasa digunakan sebagai penegar gading pada kapal, ataupun sebagai penegar longitudinal.



**Gambar II.5 Bulb Profile/Bulb Plate**



**Gambar II.6 Angle Bar**  
(Sumber : [www.indiamart.com](http://www.indiamart.com), 2019)



### II.1.9. Modulus Penampang (*Section Modulus*)

Dalam mendesain ukuran profil penegar yang tepat dan optimal, kita perlu membandingkan *section modulus* penegar yang kita rancang dengan *minimum requirements* yang disyaratkan oleh kelas. Semakin kecil *section modulus* suatu profil penegar, maka akan semakin ringanlah berat penegar tersebut. Adapun perhitungan modulus profil dapat dilakukan menggunakan rumus:

$$\text{Modulus (W)} = \frac{\text{Momen Inersia (I}_{NA})}{Z_{NA}} \quad (\text{II.17})$$

Dalam menghitung momen inersia, tidak dapat dihitung langsung saja dengan menggunakan rumus dasar seperti ( $I = 1/12.b.h^3$ ), namun harus dilakukan dalam bentuk tabulasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel II.3.

**Tabel II.3 Tabel Perhitungan Momen Inersia**

Nama Bagian	lebar (b) [cm]	tinggi (h) [cm]	Jarak ke <i>Center of Gravity</i> (y) [cm]	Luas (A) = b*h [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area = A*y [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area = A*y <sup>2</sup> [cm <sup>4</sup> ]	Individual Moment of Inertia (I <sub>o</sub> ) [cm <sup>4</sup> ]
I							
II							
III							
				Σ <sub>1</sub>	Σ <sub>2</sub>	Σ <sub>3</sub>	Σ <sub>4</sub>

I = Web

II = Face

III = Pelat pengikat

Z<sub>NA</sub> = Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)

I<sub>xx</sub> = Momen inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)

I<sub>NA</sub> = Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)  
 $= I_{xx} - \Sigma_1 * Z_{NA}^2$

W = Modulus penampang profil

$= I_{NA}/Z_{NA}$

Berdasarkan perhitungan momen inersia yang telah dijabarkan pada Tabel II.1, maka selanjutnya akan didapat nilai momen inersia yang diperlukan untuk menghitung nilai modulus penampang (*section modulus*) dari profil tersebut.

(Santosa, 2013)

### II.1.10. Lebar Efektif (*Effective Breadth*)

Untuk pelat berpenegar (*stiffened plate*), perhitungan balok atau girder dengan pelat hadap yang amat lebar, tidak dapat lagi dilakukan dengan berdasar pada teori lenturan balok, karena dalam teori lenturan balok tegangan yang terjadi dianggap tersebar merata pada seluruh

penampangnya. Dalam kenyataan, pada pelat hadap lebar, tegangan amat mengecil pada bagian tepi hadap tersebut. Dan untuk menghitung girder dengan pelat hadap lebar dengan teori balok yang sederhana, muncullah istilah yang disebut sebagai lebar pelat efektif (Santosa, 2013).

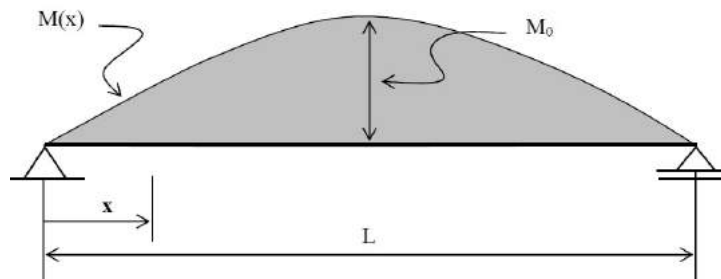
Lebar efektif dibedakan menjadi dua jenis yaitu sebagai berikut:

1. Lebar efektif untuk deformasi geser (pembebanan momen lengkung) atau lebar efektif jenis 1
2. Lebar efektif setelah beban knik (*buckling*) dilewati atau lebar efektif jenis 2

#### a. Lebar efektif jenis 1

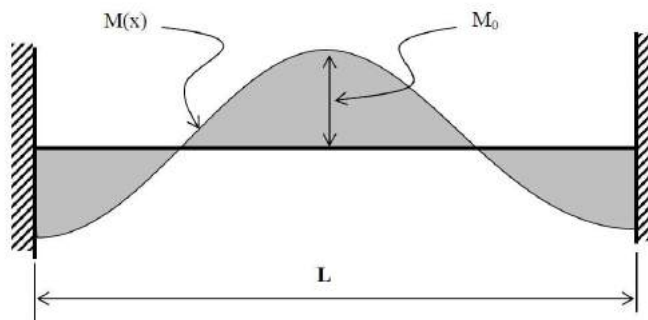
Menurut analisis yang dilakukan timoshenko, terdapat 3 keadaan berdasarkan beban yang diterima:

1. Balok dengan beban momen sebagai fungsi sinus (seperti pada Gambar II.7).



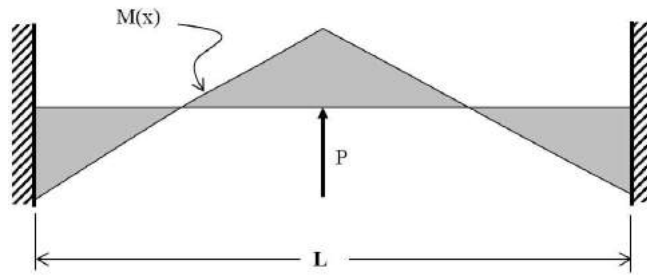
**Gambar II.7 Balok Dengan Beban Momen Fungsi Sinus**  
(Sumber: Santosa, 2013)

2. Balok dengan beban momen sebagai fungsi cosinus (seperti pada Gambar II.8).



**Gambar II.8 Balok Dengan Beban Momen Fungsi Cosinus**  
(Sumber: Santosa, 2013)

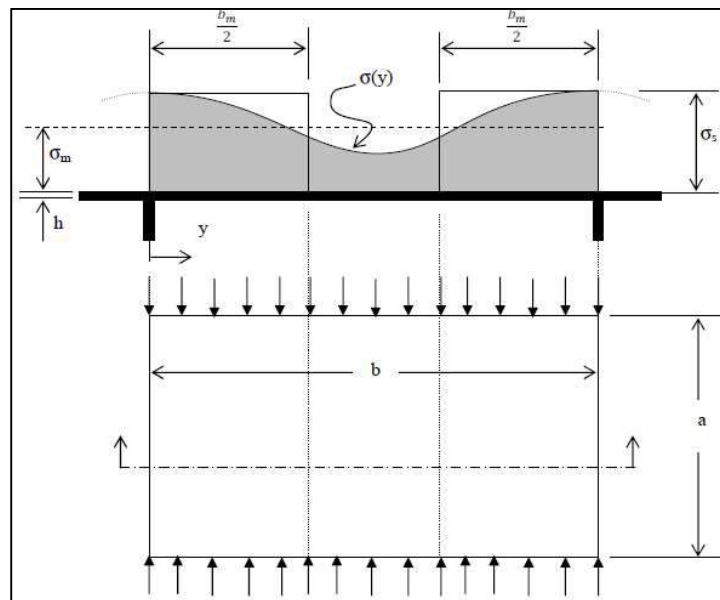
3. Balok dengan beban gaya terpusat (seperti pada Gambar II.9).



Gambar II.9 Balok Dengan Beban Gaya Terpusat  
(Sumber: Santosa, 2013)

**b. Lebar efektif jenis 2**

Untuk jenis 2, berhubungan dengan persoalan knik atau stabilitas pelat berpenegar (*buckling*). Adapun lebih jelasnya tentang arah pembebanan dan diagram penyebaran tegangan dari tepi pelat ke tepi pelat yang bersebrangan dapat dilihat pada Gambar II.10.



Gambar II.10 Arah Pembebanan Pada Pelat Dan Diagram Persebaran Tegangan  
(Sumber: Santosa, 2013)

Menurut hasil perhitungan kasar oleh Santosa untuk menentukan lebar efektif, yaitu dengan menganggap hanya dua lajur pelat dengan tebal  $b_m/2$  pada tiap sisi pelat yang masih menyangga beban, dengan pelat panjang tumpuan engsel dan lebar pelat hadap =  $b_m$ , tegangan kritisnya adalah:

$$\sigma_{kr} = \frac{\pi^2 E}{3(1-\nu^2)} \left( \frac{h}{b_m} \right)^2 \tag{II.18}$$

Jika  $\sigma_{kr}$  mencapai titik luluh (*yield point*), maka kesanggupan pelat menahan beban akan hilang, sehingga dari persamaan diatas didapat:

$$b_m = \pi h \sqrt{\frac{E}{3(1-\nu^2)\sigma_F}} \quad (\text{II.19})$$

Apabila diambil harga  $\nu = 0,3$  dan  $E = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  diperoleh:

Untuk St.42  $\sigma_F = 2300 \text{ kg/cm}^2$  ;  $b_m = 62,1.h$

Untuk St.52  $\sigma_F = 3600 \text{ kg/cm}^2$  ;  $b_m = 46,0.h$

Jadi dapat disimpulkan bahwa lebar pelat efektif berada diantara 40 sampai 60 kali tebal pelat bilah (Santosa, 2013).

Pada BKI Aneks A-1 tahun 2006, dalam perhitungan modulus profil penegarinya, juga menggunakan asumsi bahwa lebar efektif pelat sebesar  $40 \cdot t_w$  ( $t_w$  = tebal bilah profil). Adapun ukuran konstruksi profil yang diberikan berlaku hanya untuk profil sesuai dengan DIN 1028 dan DIN 1029, profil gembung dengan DIN 1020, pelat gembung sesuai dengan DIN 1019 (BKI, 2006).

### II.1.11. Sifat Mekanik Bahan (*Material Mechanical Properties*)

Sifat mekanik dari suatu material/bahan sangatlah penting untuk diketahui. Apalagi dalam praktek industri pembangunan kapal, dimana kekuatan suatu material haruslah diketahui dengan pasti, untuk memastikan struktur kapal yang dibuat nantinya kokoh dan tidak mengalami kegagalan struktur. Ada beberapa sifat mekanik bahan, antara lain:

#### 1. Elastisitas

Elastisitas material erat kaitannya dengan kemampuan suatu material untuk kembali ke keadaan semula apabila diberi gaya dengan tanpa mengalami deformasi plastis. Hampir semua benda memiliki sifat elastisitas. Suatu sistem struktur diperuntukkan mengemban fungsi tertentu, sekaligus menahan pengaruh gaya luar yang ada. Apabila gaya luar yang menghasilkan perubahan bentuk (*deformation*), kemudian gaya tersebut dilepas, kembali ke bentuk semula, karena elastisitas bahan (Popov, 1984).

#### 2. Yield Point

Semua material memiliki *yield point* atau titik luluh, dimana ketika material terus mendapatkan pembebanan ketika sudah melewati *yield point*, maka material tersebut akan mengalami deformasi plastis, yaitu tidak dapat kembali ke bentuk semula. Salah satu kekuatan yang dapat diketahui dari suatu hasil pengujian tarik adalah kuat luluh (*yield strength*). Kekuatan luluh merupakan titik yang menunjukkan perubahan dari deformasi elastis ke deformasi plastis (Dieter, 1993).

### 3. Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik adalah kemampuan beban menahan atau menerima beban atau tegangan tarik sampai putus. Kekuatan tarik suatu bahan dapat ditetapkan dengan membagi gaya maksimal dengan luas penampang mula (Popov, 1984).

### 4. Keuletan

Keuletan menyatakan banyaknya energi yang diserap oleh suatu bahan sampai titik patah. Keuletan adalah kemampuan atau kapasitas bahan untuk menyerap energi sampai patah dengan suatu retakan melintang. Jumlah energi yang diserap setiap satuan luas dari retakan adalah tetap untuk material yang ditentukan (Popov, 1984).

### 5. Kekerasan

Kekerasan (*hardness*) adalah daya tahan suatu bahan/material terhadap penetrasi atau indentasi bahan lain yang lebih keras dengan bentuk tertentu dibawah pengaruh gaya tertentu (Popov, 1984).

## II.1.12. Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

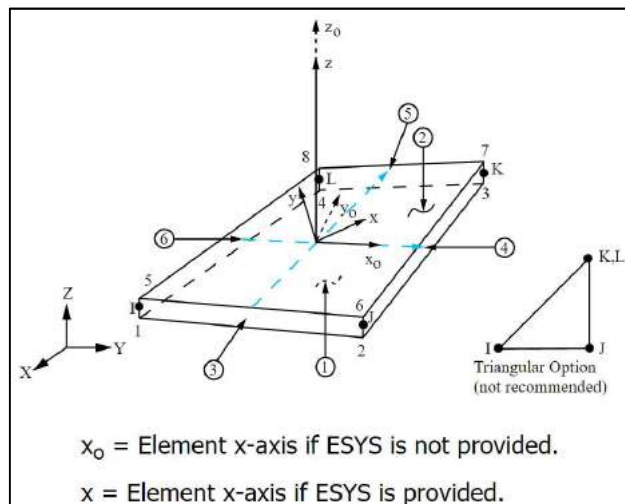
Metode elemen hingga adalah suatu metode numerik perhitungan yang digunakan untuk menyelesaikan berbagai persoalan mekanika dengan geometri yang kompleks. Keunggulan dari metode ini adalah karena secara komputasi sangat efisien, memberikan solusi yang cukup akurat terhadap permasalahan yang kompleks, dan untuk beberapa permasalahan metode ini mungkin adalah satu-satunya cara untuk mendapatkan penyelesaian (Ardianus et al., 2018).

Persoalan perancangan dapat diselesaikan dengan cara matematis dan numeris. Untuk benda-benda yang mempunyai bentuk yang tidak teratur, penyelesaiannya akan sulit menggunakan cara matematis, sehingga perlu cara baru, yaitu menggunakan cara numerik, yang dalam perkembangannya disebut sebagai metode elemen hingga. Metode elemen hingga membagi geometri menjadi bagian-bagian kecil yang disebut sebagai elemen hingga. Proses pembagian suatu kontinu menjadi elemen hingga ini dikenal sebagai proses diskretisasi, sehingga elemen hingga merupakan pendekatan bagian demi bagian dengan menggunakan polinomial yang mana masing-masing terdefinisi pada daerah (elemen) yang kecil dan dinyatakan dalam harga-harga titik simpul dari fungsi tersebut (Cook, 2002).

Dalam penelitian akan digunakan software untuk melakukan *finite element analysis (FEA)*. Pada *software FEA* terdapat banyak jenis elemen yang dapat dipilih dan digunakan sesuai dengan jenis analisis yang akan dilakukan. Adapun elemen yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

a. Elemen SHELL

Elemen SHELL cocok untuk menganalisis struktur *shell* yang memiliki ketebalan tipis hingga sedang. Ini adalah elemen empat *node* dengan enam derajat kebebasan di setiap nodenya: translasi arah x, y, dan z, dan rotasi di sumbu x, y, dan z (dapat dilihat pada Gambar II.11). (Jika opsi membran digunakan, elemen tersebut hanya memiliki derajat kebebasan translasi). Opsi bentuk elemen segitiga degenerasi hanya dapat digunakan sebagai elemen pengisi dalam pembuatan mesh. Elemen SHELL sangat cocok untuk aplikasi linier, rotasi besar, dan/atau non-linier dengan regangan besar. Perubahan ketebalan *shell* dicatat dalam analisis non-linier. Di domain elemen, skema integrasi penuh maupun sebagian didukung oleh elemen ini. Elemen SHELL juga bertanggung jawab atas efek pengikat (*load stiffness*) dari tekanan yang didistribusikan. (SHARCNET, 2016)

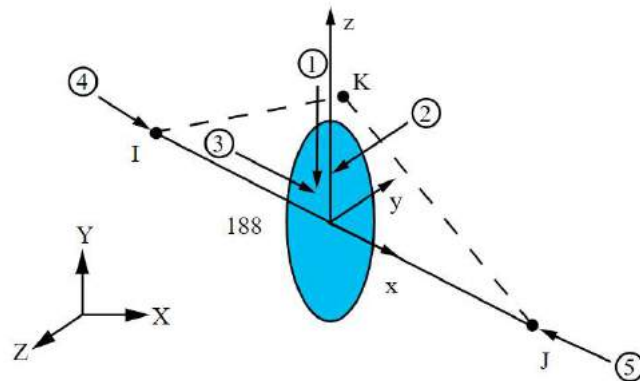


**Gambar II.11 Geometri Elemen SHELL**  
(Sumber : SHARCNET, 2016)

b. Elemen Beam

Elemen BEAM cocok untuk menganalisis struktur balok yang ramping hingga agak tebal. Unsur ini didasarkan pada teori balok Timoshenko yang mencakup efek deformasi geser. Elemen ini memberikan opsi untuk melengkung (*warping*) yang tidak terkendali (*unrestrained*) dan terkendali (*restrained*) sepanjang penampangnya. Elemen ini adalah elemen balok dua *node* linear, kuadrat, atau kubik dalam 3-D. Elemen BEAM memiliki enam atau tujuh derajat kebebasan di setiap *node* (dapat dilihat pada Gambar II.12). Ini termasuk translasi di arah x, y, dan z dan rotasi dalam sumbu x, y, dan z. Tingkat ketujuh kebebasan (besarnya *warping*) adalah opsional.

Elemen ini sangat cocok untuk aplikasi nonlinear regangan linier, rotasi besar, dan/atau regangan besar.(SHARCNET, 2016)



Gambar II.12 Geometri Elemen BEAM  
(Sumber : SHARCNET, 2016)

## II.2. Tinjauan Pustaka

Dalam melakukan analisis pada penelitian ini juga meninjau beberapa penelitian yang sudah pernah dilakukan dan berkaitan dengan tugas akhir ini.

### II.2.1. Optimasi Berat Struktur Sekat Kapal

- a. *A study on minimum weight design of vertical corrugated bulkheads for chemical tankers*

Penelitian ini menganalisis dan mengoptimasi desain *vertical corrugated bulkhead of existing ship (30 K chemical tanker)*. Optimasi dilakukan dengan mengganti scantlings pada bulkhead kapal tanker tersebut dengan fungsi objektif untuk mendapatkan berat konstruksi sekat yang paling ringan (minimum). Pada proses optimasi ini juga dilakukan analisis struktur dengan metode elemen hingga (*Finite Element Method*) dan dibandingkan juga dengan metode (*Generalized Slope Deflection Method*) GSDM. Hasil dari optimasi ini dapat mengurangi berat konstruksi hingga 9.3% dari desain awal.(Shin & Ko, 2018)

### II.2.2. Analisis Kekuatan Struktur Kapal

- a. Analisis kekuatan konstruksi sekat melintang kapal tanker dengan metode elemen hingga

Penelitian ini melakukan analisis tegangan pada struktur sekat melintang kapal tanker 17500 DWT dengan metode elemen hingga. Adapun sekat melintang kapal yang dianalisis terdiri dari 2 tipe, yaitu: *transverse flat stiffened bulkhead* dan *transverse corrugated bulkhead*. Adapun variasi yang diberikan untuk *flat stiffened bulkhead*

adalah variasi penumpu (dengan atau tanpa penumpu) dan untuk variasi *corrugated bulkhead* adalah dari sudut *corrugated bulkheadnya* ( $45^\circ$ ,  $55^\circ$ ,  $64.36^\circ$  dan  $65^\circ$ ). Hasilnya yaitu tegangan terkecil terjadi pada *corrugated bulkhead* sudut  $45^\circ$  dan untuk berat konstruksi minimum adalah *corrugated bulkhead* sudut  $64.36^\circ$ . (Ardianus et al., 2018)

- b. Analisis kekuatan konstruksi *wing tank* kapal tanker menggunakan metode elemen hingga

Penelitian ini menganalisis tegangan dan deformasi yang terjadi pada struktur *wing tank* kapal tanker. Adapun variasi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi jenis profil penegar yang digunakan, antara lain: *bulb plate*, *unequal leg angle bar* dan *equal leg angle bar*. Analisis dilakukan dengan metode elemen hingga dengan bantuan *software FEA*. Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa dengan modulus profil yang sama, didapatkan nilai tegangan terbesar terjadi pada *unequal leg angle bar* dan tegangan terkecil pada tipe profil *bulb*. Adapun nilai deformasi berbanding lurus dengan besar tungan. Untuk berat konstruksi minimum terdapat di variasi tipe profil *bulb* dengan berat 39 ton dan berat maksimum pada *equal leg angles* dengan nilai 42 ton. (Sanjaya, Sujiatanti, & Yulianto, 2017)



Halaman ini sengaja dikosongkan



## **BAB III**

# **METODOLOGI**

## **BAB III METODOLOGI**

### **III.1. Metode**

Metode optimasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *optimization by design trial and error*. Adapun untuk analisis kekuatan sekat melintang, akan digunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software*. Analisis kekuatan sekat melintang dilakukan untuk memastikan bahwa dalam proses optimasi desain nantinya, kekuatan kapal tetap memenuhi standar yang disyaratkan kelas.

### **III.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah**

Pada tahapan awal dalam pengerjaan penelitian tugas akhir ini adalah dengan mengidentifikasi permasalahan yang ada, yang kemudian akan dicari penyelesaiannya. Batasan masalah dalam penelitian juga disertakan dalam laporan ini. Hal ini dilakukan agar topik pembahasan yang dilakukan dapat lebih terarah dan terfokus pada tujuan dan tidak meluas.

### **III.3. Studi Literatur**

Studi literatur menggunakan berbagai sumber referensi sebagai pedoman untuk pengerjaan penelitian tugas akhir ini. Referensi yang digunakan adalah yang membahas topik mengenai struktur sekat melintang kapal, metode elemen hingga dan optimasi yang didapat melalui berbagai media, antara lain:

1. Buku
2. Jurnal/*Paper*
3. Artikel
4. Tugas Akhir
5. Internet
6. Rules kelas

### **III.4. Pengumpulan Data**

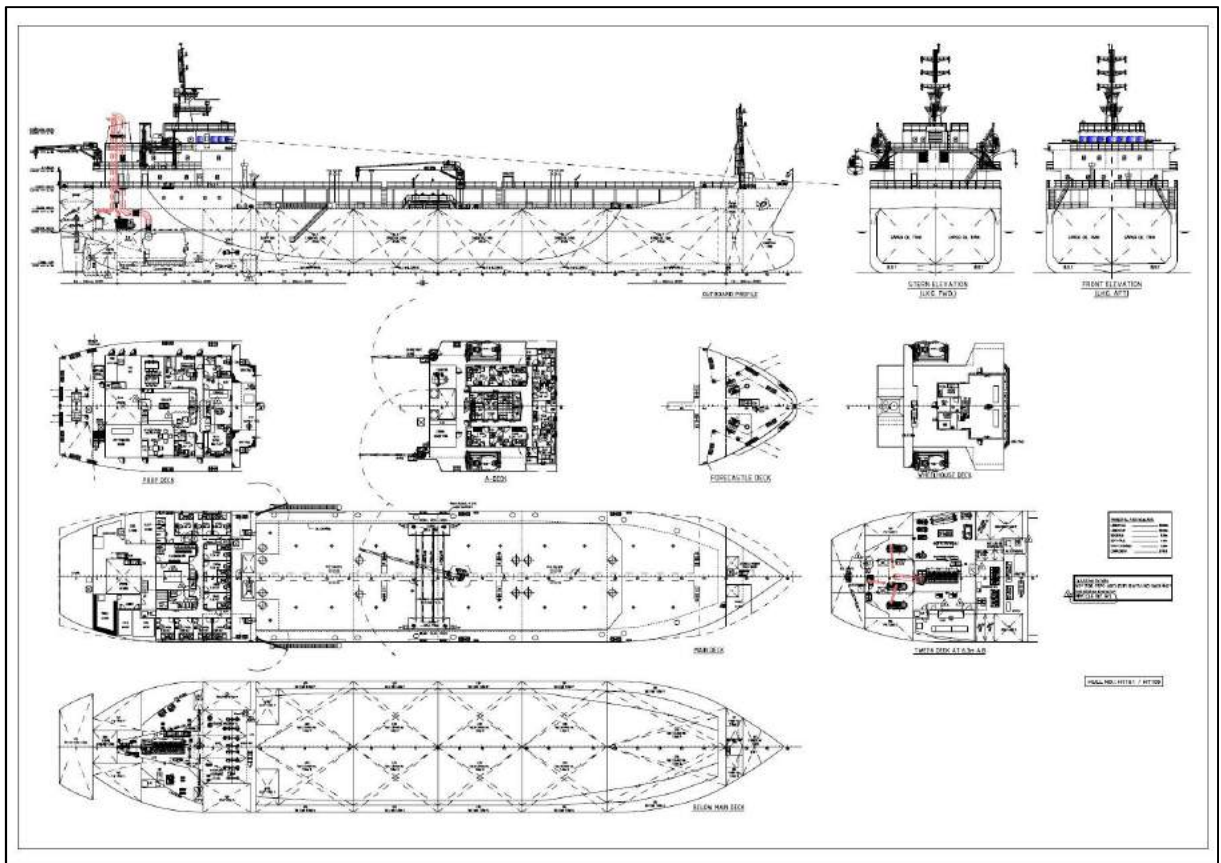
Data kapal yang akan digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah Kapal *White Oil Tanker 6500 LTDW*. Kapal ini menggunakan sistem konstruksi memanjang pada bagian

*midship*. Data yang digunakan diantaranya adalah data ukuran utama kapal, gambar rencana umum (*general arrangements*) dan gambar penampang melintang kapal. Data ukuran utama kapal dapat dilihat pada Tabel III.1.

**Tabel III.1 Ukuran Utama Kapal**

<i>Length Overall (LOA)</i>	108 m
<i>Length Between Perpendicular (LBP)</i>	102 m
<i>Breadth Moulded</i>	19 m
<i>Depth Moulded</i>	9 m
<i>Draft Designed</i>	6 m
<i>Complement</i>	21 MEN

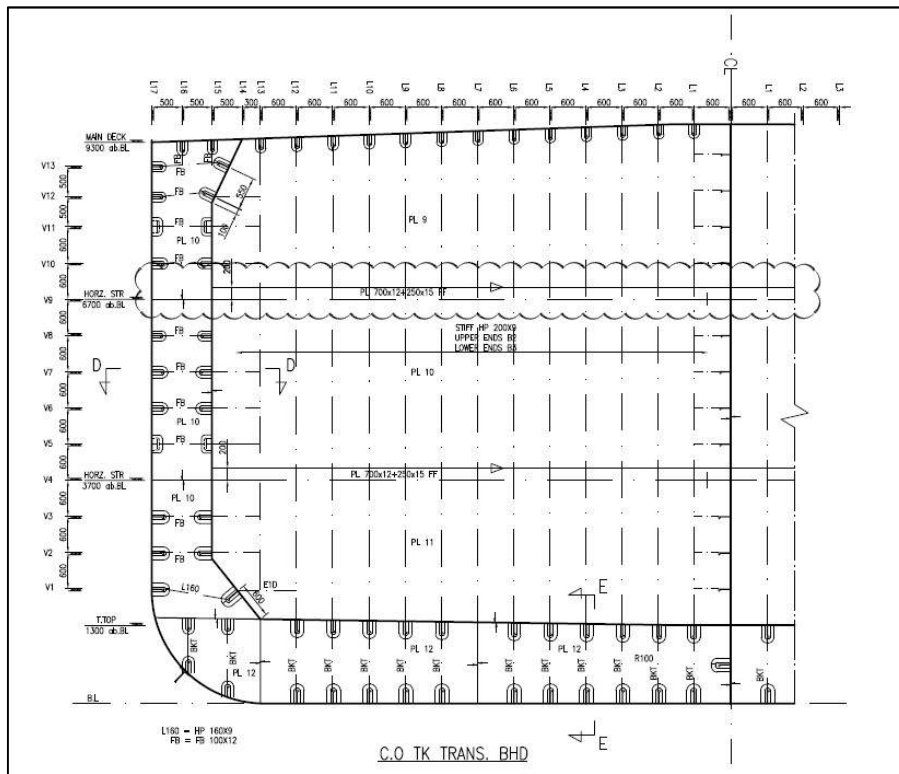
Tabel III.1 menunjukkan data ukuran utama dari kapal tanker 6500 LTDW. Selain itu, dibutuhkan juga gambar rencana umum (dapat dilihat pada Gambar III.1), untuk mengetahui letak dan posisi sekat melintang yang akan dianalisis, serta informasi lain yang mendukung seperti jarak gading, panjang, lebar dan tinggi tangki ruang muat.



**Gambar III.1 General Arrangement Oil Tanker 6500 LTDW**  
(Sumber: PT.XXX)

Untuk data sekat melintang yang akan yang dipilih untuk penelitian adalah sekat melintang yang terletak pada *frame 80*, sebagai pemisah antara *cargo oil tank no.4* dan *cargo*

oil tank no.5. Untuk detail konstruksinya didapatkan dari gambar potongan melintang kapal (*midship section*) yang dilihat pada Gambar III.2.



**Gambar III.2 Gambar Potongan Melintang Sekat Kapal Tanker 6500 LTDW**  
(Sumber: PT.XXX)

Untuk data ukuran kapal yang penting untuk diketahui adalah dimensi sekat melintang kapal seperti yang ditunjukkan pada Gambar III.2. Untuk sekat melintang kapal memiliki dimensi lebar ( $b$ ) = 8600 mm dan tinggi ( $d$ ) = 8300 mm. Dan untuk ukuran tangki ruang muat kapal, panjang tangki = 12,35 m dan lebar tangki 10 m.

### III.5. Perhitungan *Bulkhead Scantlings*

Dalam mendesain *bulkhead scantlings*, digunakan *rules ClassNK* untuk menghitung minimum requirement yang disyaratkan kelas. Adapun perhitungan *scantlings* meliputi perhitungan minimum tebal pelat dan modulus minimum penegar.

#### III.5.1. Perhitungan Tebal Pelat

Dengan menggunakan rumus di bab sebelumnya, yaitu persamaan II.14, tebal pelat minimum yang dibutuhkan dapat dihitung. Perhitungan dilakukan menggunakan *microsoft excel* dengan input dan hasil yang dapat dilihat pada Tabel III.2.

**Tabel III.2 Perhitungan Tebal Pelat Minimum**

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ ( $L_{pp}$ )	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1	
$C_2 = 3.6\sqrt{K}$ (Untuk sekat melintang)	3,6	
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1	Mild Steel
$S$ (Jarak antar penegar)	0,60 m	
$h_1$	2,70 m	
$l_t$ (Panjang tangki)	12,35 m	if $l_t < 10, l_t = 10$
$b_t$ (Lebar tangki)	10,00 m	if $l_b < 10, l_b = 10$
$\Delta h = 16/L(l_t - 10) + 0.25(b_t - 10)$	0,369	
$h_2 = 0.85(h_1 + \Delta h)$	2,61 m	
$h_3 = 0.3VL$	3,03 m	
$t_1$ (ketebalan untuk $h_1$ )	7,05 mm	
$t_2$ (ketebalan untuk $h_2$ )	6,99 mm	
$t_3$ (ketebalan untuk $h_3$ )	7,26 mm	
$t_{min}$ (tebal minimum disyaratkan kelas)	8,00 mm	for $L_{pp} < 105$ m
$t_{final}$ (tebal pelat yang digunakan)	<b>8 mm</b>	

Pada Tabel III.2, terdapat beberapa variabel yang harus dimasukkan ke dalam rumus perhitungan rules ClassNK. Yang pertama adalah  $L$  yang merupakan  $L_{pp}$  (*length between perpendicular*) kapal yaitu sebesar 102 m.  $C_1$  merupakan koefisien panjang kapal, didapat dari tabel *rules* yaitu untuk kapal dengan panjang dibawah 230 m memiliki koefisien = 1.  $C_2$  menggunakan rumus tersendiri untuk tiap bagian di kapal, dan untuk sekat melintang (*transverse bulkhead*) bernilai  $3,6\sqrt{K}$  dengan nilai  $K$  (*material factor*) = 1 (*mild steel*).  $S$  adalah jarak antar penegar. Kemudian  $h_1$  merupakan tinggi dari ujung bawah pelat yang ditinjau hingga ke bagian atas *hatchway*. Pada penelitian ini, pembagian pelat sekat akan disesuaikan mengikuti pembagian pelat pada data kapal asli, yaitu menjadi 3 lajur. Oleh karena itu, ada 3 nilai  $h_1$  yang akan dimasukkan, antara lain: 2,7 m, 5,7 m dan 8,3 m. Kemudian ada  $l_t$  dan  $b_t$  yang merupakan panjang dan lebar tangki, yaitu 12.35 m dan 10 m (lebar tangki asli = 8,6 m, namun untuk perhitungan *rules*, harus diinputkan 10 m apabila lebar kurang dari 10 m). Kemudian semua input tersebut dimasukkan ke dalam persamaan II.14 untuk mendapatkan tebal pelat akhir yang akan digunakan di tiap lajur pelat.

### III.5.2. Perhitungan Modulus Penegar Vertikal

Dengan menggunakan rumus di bab sebelumnya, yaitu persamaan II.15, modulus minimum penegar yang dibutuhkan dapat dihitung. Perhitungan dilakukan menggunakan *microsoft excel* dengan *input* dan hasil yang dapat dilihat pada Tabel III.3.

**Tabel III.3 Perhitungan Modulus Minimum Penegar Vertikal**

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ ( $L_{pp}$ )	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1,00	
$C_2 = K/18$	0,06	
$C_3$ (Koefisien ujung sambungan)	1,15	Rigid & Soft fixity di tiap ujung
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1,00	
$S$ (Jarak antar penegar)	0,60 m	
$l$ (Jarak antar penumpu(Girder))	3,00 m	
$h_1$	7,10 m	
$Z_1 = 125 * C_1 * C_2 * C_3 * S * h * l^2$	306 cm <sup>3</sup>	
$Z_{final}$ (Modulus minimum oleh kelas)	<b>306 cm<sup>3</sup></b>	

Tabel III.3 berisi *input* perhitungan (kolom berwarna kuning) serta hasil yang didapat setelah dimasukkan ke dalam rumus rules, yaitu persamaan II.15. Untuk penjelasan  $L$ ,  $C_1$ ,  $K$ ,  $S$ , sama seperti sebelumnya. Untuk  $C_2$ , rumus yang digunakan berbeda dengan  $C_2$  untuk menghitung tebal pelat, yaitu  $K/18$ . Kemudian, ada tambahan koefisien  $C_3$ , yaitu koefisien yang nilai tergantung pada jenis sambungan di ujung-ujung penegar. Salah satu ujung penegar dilakukan pengelasan dengan *bracket* (*rigid fixity*) dan ujung satunya di sambung dengan *bracket* ke *deck longitudinal* (*soft fixity*), sehingga besar koefisien  $C_3$  yang didapat dari tabel di rules sesuai jenis *end connectionnya* adalah 1,15. Kemudian ada  $l$ , yang merupakan jarak antar penumpu, yaitu sebesar 3 m. Untuk nilai  $h_1$  dari penegar vertikal berbeda dengan  $h_1$  pada perhitungan pelat sebelumnya, yaitu merupakan panjang/jarak yang diambil dari titik tengah penegar vertikal ke bagian atas *hatchway*. Kemudian semua *input* tersebut dimasukkan ke dalam persamaan II.15 untuk mendapatkan modulus minimum penegar vertikal untuk sekat melintang.

### III.5.3. Perhitungan Modulus Penegar Horizontal

Dengan menggunakan rumus di bab sebelumnya, yaitu persamaan II.16, modulus minimum penegar yang dibutuhkan dapat dihitung. Perhitungan dilakukan menggunakan *microsoft excel* dengan *input* dan hasil yang dapat dilihat pada Tabel III.4.

**Tabel III.4 Perhitungan Modulus Minimum Penegar Horizontal**

Deskripsi	Input
$S$	5,40 m
$h$	5,60 m
$l$	4,80 m
$Z_{final}$ (Modulus minimum oleh kelas)	<b>3309 cm<sup>3</sup></b>

Pada tabel III.4, berisi perhitungan modulus minimum yang disyaratkan kelas sesuai rumus *rules*, yang telah dituliskan pada persamaan II.16. Adapun  $S$  merupakan lebar yang

disangga oleh penumpu, yaitu bernilai 5,4 m. Kemudian ada  $h$ , yang merupakan jarak titik tengah  $S$ , ke titik atas sekat di *centerline* yaitu sebesar 5,6 m. Kemudian ada  $l$ , yaitu panjang girder horizontal, dimana nilainya harus dikurangi panjang kaki *bracket* apabila terpasang *bracket* pada ujung sambungannya, yaitu sebesar 4,8 m. Semua *input* tersebut dimasukkan ke dalam persamaan II.16 untuk mendapatkan modulus minimum di penumpu horizontal dari sekat melintang, yaitu sebesar  $3309 \text{ cm}^3$  untuk model sekat dengan variasi 2 buah penumpu horizontal.

### III.6. Desain Dimensi Penegar

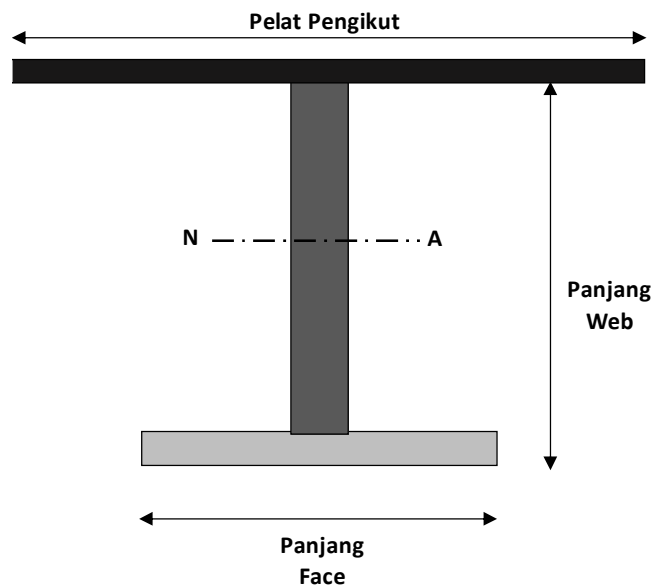
Setelah mengetahui modulus minimum yang dibutuhkan, selanjutnya perlu menghitung dan mendesain dimensi penegar yang akan digunakan, untuk memastikan penegar tersebut memiliki modulus diatas modulus yang disyaratkan kelas. Adapun data profil serta modulusnya bisa didapatkan langsung dari katalog profil yang bisa dengan mudah diakses di internet. Namun, untuk keperluan optimasi, perhitungan modulus juga dilakukan secara manual (*desain custom*), agar bisa mendapatkan variasi yang lebih banyak lagi (bisa lebih optimum). Untuk rumus menghitung modulus penegar berpedoman pada perhitungan di buku kekuatan kapal (Santosa, 2013), yaitu seperti pada persamaan II.17. Untuk menghitung momen inersianya, menggunakan tabel momen inersia seperti pada Tabel II.3. Untuk contoh perhitungan T-profile dapat dilihat pada Tabel III.5.

**Tabel III.5 Perhitungan Modulus T-Profile**

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>o</sub> [cm <sup>4</sup> ]
Web	1,2	68,5	35,75	82,20	2938,650	105056,738	32141,913
Face	25	1,5	0,75	37,50	28,125	21,094	7,031
		70		119,70	2966,78	105077,83	32148,94
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			137226,78 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			24,79 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>63695,00 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			45,21 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>1408,7 cm<sup>3</sup></b>				

Pada Tabel III.5 berisi perhitungan momen inersia dengan tabel (detail penjelasan dapat dilihat di dasar teori) dan juga perhitungan *section modulus* dari T-Profile/T-bar. Namun, pada perhitungan tersebut belum mempertimbangkan tambahan modulus akibat pelat pengikat (seperti pada Gambar III.3).





Gambar III.3 Dimensi T-Profile

Dengan mengacu kepada BKI dan Santosa, pelat pengikat diasumsikan sepanjang 40\*tebal bilah profil. Perhitungan dengan pelat pengikat dapat dilihat pada Tabel III.6.

Tabel III.6 Perhitungan Modulus Dengan Pelat Pengikat

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
T bar		70,00 cm	24,79 cm	119,700	2966,78	105077,83	32148,94
Pelat pengikat	48,00 cm	1,00 cm	70,50 cm	48	3384	238572	4,0
		71,000		167,700	6350,775	343649,831	32152,944

Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)	375802,78 cm <sup>4</sup>
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)	37,87 cm
Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)	135299,83 cm <sup>4</sup>
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)	37,87 cm
Modulus penampang (Z)	3572,8 cm <sup>3</sup>

Tabel III.6 berisi perhitungan momen inersia dengan tabel serta *section modulus* dari *T-profile* beserta pelat pengikutnya. Dikarenakan tebal bilah profil (*web thickness*) = 12 mm, maka panjang asumsi pelat pengikat adalah 40 x 12 mm yaitu 480 mm. Kemudian untuk tebal pelat pengikat sendiri dimasukkan sebesar 10 mm sesuai dengan perhitungan tebal pelat minimum.

### III.7. Perhitungan Beban Statis Tangki

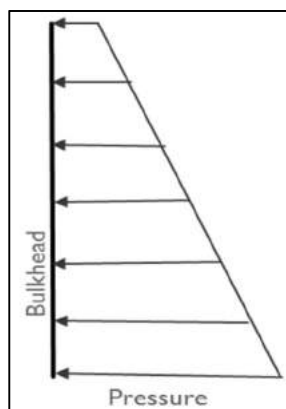
Untuk keperluan analisis struktur, kita harus menghitung besarnya pembebanan tekanan statis tangki yang akan diaplikasikan ke struktur sekat yang ingin kita uji. Untuk rumus perhitungan dapat dilihat pada persamaan II.13, dengan mengacu kepada Rules CSR-T dari

ClassNK. Adapun perhitungan dilakukan menggunakan bantuan *software* microsoft excel, seperti yang dapat dilihat pada Tabel III.7.

Tabel III.7 Tabel Perhitungan Pembebanan Tekanan Statis Tangki

Tekanan Statis Tangki (Pada Dasar Tangki)	
Deskripsi	Input Field
$\rho_{sw}$ (massa jenis air laut)	1,025 ton/m <sup>3</sup>
$g$ (percepatan gravitasi)	9,81 m/s <sup>2</sup>
$z_{test}$ (dari titik beban ke puncak tangki + 2.4m)	10,7 m
$z_{tk}$ (dari titik beban ke puncak tangki)	8,3 m
$P_{valve}$ (tekanan katup pressure relief min. = 25 KPa)	25 KPa
<b><math>P_{in-test}</math> (Tekanan statis tangki)</b>	<b>108 KPa</b>
Tekanan Statis Tangki (Pada Puncak Tangki)	
Deskripsi	Input Field
$\rho_{sw}$ (massa jenis air laut)	1,025 ton/m <sup>3</sup>
$g$ (percepatan gravitasi)	9,81 m/s <sup>2</sup>
$z_{test}$ (dari titik beban ke puncak tangki + 2.4m)	2,4 m
$z_{tk}$ (dari titik beban ke puncak tangki)	0,0 m
$P_{valve}$ (tekanan katup pressure relief min. = 25 KPa)	25 KPa
<b><math>P_{in-test}</math> (Tekanan statis tangki)</b>	<b>25 KPa</b>

Tabel III.7 menunjukkan perhitungan beban statis tangki sesuai rules CSR-T oleh ClassNK. Pada dasarnya rumus pada persamaan II.13 yang digunakan dalam perhitungan merupakan hukum archimedes biasa, dimana semakin besar kedalaman cairan fluida, maka semakin besar pula tekanan yang diterima. Adapun bentuk pembebanannya seperti yang dapat dilihat pada Gambar III.4.



Gambar III.4 Diagram Beban Statis Tangki

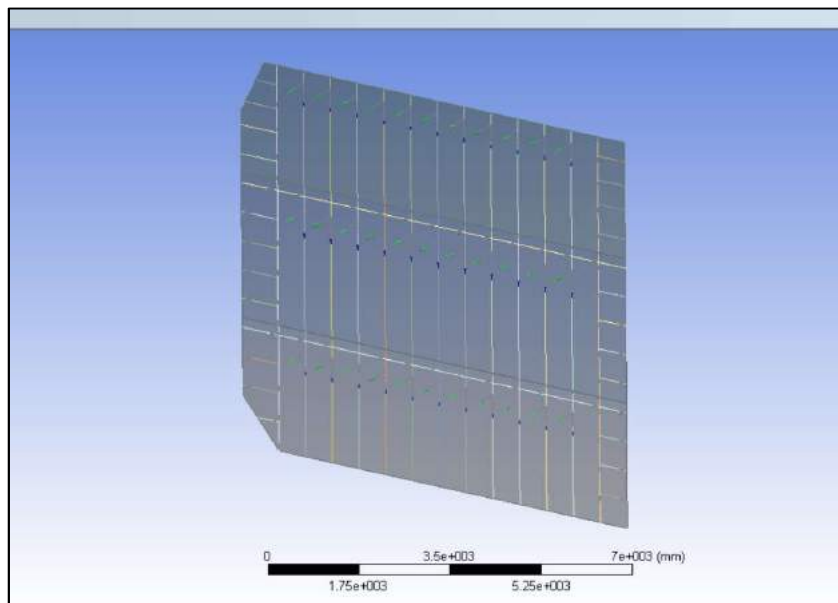
### III.8. Permodelan Finite Element Analysis

Setelah selesai menghitung *bulkhead scantlings*, *loads* (pembebanan) dan mendesain dimensi penegar yang digunakan, selanjutnya adalah membuat permodelan untuk *Finite Element Analysis* (FEA). Berikut adalah tahap-tahapnya:

#### III.8.1. Pembuatan Geometri

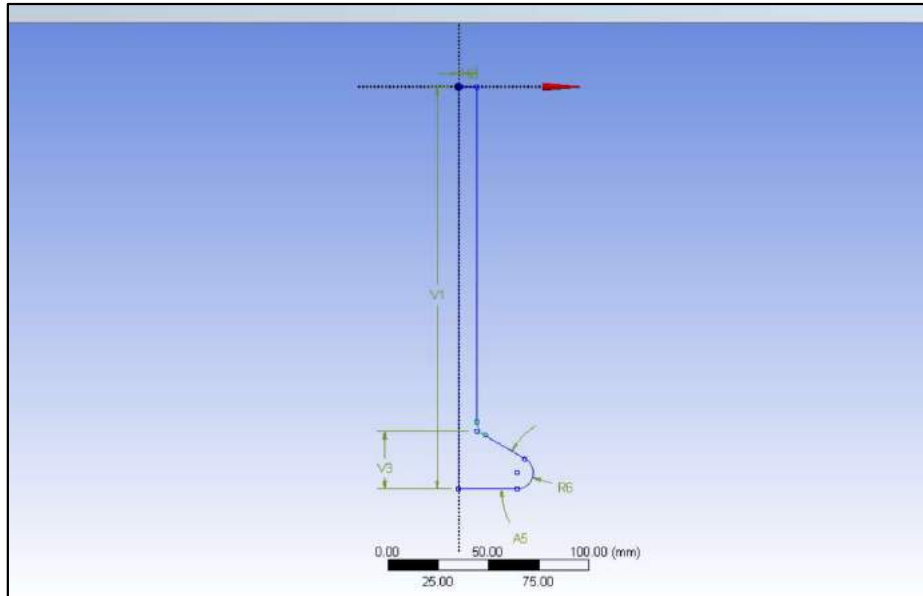
Pembuatan geometri dilakukan menggunakan *Software FEA Design Modeler*. Geometri yang dibuat adalah geometri 2 dimensi (seperti yang dapat dilihat pada Gambar III.5). Hal ini adalah untuk mempercepat waktu komputasi dan juga untuk kasus pelat berpenegar dianggap lebih efektif apabila menggunakan analisis elemen 2 dimensi, dikarenakan pelat apabila dimodelkan 3 dimensi memiliki *aspect ratio* yang terlalu tinggi akibat perbedaan panjang dan tebal pelat serta waktu komputasi yang dibutuhkan lebih lama. Adapun tujuan lain digunakannya *Software FEA Design Modeler* antara lain:

1. Untuk meminimalisir *error* akibat penggunaan *software design* lain yang berbeda
2. Untuk mendefinisikan *surface* sebagai *shell element*
3. Untuk mendefinisikan *line* sebagai *beam element*



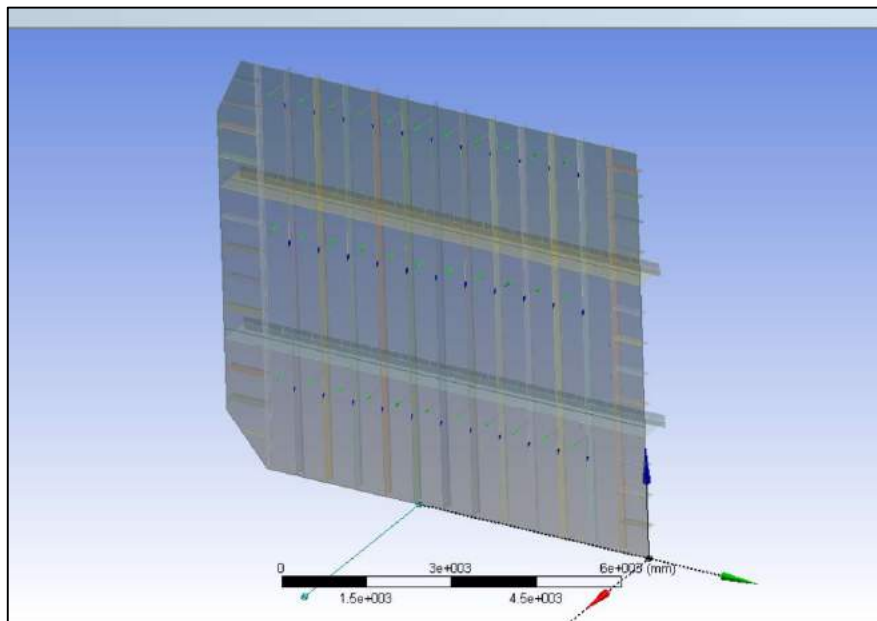
Gambar III.5 Desain 2D Sekat Melintang

Setelah mendesain geometri, selanjutnya perlu untuk mendefinisikan dimensi dan jenis profil *beam* yang akan diaplikasi ke *line* yang telah dibuat seperti yang terlihat pada Gambar III.6.



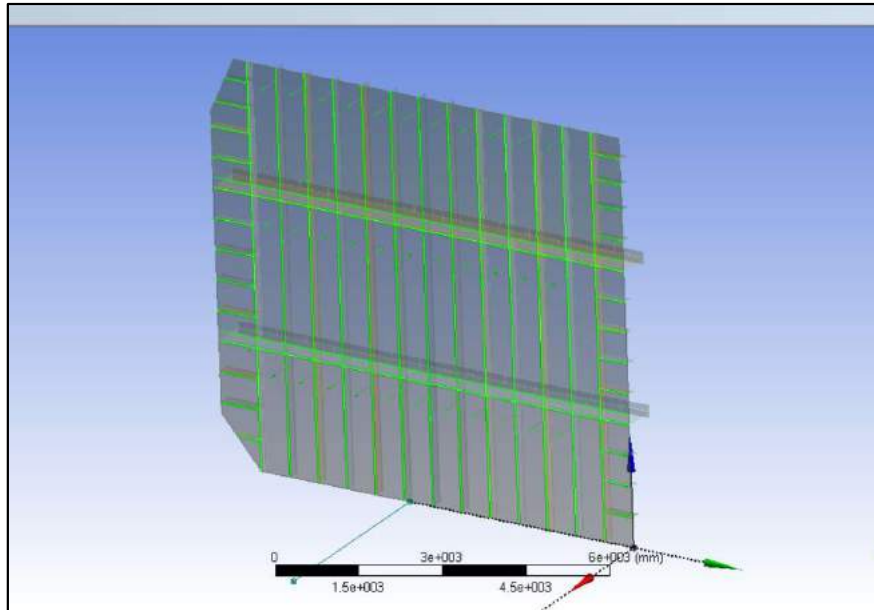
**Gambar III.6 Desain Profil *Beam***

Untuk *surface*, didefinisikan tebalnya saja. Untuk *beam* harus didefinisikan profil *beam* nya atau bentuk *cross section*-nya. Setelah semuanya diinputkan, maka kita dapat melihat *view* dengan *cross section solids* seperti yang dapat dilihat pada Gambar III.7.



**Gambar III.7 Desain Dengan *View Cross Section Solids***

Kemudian setelah itu, kita harus mendefinisikan sambungan antar penegar maupun pelat dengan fitur *joint*. Seluruh sambungan harus dipastikan terpasang dengan benar dan terdeteksi sebagai sambungan (ditandai dengan garis berwarna hijau terang).



Gambar III.8 Garis Hijau Tanda Joint Sambungan

### III.8.2. Input Material Engineering Data

Sebelum masuk ke analisis, *material engineering data* perlu untuk diinputkan terlebih dahulu terlebih dahulu. Data material yang dimasukkan adalah sesuai dengan data asli *material* yang diterima dari galangan, yaitu menggunakan *material KA36* atau setara dengan *standard steel ASTM A36*. Berikut pada Gambar III.9 adalah tampilan *material properties* yang telah diinputkan pada *software FEA*.

Properties of Outline Row 3: Structural Steel				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7850	kg m <sup>-3</sup>	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's ...		
8	Young's Modulus	2E+11	Pa	
9	Poisson's Ratio	0.3		
10	Bulk Modulus	1.6667E+11	Pa	
11	Shear Modulus	7.6923E+10	Pa	
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular		
16	Strain-Life Parameters			
24	Tensile Yield Strength	2.5E+08	Pa	
25	Compressive Yield Strength	2.5E+08	Pa	
26	Tensile Ultimate Strength	4.6E+08	Pa	
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa	

Gambar III.9 Material Properties Standard Steel

### III.8.3. Meshing

Setelah memilih jenis analisis FEM yang dibutuhkan, yaitu *static structural analysis*, selanjutnya adalah mengimport geometri untuk kemudian dilakukan meshing, yaitu diskretisasi

geometri menjadi bagian-bagian kecil yaitu elemen. Pada proses *meshing*, *input* yang harus diberikan adalah ukuran elemen dan tipe elemen. Untuk ukuran elemen awal yang digunakan adalah sebesar jarak antar penegar, yaitu 600 mm pada model awal sesuai data asli. Nantinya, perlu dilakukan *studi konvergensi mesh*, untuk memastikan keakuratan hasil analisis dengan ukuran *mesh* yang sudah dipilih.

Untuk analisisnya sendiri menggunakan geometri elemen 2 dimensi dan 1 dimensi, sehingga geometri untuk pelat digantikan *surface*, dan *geometri* untuk penegar digantikan oleh garis (*line*) seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya. Untuk tipe elemen, dikarenakan analisis menggunakan model 2 dimensi, maka untuk pelat menggunakan elemen *SHELL181* dan untuk penegar menggunakan elemen *BEAM188*. Adapun untuk memastikan tipe elemen yang digunakan sudah benar, dapat dilakukan pengecekan pada *solution information* pada *software FEA* seperti pada Gambar III.10. Pemilihan menggunakan elemen ini adalah dengan tujuan untuk mempercepat waktu komputasi dan membuat analisis menjadi lebih efisien.

```

Range of element maximum matrix coefficients in global coordinates
Maximum = 9.458722082E+13 at element 3112.
Minimum = 51058408.1 at element 46783.

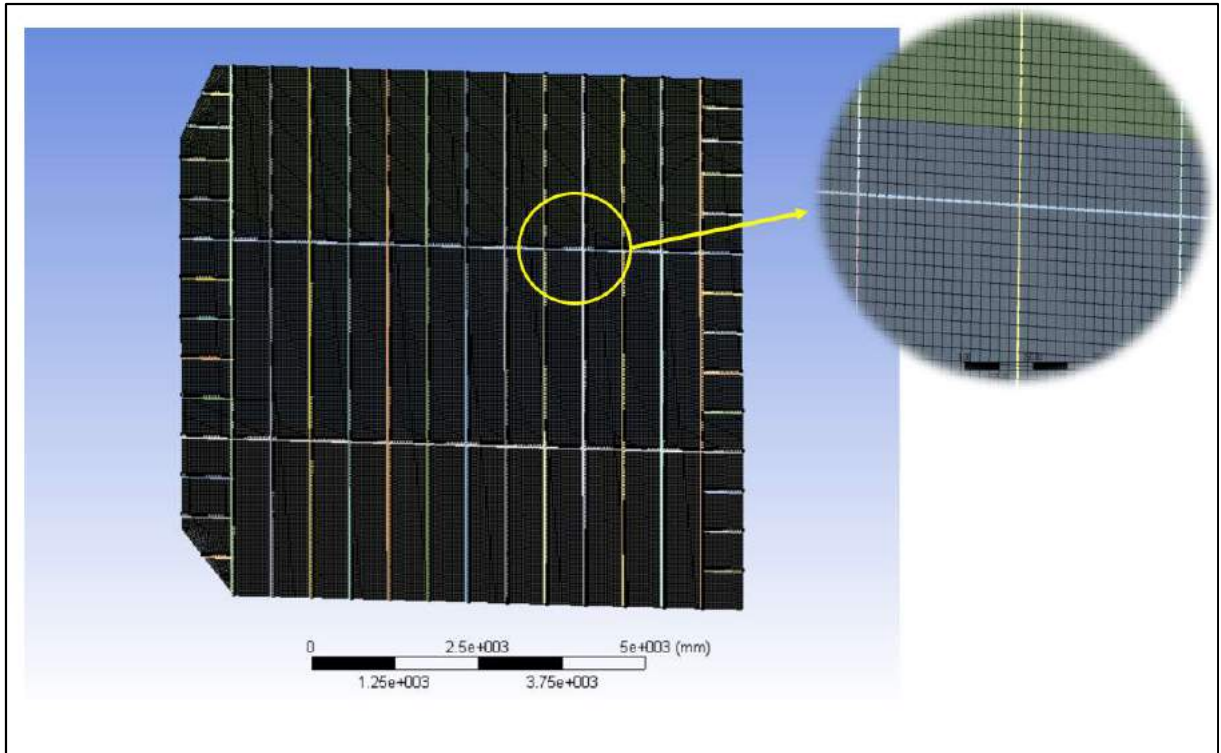
*** ELEMENT MATRIX FORMULATION TIMES

```

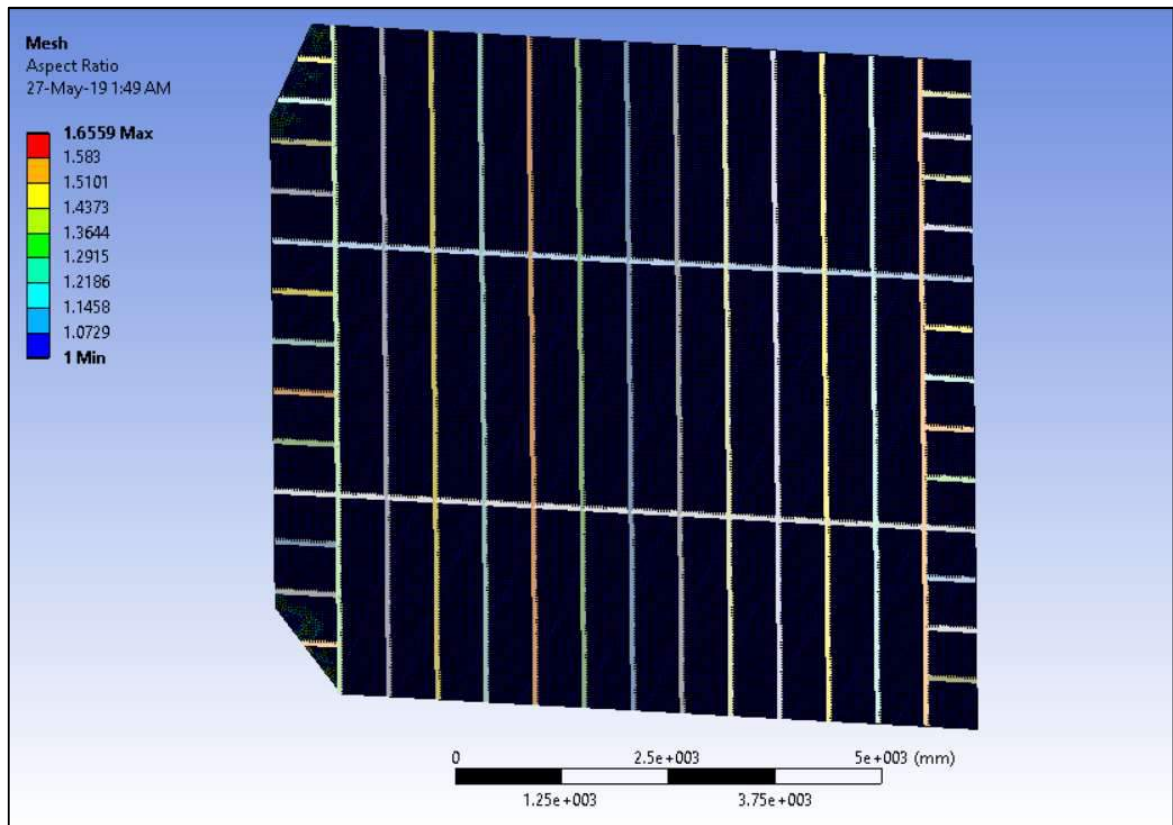
TYPE	NUMBER	ENAME	TOTAL CP	AVE CP
1	17749	SHELL181	1.453	0.000082
2	20984	SHELL181	1.797	0.000086
3	16832	SHELL181	1.609	0.000096
4	230	BEAM188	0.000	0.000000
5	230	BEAM188	0.016	0.000068
6	230	BEAM188	0.000	0.000000
7	230	BEAM188	0.000	0.000000
8	230	BEAM188	0.016	0.000068
9	230	BEAM188	0.016	0.000068
10	230	BEAM188	0.000	0.000000
11	230	BEAM188	0.016	0.000068
12	230	BEAM188	0.000	0.000000
13	230	BEAM188	0.000	0.000000
14	230	BEAM188	0.016	0.000068
15	230	BEAM188	0.000	0.000000

**Gambar III.10 Solution Information Menampilkan Tipe Elemen Yang Digunakan**

Adapun setelah semua *input* selesai dimasukkan, *meshing* dapat dilakukan. Untuk tampilan model sekat melintang setelah *meshing* dapat dilihat pada Gambar III.11. Setelah *meshing* selesai dilakukan, kita harus mengecek apakah kualitas *mesh* yang digunakan sudah cukup baik. Salah satu parameter untuk menentukan bagus tidaknya sebuah *mesh* adalah *aspect ratio*. Pada banyak kasus *finite element analysis*, semakin tinggi *aspect ratio* suatu *mesh*, maka ketidakakuratan hasil analisisnya semakin tinggi pula (Logan et al., 2011). Oleh karena itu, dengan menggunakan *software FEA*, kita juga harus memastikan *aspect ratio meshnya* sebisa mungkin mendekati nilai 1, karena itu merupakan *aspect ratio* yang sempurna yang bisa didapat dalam sebuah *meshing*.



**Gambar III.11 Hasil Meshing Pada Model Asli Sekat Melintang**  
 Untuk pengecekan bisa dilakukan pada *software FEA* di bagian opsi pengecekan *mesh*, dan hasilnya seperti yang terlihat pada Gambar III.12.

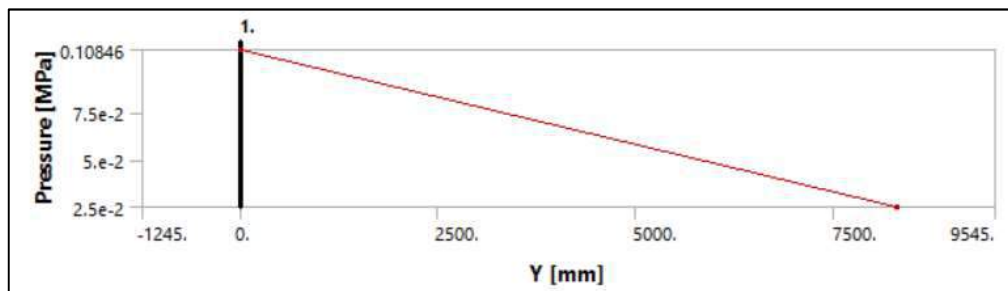


**Gambar III.12 Pengecekan Nilai *Aspect Ratio***

Pada Gambar III.12 terlihat *aspect ratio* terbesar bernilai 1.6559, dan terkecil berwarna biru yaitu sebesar 1 (sempurna). Menurut Logan (2011), dengan ukuran *aspect ratio* 1.5, *error displacement* yang dihasilkan yaitu sebesar 6.4%. Sehingga dengan ukuran *aspect ratio* 1.6559, pertimbangan penulis adalah tetap menggunakan hasil *mesh* tersebut. Pertimbangan lain dalam hal ini adalah, *aspect ratio* maksimum tersebut hanya terjadi di beberapa titik dan tidak terjadi pada daerah dengan konsentrasi tegangan yang tinggi, sehingga secara keseluruhan *mesh* yang dihasilkan masih dapat diterima dan hasil analisis pun demikian.

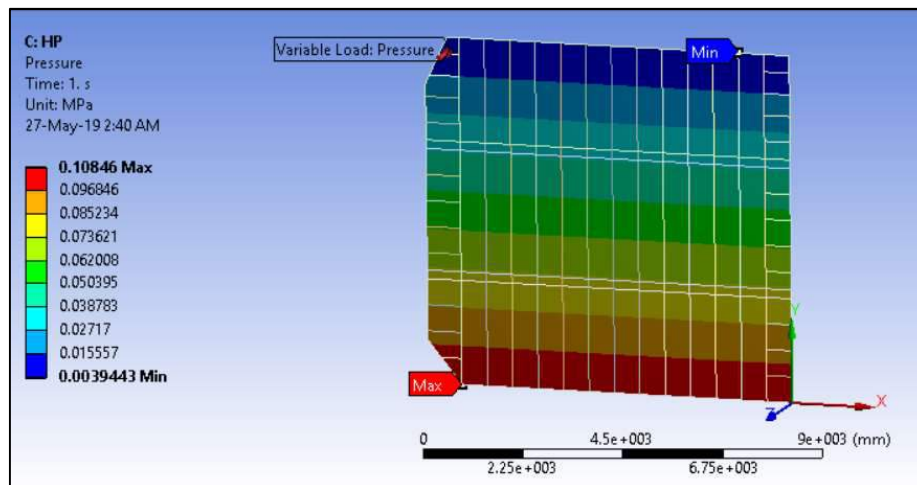
### III.8.4. Input Pembebanan (*Load*)

Setelah *meshing* selesai dilakukan, selanjutnya adalah menginputkan pembebanan pada model sekat melintang. Untuk beban yang dimasukkan adalah tekanan statis tangki, yang telah dihitung sebelumnya menggunakan *rules CSR-T ClassNK*. Untuk input pembebanan dengan bentuk trapesium, digunakan fitur *load* dengan fungsi tinggi di *software FEA*. Adapun bentuk diagram pembebanan dapat dilihat di Gambar III.13.



Gambar III.13 Diagram Pembebanan Fungsi Tinggi (Sumbu Y)

Adapun pembebanan diaplikasikan di salah satu sisi sekat melintang saja, karena dalam analisis, penulis ingin menguji kondisi ekstrim pembebanan yang dapat diterima oleh sekat. Adapun persebaran bebannya seperti yang dapat dilihat pada Gambar III.14.



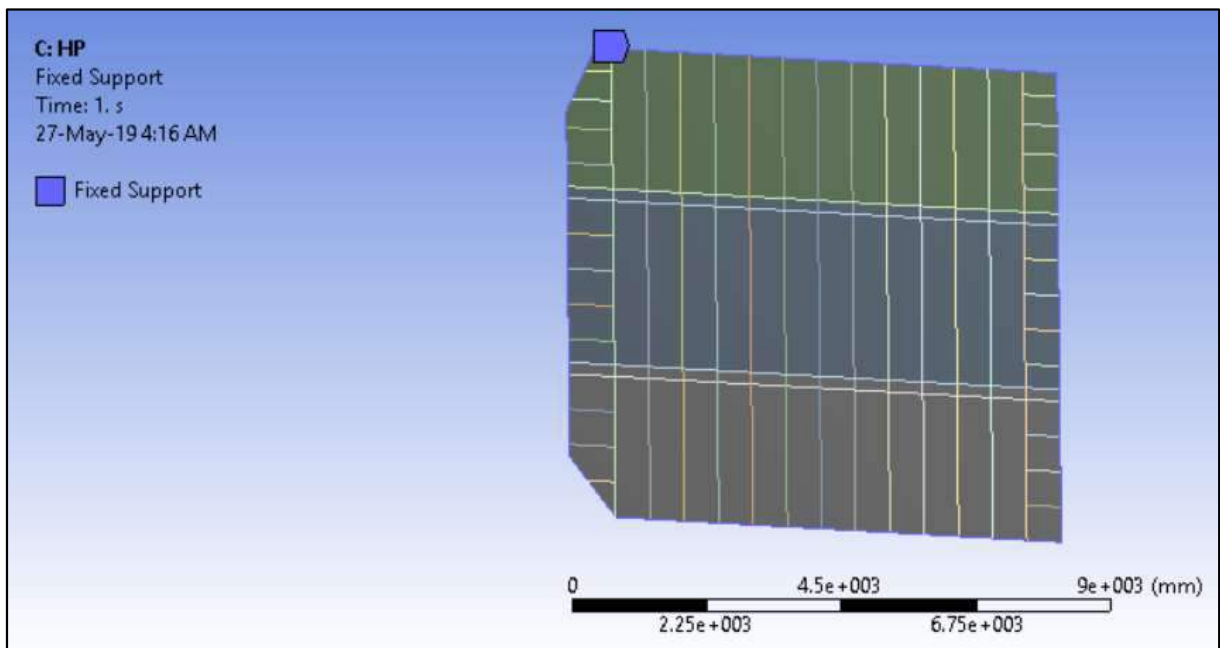
Gambar III.14 Persebaran Beban Tekanan Statis Tangki



Pada Gambar III.14, dapat dilihat pembebanan maksimum terjadi pada dasar tangki yaitu sebesar 0.108 MPa dan pembebanan minimum pada bagian atas tangki sebesar 0.004 MPa.

### III.8.5. Input Kondisi Batas (*Boundary Condition*)

Dalam menentukan kondisi batas, haruslah menyerupai (atau semirip mungkin) dengan kondisi asli yang terjadi di dunia nyata. Pada sekat melintang, di setiap ujung strukturnya dilakukan pengelasan sebagai sambungan terhadap lambung kapal (*hull*). Karena penulis tidak memodelkan lambung kapal melainkan hanya sekat melintangnya saja, maka penulis perlu mendefinisikan ujung-ujung sekat melintang sebagai *fixed support* (seperti yang terlihat pada Gambar III.15), yaitu sebagai asumsi kondisi pengganti pengelasan pada tiap ujung sambungan sekat melintang tersebut. Pada ujung-ujung sekat melintang yang didefinisikan sebagai *fixed support*, tidak terjadi translasi ( $[UX, UY, UZ] = 0$ ) maupun rotasi ( $[ROTX, ROTY, ROTZ] = 0$ ).



**Gambar III.15 Kondisi Batas *Fixed Support* Di Ujung Sekat**

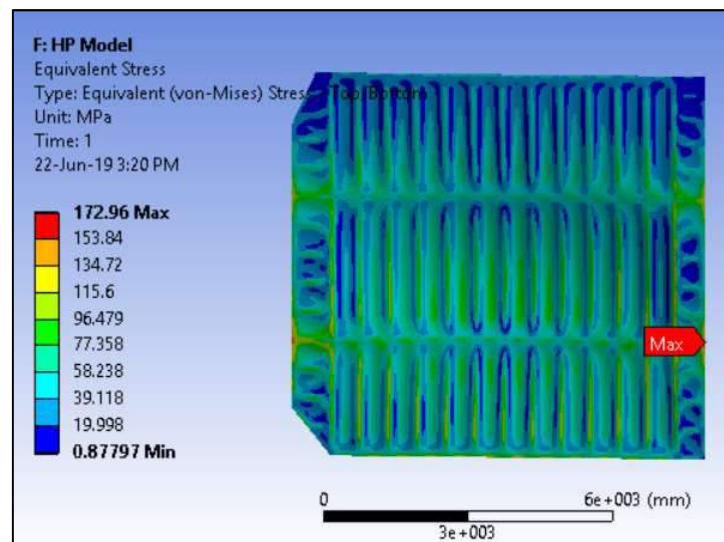
Pada Gambar III.15, model sudah diberi kondisi batas berupa *fixed support* di ujung-ujungnya, sehingga semua tahap *pre-processor* sudah lengkap, dan analisis permodelan dapat segera di dijalankan (*running analysis*).

### III.8.6. Hasil *Post Processor* (*Post Processor Result*)

Setelah proses *running analysis* selesai, maka didapatkan hasil berupa *stress*, *deformation*, *strain*, dan *strain energy*. Namun, yang penulis fokuskan adalah hasil tegangannya, yaitu tegangan ekivalen von mises. Hal ini dikarenakan untuk kriteria kegagalan

berdasarkan rules kelas ClassNK, didasarkan atas tegangan izin, dimana tegangan yang dimaksud adalah tegangan ekivalen von-mises. Untuk tampilan hasil analisis tegangan von-mises dapat dilihat pada Gambar III.16.

Pada Gambar III.16, dapat dilihat bahwa tegangan von-mises maksimum yang terjadi pada struktur sekat melintang adalah sebesar 172,96 MPa. Untuk tegangan izin yang disyaratkan kelas untuk struktur sekat melintang adalah sebesar 175 MPa, yang dihitung dengan menggunakan rumus pada persamaan II.10, dengan memasukkan nilai K untuk *mild steel* yaitu sebesar 1. Oleh karena hasilnya berada dibawah tegangan izin, maka model ini memenuhi faktor keamanan yang disyaratkan kelas.



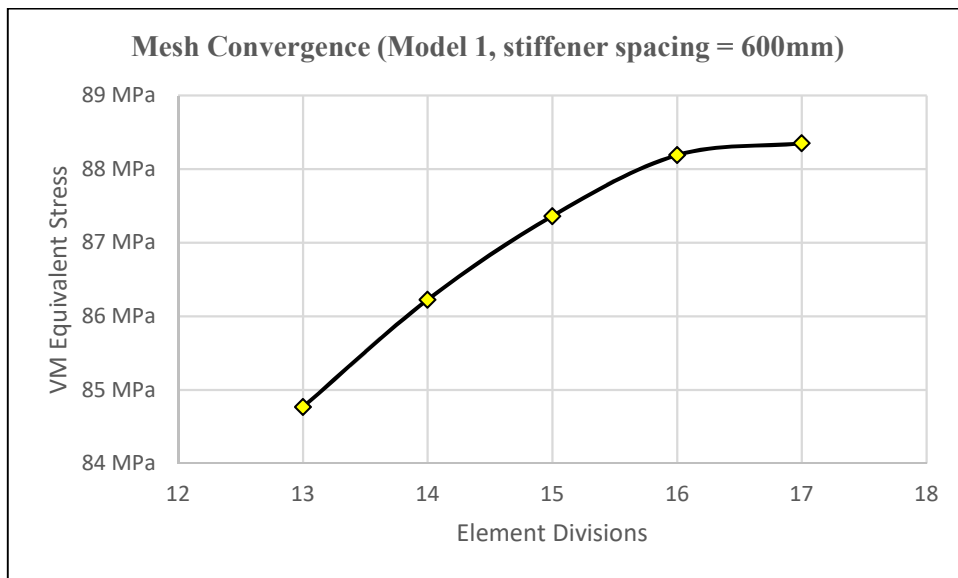
Gambar III.16 Hasil Akhir Tegangan Ekivalen Von-Mises

### III.8.7. Studi Konvergensi Mesh (Studi konvergensi mesh)

Untuk memvalidasi hasil *equivalent stress* yang didapat pada model, dibutuhkanlah studi konvergensi *mesh*. Studi konvergensi *mesh* dilakukan dengan membagi ukuran elemen awal menjadi lebih kecil (*element division*). Penulis melakukan membagi ukuran awal elemen menjadi 2,3,4 dan seterusnya, dan melakukan *running analysis* di menggunakan setiap ukuran *mesh* tersebut. Adapun penulis meninjau *equivalent stress* pada satu *node* yaitu dinamakan Node Z dengan koordinat  $(x,y,z)=(-4200,2600,0)$ . Penulis akan berhenti melakukan *running analysis* untuk tiap *element division*, apabila konvergensi telah tercapai, yaitu ketika hasil *equivalent stress* yang didapat pada node Z, mendekati atau bahkan sama dengan hasil *running analysis* untuk tiap *element division* sebelumnya. Ukuran *mesh* akhir itulah yang dianggap paling *valid* dengan tingkat *error* yang rendah, dan selanjutnya akan digunakan untuk model sekat melintang lain

yang memiliki jarak penegar yang sama. Berikut adalah contoh diagram studi konvergensi *mesh* yang didapat dari *running analysis* model asli sekat melintang.

Pada Gambar III.17 dapat dilihat bahwa hasil *running analysis* tegangan ekuivalen pada ukuran mesh dengan *element division* 17 adalah sebesar 88,4 MPa, tidak berbeda jauh dengan hasil *running analysis* pada dengan ukuran *element division* 16, yaitu sebesar 88,2 MPa, sehingga apabila dihitung persentasenya adalah sekitar 0,23%. Adapun penulis menggunakan batasan *error* harus dibawah 1%, untuk memastikan bahwa hasil *running* sudah konvergen. Dengan demikian hasil *running* dengan ukuran *mesh* dengan *element division* 17 (yaitu sebesar  $600/17 = 35.29$  mm) dapat diterima, dan ukuran *mesh* ini akan digunakan pada *running* model lain dengan *jarak* penegar yang sama.



Gambar III.17 Konvergensi mesh Pada Model Dengan Jarak Penegar 600 mm

### III.9. Optimasi Desain Sekat Melintang

Penulis membuat batasan optimasi, yaitu apabila hasil analisis tegangan pada model sekat ternyata nilainya masih berada di *range* lebih dari 10% dibawah tegangan izin, maka penulis akan melakukan optimasi dengan mengecilkan modulus penegar sekat yang digunakan. Hal ini diperbolehkan oleh ClassNK, tepatnya pada *Rules Chapter 32.9 Part C*, yang menyatakan bahwa hasil modulus penegar yang didapat dari perhitungan rumus (*formula*), dapat digantikan dengan hasil perhitungan modulus dengan *direct strength calculation* yaitu menggunakan *finite element analysis*. Oleh karena itu, penulis akan mengecilkan modulus penegar sekat, hingga memenuhi batasan yang penulis tetapkan yaitu nilai tegangan ekuivalen berada di *range* 10% dibawah tegangan izin.

### III.10. Menghitung Berat Struktur Sekat

Setelah selesai optimasi, kemudian berat struktur sekat dihitung menggunakan *software* FEA yang sama. Pada geometri *properties*, bisa dilihat berat total model yang telah dianalisis seperti yang terlihat pada Gambar III.18.



Properties	
<input type="checkbox"/> Volume	1.1694e+009 mm <sup>3</sup>
<input type="checkbox"/> Mass	9180.1 kg
Scale Factor Va...	1.

Gambar III.18 Geometri *Properties* Pada Model

Pada Gambar III.18, dapat dilihat massa/berat dari struktur sekat melintang model asli adalah sebesar 9180,1 kg. Kemudian berat konstruksi dicatat, dan dibandingkan dengan berat konstruksi model lain.

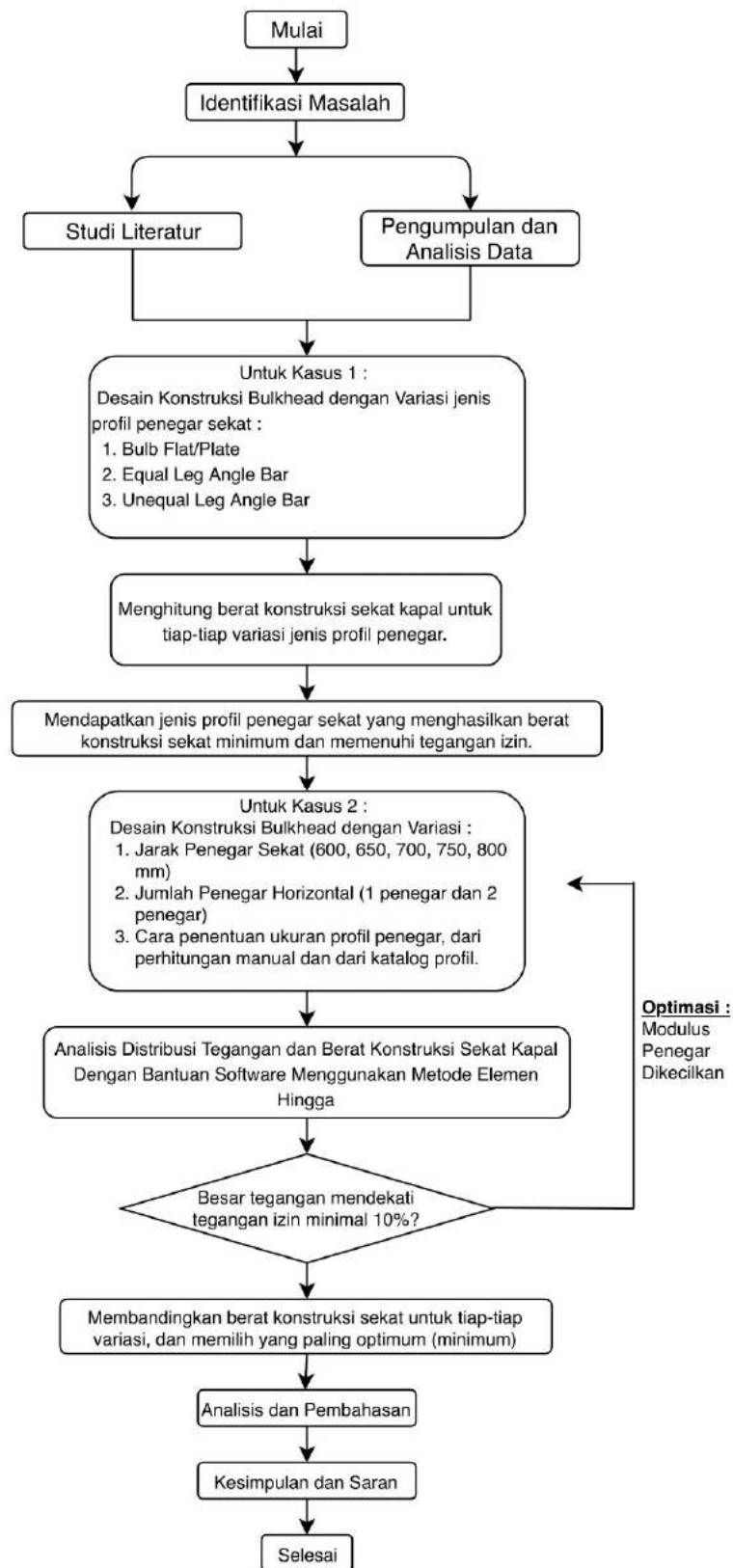
### III.11. Analisa dan Pembahasan

Pada tahap ini dilakukan analisa hasil *running analysis* tegangan beserta berat struktur dari seluruh model. Adapun model total keseluruhan sebanyak 23 model sekat melintang, diantaranya: 3 model pada kasus 1 untuk membandingkan variasi jenis profil penegar terhadap berat sekat melintang, dan 20 model pada kasus 2 untuk membandingkan variasi jarak penegar, jumlah penumpu, serta variasi modulus penegar katalog (tersedia di pasaran) dengan modulus penegar desain sendiri.

### III.12. Penarikan Kesimpulan

Pada tahapan ini akan ditarik kesimpulan mengenai model konstruksi sekat melintang mana yang memiliki berat konstruksi paling optimum (minimum), serta besarnya tegangan yang terjadi pada variasi model tersebut.

### III.13. Bagan Alir



Halaman ini sengaja dikosongkan



## **BAB IV**

# **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### IV.1. Perhitungan *load* (tekanan statis tangki)

Perhitungan *load* sesuai dengan Rules CSR-T ClassNK yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya, yaitu dihitung menggunakan rumus pada persamaan II.13, dan hasilnya adalah seperti yang terlihat pada Tabel IV.1.

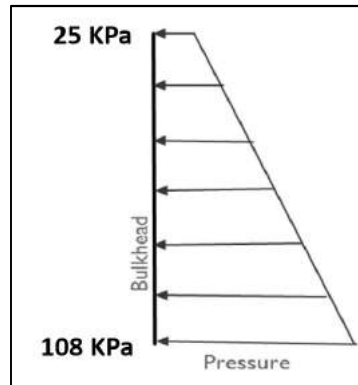
Tabel IV.1 Perhitungan *load* (tekanan statis tangki)

<b>Tekanan Statis Tangki (Pada Dasar Tangki)</b>	
Deskripsi	Input Field
$\rho_{sw}$ (massa jenis air laut)	1,025 ton/m <sup>3</sup>
$g$ (percepatan gravitasi)	9,81 m/s <sup>2</sup>
$z_{test}$ (dari titik beban ke puncak tangki + 2.4m)	10,7 m
$z_{tk}$ (dari titik beban ke puncak tangki)	8,3 m
$P_{valve}$ (tekanan katup pressure relief min. = 25 KPa)	25 KPa
<b><math>P_{in-test}</math> (Tekanan statis tangki)</b>	<b>108 KPa</b>
<b>Tekanan Statis Tangki (Pada Puncak Tangki)</b>	
Deskripsi	Input Field
$\rho_{sw}$ (massa jenis air laut)	1,025 ton/m <sup>3</sup>
$g$ (percepatan gravitasi)	9,81 m/s <sup>2</sup>
$z_{test}$ (dari titik beban ke puncak tangki + 2.4m)	2,4 m
$z_{tk}$ (dari titik beban ke puncak tangki)	0,0 m
$P_{valve}$ (tekanan katup pressure relief min. = 25 KPa)	25 KPa
<b><math>P_{in-test}</math> (Tekanan statis tangki)</b>	<b>25 KPa</b>

Pada tabel IV.1, dapat dilihat bahwa perhitungan dilakukan 2 kali, dengan meninjau dua titik *load point* (titik beban), yaitu pada dasar tangki dan pada puncak teratas tangki. Beban kemudian akan disebarkan merata berbentuk trapesium seperti yang terlihat pada Gambar IV.1.

Bentuk persebaran beban statis tangki sesuai dengan hukum archimedes, dimana semakin tinggi kedalaman, maka tekanan yang diterima semakin besar. Itulah mengapa tekanan terbesar tangki terletak pada dasar tangki yaitu sebesar 108 KPa, dan tekanan minimal terletak pada bagian atas tangki yaitu sebesar 25 KPa.





Gambar IV.1 Persebaran Beban Statis Tangki Berbentuk Trapesium

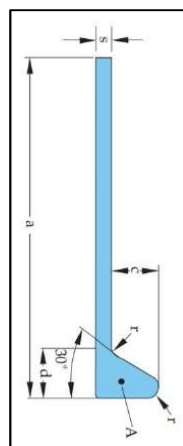
## IV.2. Kasus 1 (Perbandingan Jenis Profil Penegar)

Pada kasus 1, akan membandingkan 3 model dengan variasi jenis profil penegar yaitu profil *bulb*, *equal angles* dan *unequal angles*. Adapun dalam mendesain 3 model ini, akan digunakan besar modulus profil yang sama besarnya (sesuai data asli), dan kemudian akan dilakukan analisis tegangan pada sekat melintang tersebut, dan akan dihitung berat konstruksi model sekat yang paling ringan.

### IV.2.1. Mendesain Profil Penegar

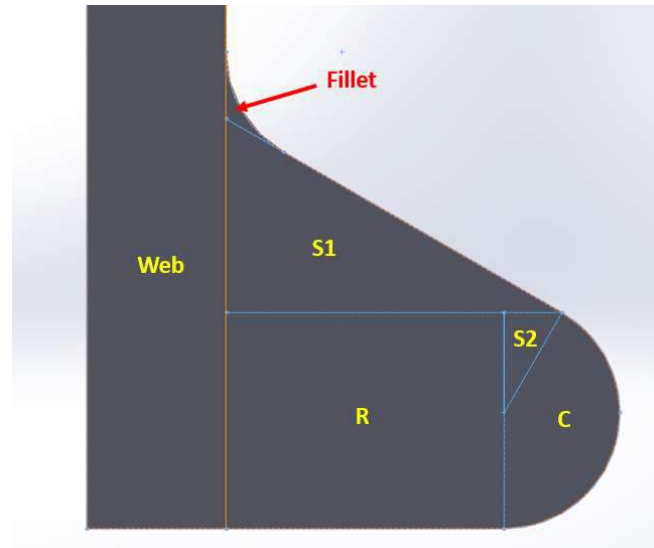
#### a. Bulb Profile

Dalam mendesain *bulb profile*, perhitungan modulus dengan dengan analitik menggunakan tabulasi untuk menghitung momen inersianya (seperti dijelaskan pada bab sebelumnya menggunakan Tabel II.3) dan menggunakan rumus menghitung modulus pada persamaan II.17. Dalam membuat perhitungan analitik modulus *bulb profile*, penulis menggunakan acuan standar EN 10067, dengan dimensi *bulb* dapat dilihat pada Gambar IV.2.



Gambar IV.2 Dimensi Bulb Profile

Pada Gambar IV.2 terlihat bahwa dalam menghitung momen inersia *bulb* menggunakan tabulasi, tidaklah semudah menghitung profil *angle bar* ataupun *T-profile*, yang bagiannya hanya terdiri dari *web* dan *face*. Adapun dalam melakukan perhitungan, penulis membagi bagian *bulb* menjadi beberapa bagian seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.3.



**Gambar IV.3 Pembagian Bentuk Penampang Pada Profil Bulb**

Pembagian ini dilakukan untuk mempermudah perhitungan momen inersia dengan tabulasi. Untuk dimensi profil *bulb* dapat dilihat pada Tabel IV.2.

**Tabel IV.2 Dimensi Profil Bulb**

INPUT (mm)		(cm)
a	200	20.00 cm
s	9	0.90 cm
c	28	2.80 cm
d	28.8	2.88 cm
r		0.8 cm
Profile Read		
200x9		

Kemudian, dilakukan perhitungan momen inersia dan kemudian modulus penampangnya menggunakan tabulasi seperti yang dapat dilihat pada Tabel IV.3. Pada Tabel IV.3 dapat dilihat perhitungan momen inersia untuk profil *bulb* beserta dengan perhitungan modulus penampangnya. Pada perhitungannya, luas penampang dibagi menjadi beberapa bagian seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.3.

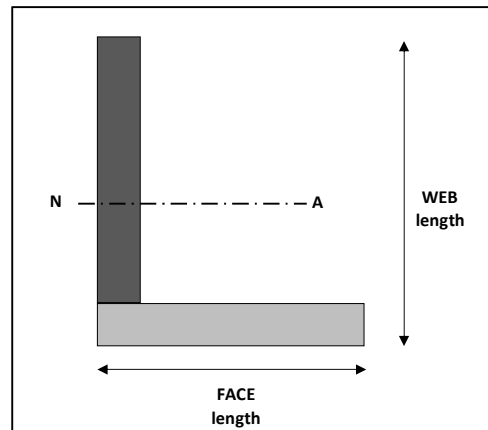
Tabel IV.3 Tabulasi Perhitungan Inersia Dan Modulus Penampang *Bulb Profile*

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>o</sub> [cm <sup>4</sup> ]
Web			10,00 cm	18,00	180,000	1800,000	600,000
Segitiga 1 (S1)			1,99 cm	1,59	3,162	6,301	0,468
Persegi (R)			0,77 cm	3,05	2,365	1,832	0,611
Segitiga 2 (S2)			1,07 cm	0,15	0,160	0,171	0,013
Lingkaran 150° (C)			0,72 cm	0,90	0,652	0,471	0,126
Fillet			2,91 cm	0,02	0,066	0,192	0,000
		20,00 cm		23,713	186,40	1808,97	601,22
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			2410,19 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			7,86 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>944,87 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			12,14 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>77,8 cm<sup>3</sup></b>				

Untuk moment of area didapatkan dari perkalian luas dengan lengan terhadap garis dasar (yaitu jarak dari *center of gravity* masing-masing bagian ke garis dasar). Kemudian untuk  $2^{nd}$  *moment of area* didapatkan dari mengalikan kembali *moment of area* dengan lengan terhadap garis dasar. Untuk menghitung momen inersia penampang individu ( $I_o$ ), untuk bagian “web” dan “persegi” menggunakan rumus inersia *rectangle* biasa yaitu  $1/12 \cdot b \cdot h^3$ , kemudian dengan memasukkan nilai lebar (b) dan tinggi (h) dari masing-masing bagian didapatkanlah momen inersia individu ( $I_o$ ) masing-masing sebesar  $600 \text{ cm}^4$  dan  $0,611 \text{ cm}^4$ . Untuk bagian “segitiga” (S1 dan S2) menggunakan rumus inersia untuk segitiga yaitu  $1/36 \cdot b \cdot h^3$ , kemudian dengan memasukkan nilai lebar (b) dan tinggi (h) dari masing-masing S1 dan S2 didapatkanlah momen inersia penampang individu masing-masing sebesar  $0,468 \text{ cm}^4$  dan  $0,013 \text{ cm}^4$ . Untuk bagian lingkaran  $150^\circ$  (bagian “C”) menggunakan rumus inersia untuk lingkaran dibawah  $180^\circ$  yaitu  $(\theta - \sin\theta) \cdot r^4 / 8$ , kemudian dengan memasukkan nilai  $\theta = 150^\circ$  dan  $r = 0,8 \text{ cm}$  (sesuai pada dimensi pada Tabel IV.2), didapatkanlah momen inersia individu untuk bagian “C” adalah sebesar  $0,126 \text{ cm}^4$ . Kemudian hasil perhitungan inersia dijumlahkan dan didapatkanlah momen inersia penampang terhadap garis dasar (x-x) yaitu sebesar  $I_{xx} = 2410,19 \text{ cm}^4$ . Kemudian dengan menggunakan rumus  $I_{xx} - \sum I_o \cdot Z_{NA}^2$  yang telah dijelaskan sebelumnya pada Bab 2, didapatkanlah momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)  $I_{NA} = 944,87 \text{ cm}^4$ . Dan dengan membagi  $I_{NA}$  dengan jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A), didapatkanlah nilai modulus penampang *bulb* tersebut sebesar  $77,8 \text{ cm}^3$ . Perhitungan ini sudah disesuaikan dengan ukuran *bulb* standar EN 10067. Selanjutnya, akan dilakukan desain untuk profil lain, dengan besar modulus penampang yang besarnya sama dengan besar modulus *bulb* ini.

b. *Unequal Legs Angles Profile*

Dalam mendesain dimensi *unequal legs angles profile*, akan menggunakan cara yang sama yaitu dengan menghitung momen inersianya menggunakan tabulasi dan kemudian memasukkannya ke dalam rumus untuk mendapatkan modulus penampangnya. Adapun untuk penjelasan dimensi *unequal legs angles bar* dapat dilihat pada Gambar IV.4.



Gambar IV.4 Dimensi *Unequal Legs Angles Profile*

Pada model ini, dimensi *unequal leg angles profile* yang didesain adalah berukuran L180x100x10. Untuk perhitungan momen inersia beserta modulus penampangnya dapat dilihat pada Tabel IV.4.

Tabel IV.4 Perhitungan Modulus *Unequal Legs Angles Profile*

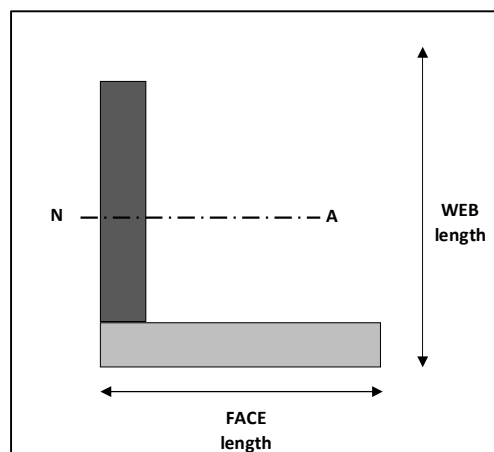
Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>o</sub> [cm <sup>4</sup> ]
Web	1	17	9,5	17,00	161,500	1534,250	409,417
Face	10	1	0,5	10,00	5,000	2,500	0,833
		18,000		27,000	166,50	1536,75	410,25
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			1947,00 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			6,17 cm				
Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)			920,25 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			11,83 cm				
Modulus penampang (Z)			77,8 cm <sup>3</sup>				

Pada Tabel IV.4, terlihat perhitungan momen inersia dengan tabulasi, yaitu dengan membagi penampang *unequal legs angles bar* menjadi bagian *web* dan *face*. Untuk menghitung *moment of area* dari tiap bagian adalah dengan mengalikan luasan tiap luasan bagian penampang dengan lengan terhadap garis dasar (yaitu jarak *center of gravity* ke garis dasar), dan didapatkan *moment of area* untuk bagian *web* dan *face* masing-masing sebesar 161,5 cm<sup>3</sup> dan 5 cm<sup>3</sup>. Kemudian untuk menghitung *second moment of area* adalah dengan mengalikan kembali *moment of area* yang tadi dengan

lengan terhadap garis dasar, dan didapatkan *second moment of area* dari masing-masing bagian adalah sebesar  $1534,25 \text{ cm}^4$  dan  $2,5 \text{ cm}^4$ . Untuk momen inersia individu dari *web* dan *face*, dihitung menggunakan rumus inersia untuk *rectangle* biasa, yaitu  $1/12 * bh^3$ , dan dengan memasukkan lebar (b) dan tinggi (h) dari masing-masing bagian, didapatkanlah besar momen inersia penampang individu ( $I_o$ ) masing-masing sebesar  $409,417 \text{ cm}^4$  dan  $0,833 \text{ cm}^4$ . Kemudian seluruh moment inersia dijumlahkan dan didapatkanlah momen inersia penampang terhadap garis dasar (x-x) sebesar  $1947 \text{ cm}^4$ . Dan dengan rumus  $I_{xx} - \sum I * Z_{NA}^2$  yang telah dijelaskan sebelumnya pada Bab 2, didapatkanlah momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)  $I_{NA} = 920,25 \text{ cm}^4$ . Dan dengan membagi  $I_{NA}$  dengan jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A), didapatkanlah nilai modulus penampang *bulb* tersebut sebesar  $77,8 \text{ cm}^3$ . Dapat dilihat bahwa besar modulus penampang dari *unequal angle bar* yang didesain sama besarnya sama dengan modulus *bulb* sebelumnya, karena pada analisis kali ini akan dianalisis mengenai jenis profil apa yang memiliki berat minimum dengan kekuatan modulus yang sama besarnya.

c. *Equal Legs Angles Profile*

Dalam mendesain dimensi *equal legs angles profile*, akan menggunakan cara yang sama yaitu dengan menghitung momen inersianya menggunakan tabulasi dan kemudian memasukkannya ke dalam rumus untuk mendapatkan modulus penampangnya. Adapun untuk penjelasan dimensi profil *equal legs angle bar* dapat dilihat pada Gambar IV.5.



Gambar IV.5 Dimensi *Equal Legs Angles Profile*

Pada model ini, dimensi *unequal angle bar* yang didesain adalah berukuran L191x8. Untuk perhitungan momen inersia beserta modulus penampangnya dapat dilihat pada Tabel IV.5.

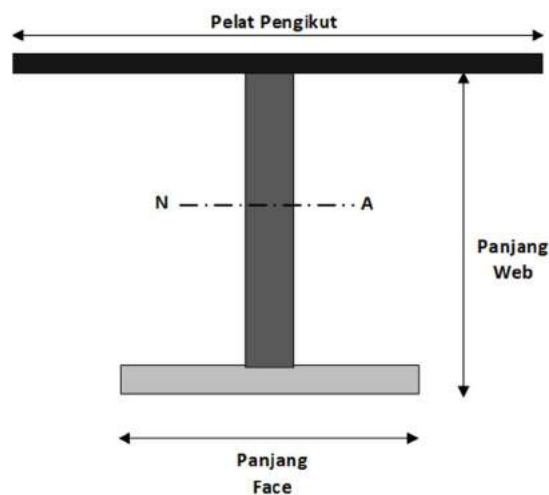
Tabel IV.5 Perhitungan Modulus *Equal Legs Angles Profile*

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>o</sub> [cm <sup>4</sup> ]
Web	0,8	18,3	9,95	14,64	145,668	1449,397	408,566
Face	19,1	0,8	0,4	15,28	6,112	2,445	0,815
		19,100		29,920	151,78	1451,84	409,38
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			1861,22 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			5,07 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>1091,26 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			14,03 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>77,8 cm<sup>3</sup></b>				

Pada Tabel IV.5, terlihat perhitungan momen inersia dengan tabulasi, yaitu dengan membagi penampang *angle bar* menjadi bagian *web* dan *face*, kemudian menghitung modulus penampangnya. Dapat dilihat bahwa besar modulus penampang dari *equal legs angle bar* yang didesain adalah sebesar 77.8 cm<sup>3</sup>, besarnya sama seperti modulus *bulb* sebelumnya.

d. Penumpu horizontal (*T-Profile*)

Untuk desain penumpu horizontal pada kasus 1, tidak ada variasi yang diberikan. Desain modulus penampangnya mengikuti dari data konstruksi kapal asli. Adapun untuk dimensi penumpu horizontal sekat adalah berukuran T700x12+250x15. Untuk dimensi dari profil T sendiri dapat dilihat pada Gambar IV.6.



Gambar IV.6 Dimensi *T-Profile*

Pada Gambar IV.6 dapat dilihat bahwa pada profil T, untuk perhitungan momen inersia dengan tabulasi, akan dibagi menjadi 3 bagian, yaitu *web*, *face*, dan pelat pengikat. Adapun perhitungan momen inersia dan modulus penampangnya dapat dilihat pada Tabel IV.6.

**Tabel IV.6 Perhitungan Momen Inersia Dan Modulus Penampang *T-Profile***

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>o</sub> [cm <sup>4</sup> ]
Web	1,2	68,5	35,75	82,20	2938,650	105056,738	32141,913
Face	25	1,5	0,75	37,50	28,125	21,094	7,031
		70		119,70	2966,78	105077,83	32148,94
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			137226,78 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			24,79 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>63695,00 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			45,21 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>1408,7 cm<sup>3</sup></b>				

Pada Tabel IV.6, dapat dilihat perhitungan *T-Profile*, yang dalam perhitungannya membagi penampang menjadi 2 bagian yaitu *web* dan *face* seperti pada Gambar IV.6. Dalam perhitungan tanpa pelat pengikat, modulus penampang profil T adalah sebesar 1408 cm<sup>3</sup>. Kemudian, perhitungan dilanjutkan dengan tambahan pelat pengikat seperti yang dapat dilihat pada Tabel IV.7.

**Tabel IV.7 Perhitungan Modulus Penampang Profil T Dengan Pelat Pengikat**

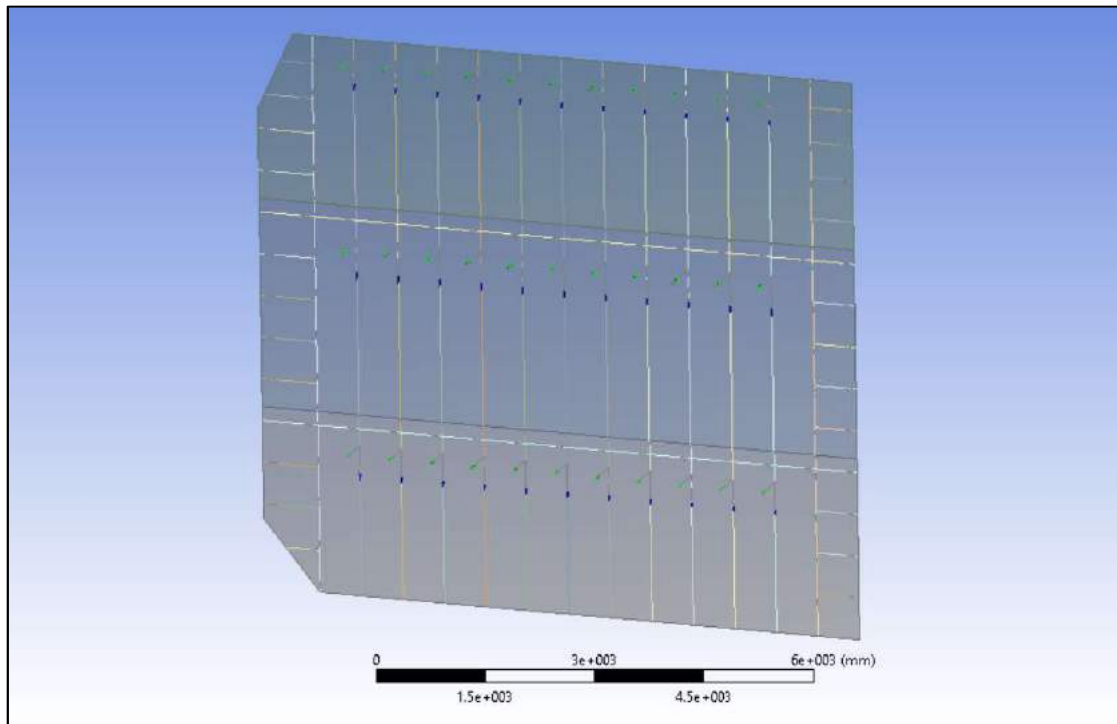
Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>o</sub> [cm <sup>4</sup> ]
T bar		70,00 cm	24,79 cm	119,700	2966,78	105077,83	32148,94
Pelat pengikat	48,00 cm	1,00 cm	70,50 cm	48	3384	238572	4,0
		71,000		167,700	6350,775	343649,831	32152,944
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			375802,78 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			37,87 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>135299,83 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			37,87 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>3572,8 cm<sup>3</sup></b>				

Pada Tabel IV.7, dapat dilihat bahwa dalam menghitung momen inersia, penampang dibagi menjadi 2 bagian yaitu T-bar atau profil T yang telah dihitung sebelumnya pada Tabel IV.6 dan pelat pengikat. Untuk pelat pengikatnya sendiri diasumsikan selebar 40 dikalikan tebal bilah profil (*web*) dari profil T tersebut, yaitu 40 x 12 mm = 480 mm (48 cm). Untuk besar *moment of area*, *2<sup>nd</sup> moment of area* dan I<sub>o</sub> (momen inersia penampang individu) dari bagian T bar, didapatkan dari perhitungan pada perhitungan sebelumnya pada Tabel IV.6. Untuk pelat pengikat sendiri, untuk *moment of area* didapatkan dari luas dikalikan lengan terhadap garis dasar (yaitu jarak *center of gravity* ke garis dasar

( $x-x$ )), yaitu  $48 \text{ cm}^2 \times 70,5 \text{ cm}^2 = 3384 \text{ cm}^3$ , dan untuk *second moment of area*, didapatkan dari *moment of area* dikalikan kembali lengan terhadap garis dasar yaitu  $3384 \text{ cm}^3 \times 70,5 = 238572 \text{ cm}^4$ . Kemudian untuk momen inersia individu ( $I_o$ ) menggunakan rumus inersia untuk *rectangle* biasa yaitu  $1/12 \cdot bh^3$ , yaitu sebesar  $1/12 \cdot 48 \cdot (1)^3 = 4 \text{ cm}^4$ . Kemudian seluruh  $2^{nd}$  *moment of area* dan inersia penampang individual dijumlahkan, dan didapatkanlah momen inersia penampang terhadap garis dasar yaitu sebesar  $I_{xx}=375802,78 \text{ cm}^4$ . Kemudian dengan menggunakan rumus  $I_{xx} - \Sigma_1 \cdot Z_{NA}^2$  yang telah dijelaskan sebelumnya pada Bab 2, didapatkanlah momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)  $I_{NA}=135299,83 \text{ cm}^4$ . Kemudian dengan membagi  $I_{NA}$  dengan jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A), didapatkanlah nilai modulus penampang yaitu sebesar  $135299,83/37,87 = 3572,8 \text{ cm}^3$ .

#### IV.2.2. Mendesain Geometri Model

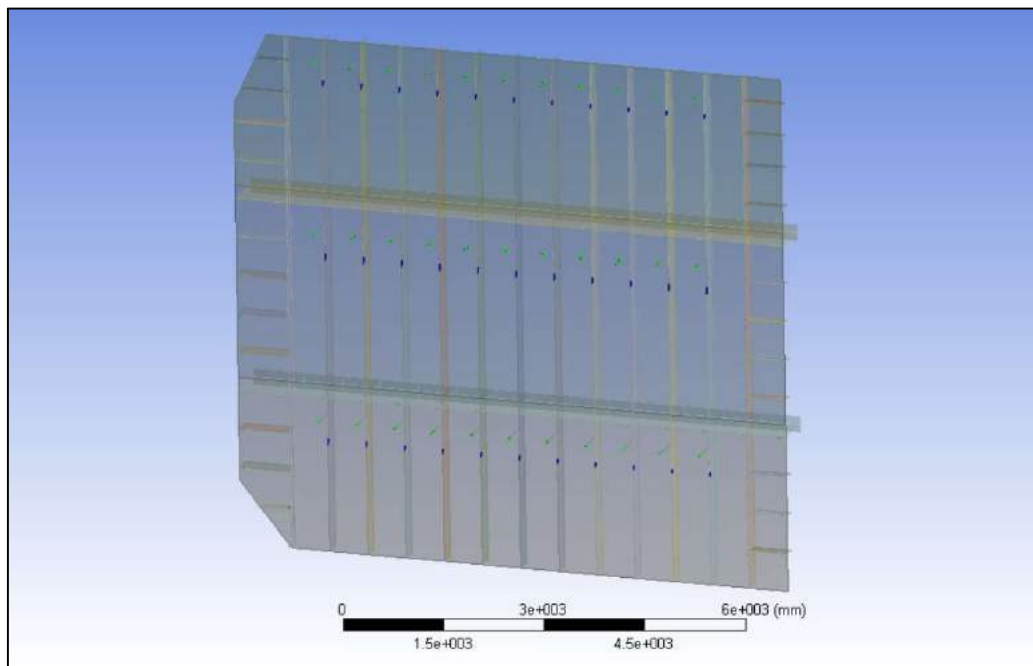
Dalam membuat geometri model untuk keperluan analisis dengan metode elemen hingga, untuk penegarinya didesain sesuai dengan yang sudah dihitung sebelumnya. Untuk tebal pelat, mengikuti desain data asli kapal, dikarenakan pada analisis kasus ini, fokus yang diamati adalah perbedaan berat struktur sekat melintang dengan variasi jenis profil penegar sekat yang digunakan yaitu profil *bulb*, *unequal angles* dan *equal angles*. Adapun untuk model sekat melintang dapat dilihat pada Gambar IV.7.



Gambar IV.7 Geometri Sekat Melintang Untuk Kasus 1



Desain geometri model menggunakan geometri 2 dimensi, yaitu pelat dimodelkan sebagai *surface* dan penegar dimodelkan sebagai *line*. Untuk *surface* selanjutnya akan diinputkan *thickness* sesuai tebal pelat pada model data asli kapal, yaitu 11 mm, 10 mm, dan 9 mm (pada data asli kapal, pelat dibagi menjadi 3 lajur sesuai tinggi *bulkhead*. Pelat paling tebal terletak pada lajur bawah). Kemudian untuk *line*, akan didefinisikan profil penegar menggunakan fitur *cross sections*. Setelah semua didefinisikan, model geometri akan tampak seperti pada Gambar IV.8.



**Gambar IV.8 Hasil Pendefinisian Profil Penegar Pada Model Sekat Melintang**

Setelah model telah selesai didesain dan dipastikan bahwa penegar telah tersambung (*join*) dengan sempurna, maka selanjutnya akan dilakukan *Finite Element Analysis* (FEA) pada model tersebut.

#### **IV.2.3. Studi konvergensi mesh Pada Model Sekat Jarak Penegar 600 mm**

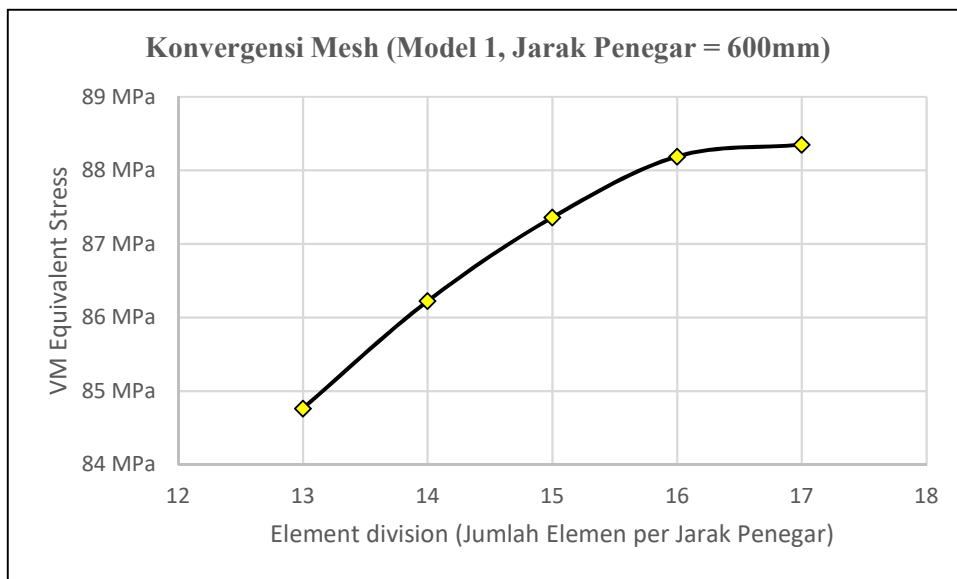
Model yang telah dibuat, kemudian akan didiskretisasi menjadi elemen-elemen hingga. Untuk memvalidasi meshing yang telah dilakukan, akan dilakukan *studi konvergensi mesh*. Hal ini untuk memastikan bahwa hasil *running* FEA yang dilakukan nantinya memiliki tingkat *error* yang rendah, sehingga hasil *running* dapat dikatakan *valid*. Pada *studi konvergensi mesh*, ukuran elemen awal yang digunakan adalah sebesar jarak penegar, yaitu 600 mm. kemudian elemen akan dibagi menjadi *division*, bertahap mulai dari 2, 3 dan seterusnya, hingga didapatkan ukuran elemen optimum dimana hasil *running equivalent stress* pada satu *node* yang

ditinjau, akan konvergen dengan hasil running sebelumnya. Berikut pada Tabel IV.8 adalah hasil *studi konvergensi mesh* untuk model sekat melintang dengan jarak 600 mm.

**Tabel IV.8 Hasil Studi Konvergensi Mesh Untuk Model Jarak 600 mm**

Element division	Ukuran Mesh	Max.VMStress	(%) Deviasi	VMStress pada Node 1	(%) Deviation
13	46,15 mm	161 MPa		84,8 MPa	
14	42,86 mm	163 MPa	1,37 %	86,2 MPa	1,65 %
15	40,00 mm	166 MPa	1,78 %	87,4 MPa	1,39 %
16	37,50 mm	171 MPa	3,07 %	88,2 MPa	0,92 %
17	35,29 mm	173 MPa	0,99 %	88,4 MPa	0,23 %

Pada Tabel IV.8, dapat dilihat hasil running *equivalent stress* konvergen pada *element division* 17, dengan ukuran *mesh* sebesar 35.29 mm. Dapat dilihat tegangan ekivalen pada node yang ditinjau yaitu node 1 (koordinat  $(x,y,z)=(-4200, 2600,0)$ ), adalah sebesar 88,4 MPa, dengan deviasi sebesar 0,13% dari hasil running dengan ukuran mesh sebelumnya yaitu sebesar 88,2 MPa. Untuk diagram konvergensi mesh dapat dilihat pada Gambar IV.9.

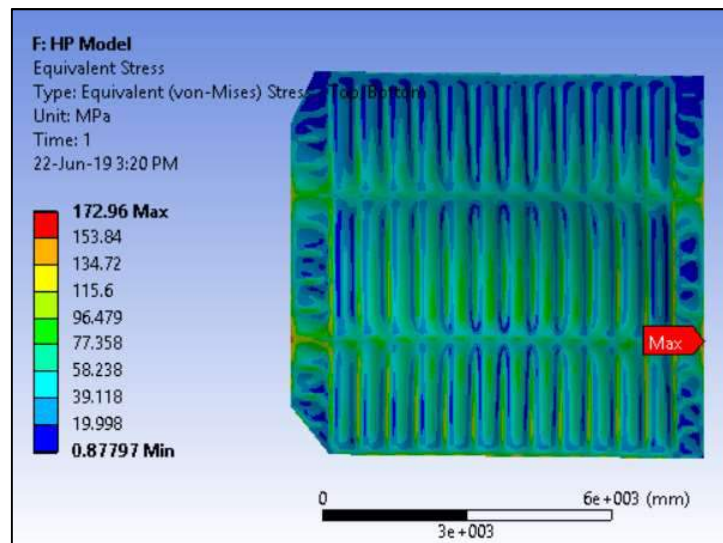


**Gambar IV.9 Diagram Konvergensi Mesh Model Jarak 600 mm**

Pada Gambar IV.9, dapat dilihat bahwa *stress* pada Node 1, sudah konvergen pada *element division* 17, ditandai dengan kurva yang sudah melandai dari *element division* 16 ke 17. Hasil tegangan ekivalen maksimum (lihat Tabel IV.8) juga sudah bisa dianggap konvergen oleh penulis, karena sudah berada dibawah 1%, sehingga penulis menggunakan ukuran *mesh* dengan *element division* 17 sebagai ukuran mesh yang optimal untuk model sekat melintang dengan jarak 600 mm.

#### IV.2.4. Analisis Tegangan Dengan FEA

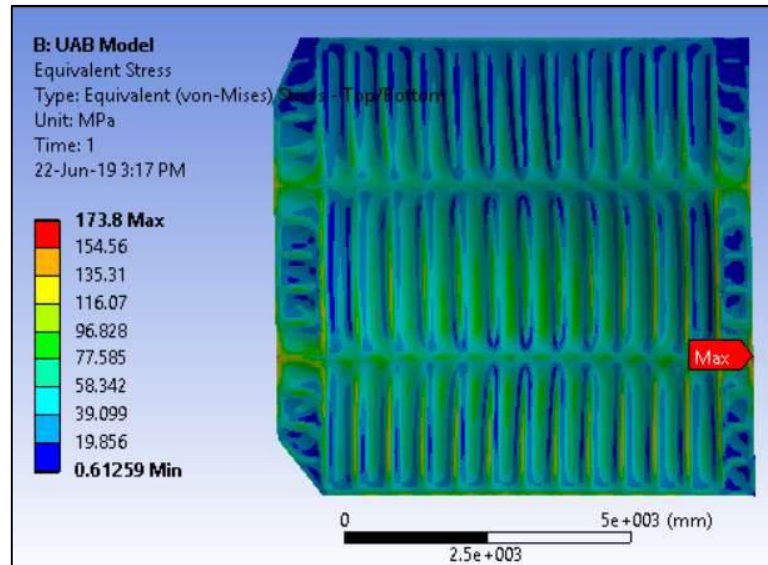
Pada ketiga model yang telah dibuat untuk masing-masing jenis profil penegar, akan dilakukan *Finite Element Analysis* untuk mengetahui tegangan ekuivalen von-mises yang terjadi pada model sekat melintang tersebut. Tegangan ekuivalen penting untuk diketahui agar nantinya dapat dibandingkan dengan peraturan kelas untuk tegangan ekuivalen maksimum yang diizinkan. Berikut adalah hasil analisis untuk ketiga model sekat melintang tersebut:



**Gambar IV.10** *Equivalent Stress* Pada Model Dengan Jenis Profil *Bulb Profile* (HP)

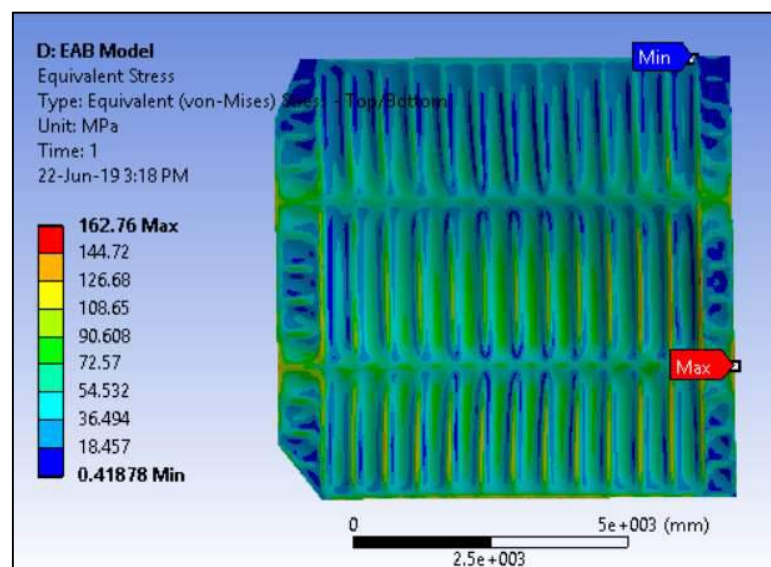
Pada Gambar IV.10 dapat dilihat bahwa hasil analisis tegangan dengan *FEA software* menunjukkan bahwa tegangan ekuivalen von-mises terbesar bernilai 172,96 MPa, yaitu terletak pada daerah sambungan sekat dengan penegar horizontal (profil T). Adapun tegangan terkecil terletak pada bagian atas sekat, hal ini dikarenakan pada bagian atas sekat menerima pembebanan paling kecil dari tekanan statis tangki. Adapun untuk model dengan variasi profil *bulb* ini, berat konstruksi sekatnya adalah sebesar 9810,1 kg (dihitung menggunakan software FEA yang sama).

Pada Gambar IV.11 dapat dilihat bahwa hasil analisis tegangan dengan *FEA software* menunjukkan bahwa tegangan ekuivalen von-mises terbesar bernilai 173,8 MPa, yaitu terletak pada bagian yang sama dengan model sebelumnya, yaitu pada daerah sambungan sekat dengan penegar horizontal (profil T). Adapun tegangan terkecil terletak pada bagian yang sama pula dengan sebelumnya, yaitu pada bagian atas sekat.



Gambar IV.11 *Equivalent Stress* Pada Model Dengan Jenis Profil *Unequal Angles Bar* (UAB)

Adapun hal ini disebabkan karena bagian atas sekat menerima pembebanan paling kecil dari tekanan statis tangki. Adapun untuk model dengan variasi profil *unequal leg angles bar* (UAB), berat konstruksi sekatnya adalah sebesar 9490,1 kg.



Gambar IV.12 *Equivalent Stress* Pada Model Dengan Jenis Profil *Equal Angles Bar* (EAB)

Pada Gambar IV.11 dapat dilihat bahwa hasil analisis tegangan dengan *FEA software* menunjukkan bahwa tegangan ekivalen von-mises terbesar bernilai 162,76 MPa, yaitu terletak pada bagian yang sama dengan model sebelumnya, yaitu pada daerah sambungan sekat dengan penegar horizontal (profil T). Adapun tegangan terkecil terletak pada bagian yang sama pula dengan sebelumnya, yaitu pada bagian atas sekat. Hal ini dikarenakan bagian atas sekat

menerima pembebanan paling kecil dari tekanan statis tangki. Adapun untuk model dengan variasi profil *equal leg angles bar* (EAB), berat konstruksi sekatnya adalah sebesar 9762,9 kg.

#### **IV.2.5. Analisis Kriteria Kegagalan dan Berat Minimum**

Kriteria kegagalan dilakukan dengan membandingkan tegangan maksimum yang terjadi pada model sekat dengan tegangan ekivalen maksimum yang diizinkan oleh kelas. Adapun tegangan maksimum yang diizinkan kelas untuk struktur sekat melintang dihitung menggunakan rumus pada persamaan II.10. Tegangan ekivalen maksimum yang diizinkan adalah sebesar  $175/K$ , dengan nilai  $K$  untuk *mild steel KA36 material* adalah bernilai 1, maka  $175/1=175$  MPa. Pada ketiga model *bulb*, UAB dan EAB, tegangan ekivalen maksimum yang terjadi masing-masing adalah sebesar 172,96 MPa, 173,8 MPa, dan 162,76 MPa. Ketiga model tersebut memenuhi kriteria yang disyaratkan oleh kelas, yaitu melebihi tegangan izin 175 MPa. Oleh karena itu, ketiga struktur sekat tersebut dapat digunakan, dan selanjutnya akan dibandingkan struktur sekat melintang dengan variasi jenis profil apakah yang memiliki berat konstruksi minimum.

Untuk model sekat dengan variasi profil *bulb*, UAB dan EAB, masing-masing memiliki berat sebesar 9180,1 kg, 9490,1 kg, dan 9762,1 kg. Untuk sekat melintang yang memiliki berat konstruksi minimum adalah sekat yang menggunakan variasi jenis profil *bulb*. Sekat melintang dengan profil *bulb* untuk model dengan jarak penegar 600 mm, lebih ringan sebesar 3,26% dibanding *unequal leg angles bar* (UAB) dan 5,96% lebih ringan dibanding *equal leg angles bar* (EAB). Oleh karena itu, dalam pembuatan model untuk kasus 2, dengan variasi jarak penegar dan jumlah penumpu horizontal sekat, untuk penegar kecil vertikal dari sekat melintang akan menggunakan jenis profil *bulb*.

#### **IV.3. Kasus 2 (Optimasi Sekat Melintang Jenis Profil Bulb)**

Pada kasus 2, akan didesain 20 model sekat melintang, dimana seluruhnya menggunakan jenis profil *bulb*, namun variasi baru yang ditambahkan adalah jarak penegar (5 variasi: 600 mm, 650 mm, 700 mm, 750 mm, dan 800 mm), jumlah penumpu horizontal (2 variasi: 1 penumpu dan 2 penumpu) dan variasi profil pasaran dengan desain *custom*. Setelahnya akan dilakukan analisis tegangan dengan software *finite element analysis* (FEA) dan berat konstruksi masing-masing model akan dihitung dan dibandingkan, model dengan variasi manakah yang memiliki berat konstruksi sekat melintang paling ringan.

### IV.3.1. Menghitung Modulus Minimum Penegar dan Penumpu Sekat

Modulus minimum penegar awal yang disyaratkan kelas dihitung menggunakan rumus *bulkhead scantlings* yang telah dijelaskan pada subbab II.1.7. Akan didesain profil *bulb* penegar dengan besar modulus mengacu kepada hasil perhitungan *bulkhead scantlings* tersebut. Modulus profil minimum yang dibutuhkan berubah untuk seluruh variasi yang diberikan, yaitu variasi jarak antar penegar dan variasi jumlah penumpu horizontal. Berikut perhitungan modulus minimum penegar vertikal untuk jarak 600 mm dapat dilihat pada Tabel IV.9.

**Tabel IV.9 Perhitungan Modulus Minimum Penegar Vertikal Sekat Dengan Rumus Kelas**

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ ( $L_{pp}$ )	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1,00	
$C_2 = K/18$	0,06	
$C_3$ (Koefisien ujung sambungan)	1,15	Rigid & Soft fixity di tiap ujung
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1,00	
$S$ (Jarak antar penegar)	0,60 m	
$I$ (Jarak antar penumpu(Girder))	3,00 m	
$h_1$	7,10 m	
$Z_1 = 125 * C_1 * C_2 * C_3 * S * h_1^2$	306 cm <sup>3</sup>	
$Z_{final}$ (Modulus minimum oleh kelas)	<b>306 cm<sup>3</sup></b>	

Penjelasan perhitungan untuk Tabel IV.9 sama seperti yang telah dijelaskan pada metodologi penelitian di Bab 3. Adapun perhitungan pada Tabel IV.9 dilakukan berulang untuk seluruh variasi yang penelitian yang telah dijabarkan. Berikut pada Tabel IV.10 adalah rekapitulasi hasil perhitungan modulus minimum untuk tiap-tiap variasi model sekat melintang dengan rumus rules ClassNK:

**Tabel IV.10 Rekapitulasi Modulus Minimum Penegar Vertikal**

Model	Jarak Penegar	Jml. Penumpu	Modulus Minimum
1	600 mm	2	306,2 cm <sup>3</sup>
2	650 mm	2	331,7 cm <sup>3</sup>
3	700 mm	2	357,2 cm <sup>3</sup>
4	750 mm	2	382,7 cm <sup>3</sup>
5	800 mm	2	408,3 cm <sup>3</sup>
6	600 mm	1	513,7 cm <sup>3</sup>
7	650 mm	1	556,5 cm <sup>3</sup>
8	700 mm	1	599,3 cm <sup>3</sup>
9	750 mm	1	642,1 cm <sup>3</sup>
10	800 mm	1	685,0 cm <sup>3</sup>

Pada Tabel IV.10, dapat dilihat bahwa semakin besar jarak antar penegar, maka semakin besar pula modulus penampang profil penegar yang disyaratkan oleh kelas. Hal ini dikarenakan semakin renggang jarak penegar, maka struktur sekat butuh penegar yang lebih kuat pula

sebagai gantinya. Begitu pula dengan variasi jumlah penumpu horizontal sekat, pada variasi dengan jumlah penumpu horizontal (Profil T) sebanyak 1 penumpu, modulus yang penegar vertikal minimum yang dibutuhkan jauh lebih besar daripada variasi dengan jumlah penumpu horizontal sebanyak 2 penumpu. Hal ini juga dikarenakan lebar yang ditumpu menjadi lebih besar ketika jumlah penumpu horizontal hanya berjumlah 1 penumpu, sehingga sebagai gantinya dibutuhkan modulus penampang penegar vertikal yang lebih besar pula.

Untuk ukuran modulus penumpu horizontal, terdapat 2 ukuran yaitu untuk variasi 2 buah penumpu dan 1 buah penumpu pada struktur sekat. Perhitungan modulus minimum penumpu dengan variasi 2 penumpu horizontal sekat dapat dilihat pada Tabel IV.11 dibawah ini.

**Tabel IV.11 Perhitungan Modulus Minimum Penumpu Horizontal Sekat Dengan Rumus Kelas**

Deskripsi	Input
$S$	5,40 m
$h$	5,60 m
$l$	4,80 m
$Z_{final}$ (Modulus minimum oleh kelas)	<b>3309 cm<sup>3</sup></b>

Penjelasan perhitungan untuk Tabel IV.11 sama seperti yang telah dijelaskan pada metodologi penelitian di bab 3. Adapun perhitungan pada Tabel IV.11 dilakukan sebanyak 2 kali untuk variasi 1 penumpu dan 2 penumpu. Berikut pada Tabel IV.12 adalah rekapitulasi hasil perhitungan modulus minimum penumpu untuk tiap variasi tersebut:

**Tabel IV.12 Rekapitulasi Modulus Minimum Penegar Horizontal**

Model	Jml. Penumpu	Modulus Penumpu Minimum
1-5	2	3309,5 cm <sup>3</sup>
6-10	1	3769,7 cm <sup>3</sup>

Pada Tabel IV.12 dapat dilihat bahwa semakin sedikit penumpu maka semakin besar modulus penumpu minimum yang disyaratkan kelas. Hal ini sejalan dengan besarnya lebar yang harus ditumpu oleh satu penumpu tersebut. Semakin banyak jumlahnya, maka lebar yang ditumpu akan semakin mengecil, sehingga besar modulus penampang penumpu yang dibutuhkan pun akan semakin kecil, sehingga ukuran dimensi profil T yang didesain akan lebih kecil pula dan akan membuat struktur sekat menjadi lebih ringan.

### **IV.3.2. Mendesain Profil Penumpu dan Penegar Tahap Awal (Sebelum Optimasi)**

Dalam mendesain struktur sekat, untuk ukuran modulus penegar desain awal didesain mengikuti acuan hasil perhitungan minimum modulus dengan rumus yang telah dihitung sebelumnya. Adapun hasil desain modulus *bulb* yang dihasilkan nanti dapat dikecilkan lagi (dioptimasi) sesuai peraturan rules ClassNK, apabila dalam prosesnya dilakukan *direct strength calculation* menggunakan *finite element method*. Perhitungan modulus profil *bulb* sama seperti

yang telah dijelaskan sebelumnya, dan ditambahkan juga pelat pengikat di dalam perhitungan modulus penampang, seperti yang dapat dilihat pada Tabel IV.12.

**Tabel IV.13 Perhitungan Modulus Penegar Vertikal Dengan Pelat Pengikat**

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		20,00 cm	7,86 cm	23,713	186,404106	1808,97	601,22
Pelat pengikat	36,00 cm	0,90 cm	20,45 cm	32,4	662,58	13549,761	2,2
		20,900		56,113	848,984	15358,729	603,404
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			15962,13 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			15,13 cm				
Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)			3117,01 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			15,13 cm				
Modulus penampang (Z)			206,0 cm <sup>3</sup>				

Pada Tabel IV.12 dapat dilihat merupakan lanjutan perhitungan modulus bulb untuk desain awal 600 mm dengan ukuran HP 200x9 yang sebelumnya dihitung pada Tabel IV.3. Perhitungan pada Tabel IV.11 menambahkan pelat pengikat ke dalam perhitungan, karena keberadaan pelat pengikat dalam perhitungan dapat menambah nilai modulus dengan besar yang cukup signifikan. Perhitungan kemudian dilanjutkan untuk seluruh variasi, sehingga didapatkan ukuran *bulb* untuk tiap variasi sebagai berikut:

**Tabel IV.14 Desain Penegar Vertikal Ukuran Awal Sebelum Optimasi**

Model	Jarak Penegar	Jml. Penumpu	Profile dimension		Modulus Minimum	Modulus Desain
1	600 mm	2	HP (Bulb Profile)	= HP 230 x 11	306,2 cm <sup>3</sup>	321,8 cm <sup>3</sup>
2	650 mm	2	HP (Bulb Profile)	= HP 240 x 10	331,7 cm <sup>3</sup>	358,8 cm <sup>3</sup>
3	700 mm	2	HP (Bulb Profile)	= HP 240 x 12	357,2 cm <sup>3</sup>	365,1 cm <sup>3</sup>
4	750 mm	2	HP (Bulb Profile)	= HP 240 x 13	382,7 cm <sup>3</sup>	391,4 cm <sup>3</sup>
5	800 mm	2	HP (Bulb Profile)	= HP 260 x 10	408,3 cm <sup>3</sup>	417,3 cm <sup>3</sup>
6	600 mm	1	HP (Bulb Profile)	= HP 280 x 11	513,7 cm <sup>3</sup>	517,1 cm <sup>3</sup>
7	650 mm	1	HP (Bulb Profile)	= HP 280 x 13	556,5 cm <sup>3</sup>	564,0 cm <sup>3</sup>
8	700 mm	1	HP (Bulb Profile)	= HP 300 x 11	599,3 cm <sup>3</sup>	611,9 cm <sup>3</sup>
9	750 mm	1	HP (Bulb Profile)	= HP 300 x 12	642,1 cm <sup>3</sup>	647,7 cm <sup>3</sup>
10	800 mm	1	HP (Bulb Profile)	= HP 320 x 12	685,0 cm <sup>3</sup>	742,5 cm <sup>3</sup>

Pada Tabel IV.12 dapat dilihat bahwa modulus yang didesain, sebisa mungkin mendekati nilai *minimum required modulus* hasil dari perhitungan menggunakan rumus ClassNK yang telah dilakukan sebelumnya. Kemudian untuk perhitungan modulus penumpu horizontal sama seperti yang ditunjukkan pada Tabel IV.6, hanya saja dalam perhitungan tersebut belum memasukkan pelat pengikat ke dalam perhitungan. Sehingga perhitungan profil T dengan pelat pengikat harus disempurnakan lagi seperti yang dapat dilihat pada Tabel IV.15.

Pada Tabel IV.15, dapat dilihat bahwa dalam perhitungan dibagi atas 2 bagian, yaitu T bar dan pelat pengikat, dimana T-bar telah dihitung sebelumnya yang bagiannya terdiri dari *web* dan *face*.



**Tabel IV.15 Perhitungan Modulus Penumpu Horizontal Dengan Pelat Pengikat**

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>o</sub> [cm <sup>4</sup> ]
T bar		70,00 cm	24,79 cm	119,700	2966,78	105077,83	32148,94
Pelat pengikat	48,00 cm	1,00 cm	70,50 cm	48	3384	238572	4,0
		71,000		167,700	6350,775	343649,831	32152,944
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			375802,78 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			37,87 cm				
Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)			135299,83 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			37,87 cm				
Modulus penampang (Z)			3572,8 cm <sup>3</sup>				

Desain profil T penumpu dilakukan untuk variasi 1 penumpu dan 2 penumpu, dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel IV.16.

**Tabel IV.16 Desain Ukuran Profil Penumpu Horizontal**

Model	Jml. Penumpu	Profile Dimension	Modulus Minimum	Modulus Desain
1-5	2	Profil T = T 700x12 + 250x15	3309,5 cm <sup>3</sup>	3572,8 cm <sup>3</sup>
6-10	1	Profil T = T 800x12 + 200x15	3769,7 cm <sup>3</sup>	3774,2 cm <sup>3</sup>

Pada Tabel IV.16, dapat dilihat bahwa modulus profil T penumpu yang didesain, sebisa mungkin bernilai mendekati *minimum required modulus*, agar profil T didesain dapat berukuran sekecil mungkin sehingga berat konstruksi sekat melintang menjadi lebih ringan.

### IV.3.3. Mendesain Geometri Model

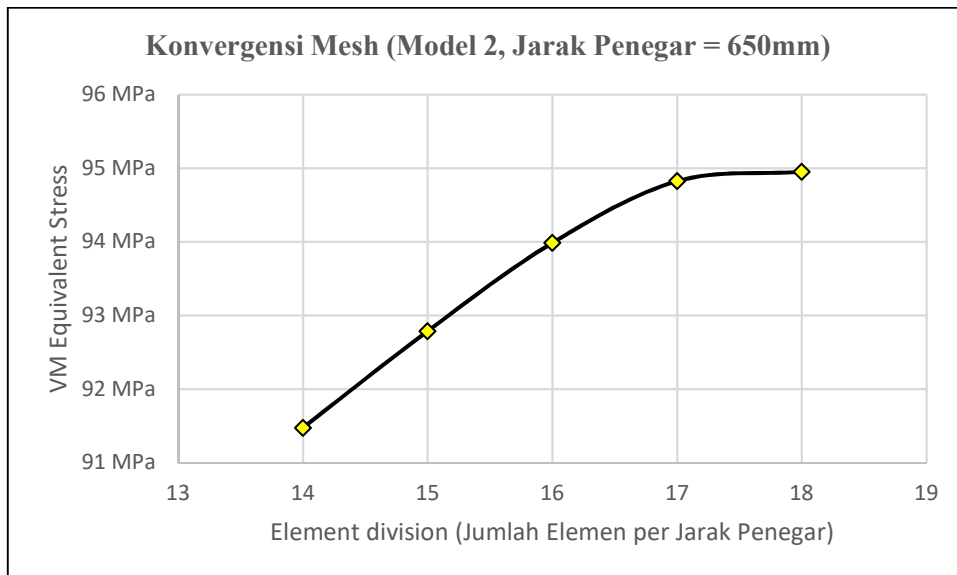
Ada total 20 model yang dibuat untuk seluruh variasi di kasus 2, namun secara susunan *line* dan *surface*, hanya ada 10 model yang berbeda, karena variasi yang terakhir hanyalah variasi ukuran profil katalog (pasaran) dengan ukuran desain sendiri (*custom*) yang hanya perlu mengubah ukuran *cross section* pada model. Adapun 10 model tersebut adalah dari 5 variasi jarak penegar dan 2 variasi jumlah penumpu horizontal. Berikut adalah daftar model beserta penomorannya:

1. Model 1.1 (variasi: 600 mm, 2 penumpu horizontal, desain profil *custom*)
2. Model 2.1 (variasi: 650 mm, 2 penumpu horizontal, desain profil *custom*)
3. Model 3.1 (variasi: 700 mm, 2 penumpu horizontal, desain profil *custom*)
4. Model 4.1 (variasi: 750 mm, 2 penumpu horizontal, desain profil *custom*)
5. Model 5.1 (variasi: 800 mm, 2 penumpu horizontal, desain profil *custom*)
6. Model 6.1 (variasi: 600 mm, 1 penumpu horizontal, desain profil *custom*)
7. Model 7.1 (variasi: 650 mm, 1 penumpu horizontal, desain profil *custom*)
8. Model 8.1 (variasi: 700 mm, 1 penumpu horizontal, desain profil *custom*)
9. Model 9.1 (variasi: 750 mm, 1 penumpu horizontal, desain profil *custom*)
10. Model 10.1 (variasi: 800 mm, 1 penumpu horizontal, desain profil *custom*)

11. Model 1.2 (variasi: 600 mm, 2 penumpu horizontal, desain profil katalog)
12. Model 2.2 (variasi: 650 mm, 2 penumpu horizontal, desain profil katalog)
13. Model 3.2 (variasi: 700 mm, 2 penumpu horizontal, desain profil katalog)
14. Model 4.2 (variasi: 750 mm, 2 penumpu horizontal, desain profil katalog)
15. Model 5.2 (variasi: 800 mm, 2 penumpu horizontal, desain profil katalog)
16. Model 6.2 (variasi: 600 mm, 1 penumpu horizontal, desain profil katalog)
17. Model 7.2 (variasi: 650 mm, 1 penumpu horizontal, desain profil katalog)
18. Model 8.2 (variasi: 700 mm, 1 penumpu horizontal, desain profil katalog)
19. Model 9.2 (variasi: 750 mm, 1 penumpu horizontal, desain profil katalog)
20. Model 10.2 (variasi: 800 mm, 1 penumpu horizontal, desain profil katalog)

#### IV.3.4. Studi konvergensi mesh Pada Model Jarak Penegar 650, 700, 750 dan 800 mm.

Sama seperti model pada kasus 1, pada model harus dilakukan *studi konvergensi mesh* untuk memastikan bahwa hasil *running finite element analysis* yang dilakukan sudahlah *valid* dengan tingkat *error* yang rendah. Metode yang digunakan juga sama, yaitu dengan membagi ukuran elemen awal (yaitu sebesar jarak penegar) menjadi 2,3,4,5... *divisions* dan melakukan *running* pada tiap ukuran elemen tersebut hingga hasil *equivalent stress* yang didapatkan konvergen. Berikut pada Gambar IV.13 adalah diagram konvergensi mesh dari model dengan jarak penegar 650 mm.

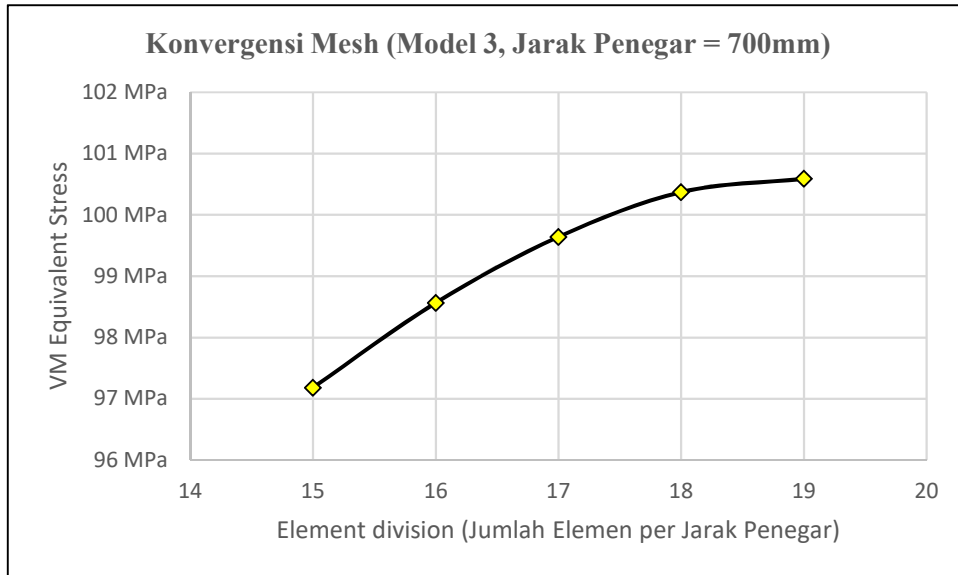


Gambar IV.13 Diagram Konvergensi Mesh Model Jarak Penegar 650 mm

Pada Gambar IV.13, dapat dilihat bahwa untuk model dengan jarak penegar konvergen pada element division 18, yaitu pada ukuran elemen *mesh* sebesar  $650/18 = 36,11$  mm. Adapun studi konvergensi mesh dilakukan dengan meninjau *equivalent stress* pada satu *node* yaitu *node*

2 (koordinat  $(x,y,z)=(-4550, 2600,0)$ ). *Equivalent Stress* pada node 2 konvergen di *element division* 18, yaitu sebesar 95 MPa, dengan persentase deviasi sebesar 0,21% terhadap hasil running dengan ukuran *mesh* sebelumnya yaitu sebesar 94,8 MPa.

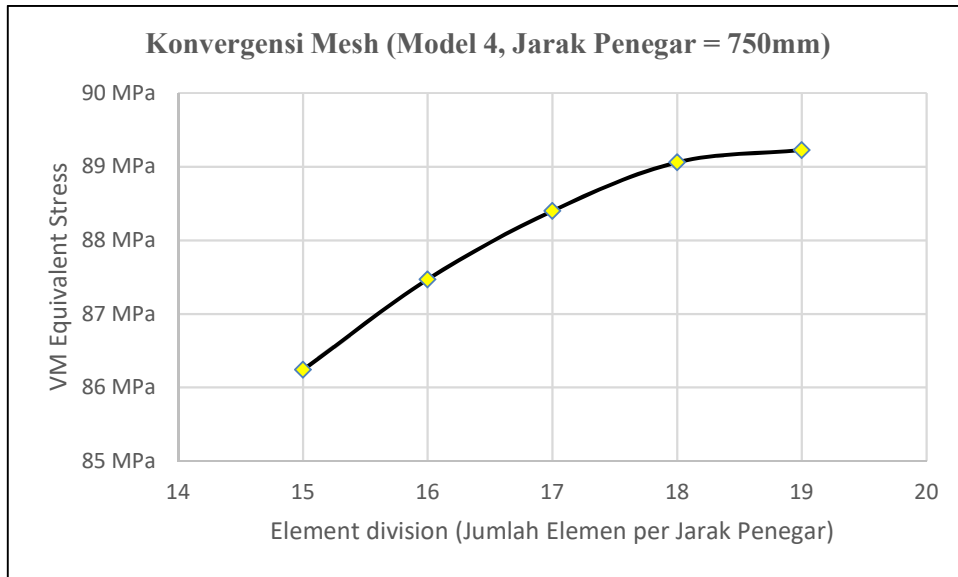
Selanjutnya pada Gambar IV.14 adalah diagram konvergensi *mesh* dari model dengan jarak penegar 700 mm.



**Gambar IV.14 Diagram Konvergensi *Mesh* Model Jarak Penegar 700 mm**

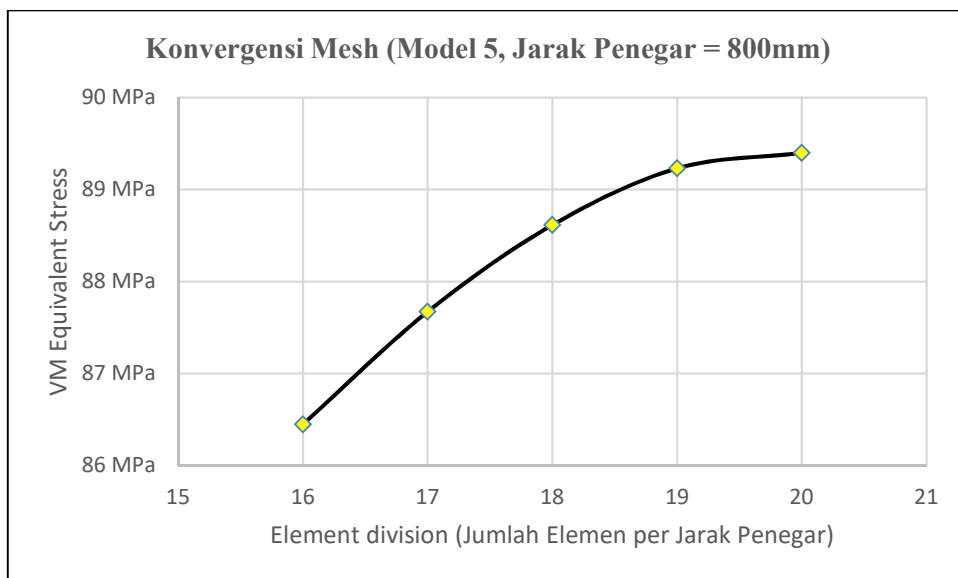
Pada Gambar IV.14, dapat dilihat bahwa untuk model dengan jarak penegar konvergen pada *element division* 19, yaitu pada ukuran elemen *mesh* sebesar  $700/19 = 36,84$  mm. Adapun *studi konvergensi mesh* dilakukan dengan meninjau *equivalent stress* pada satu *node* yaitu *node* 3 (koordinat  $(x,y,z)=(-4200, 2600,0)$ ). *Equivalent Stress* pada node 3 konvergen di *element division* 19, yaitu sebesar 100,6 MPa, dengan persentase deviasi sebesar 0,20% terhadap hasil running dengan ukuran *mesh* sebelumnya yaitu sebesar 100,4 MPa.

Selanjutnya pada Gambar IV.15 adalah diagram konvergensi *mesh* dari model dengan jarak penegar 750 mm. Pada Gambar IV.15, dapat dilihat bahwa untuk model dengan jarak penegar konvergen pada *element division* 19, yaitu pada ukuran elemen *mesh* sebesar  $750/19 = 39,47$  mm. Adapun *studi konvergensi mesh* dilakukan dengan meninjau *equivalent stress* pada satu *node* yaitu *node* 4 (koordinat  $(x,y,z)=(-4500, 2600,0)$ ). *Equivalent Stress* pada node 4 konvergen di *element division* 19, yaitu sebesar 89,2 MPa, dengan persentase deviasi sebesar 0,11% terhadap hasil running dengan ukuran *mesh* sebelumnya yaitu sebesar 89,1 MPa.



**Gambar IV.15 Diagram Konvergensi Mesh Model Jarak Penegar 750 mm**

Selanjutnya pada Gambar IV.16 adalah diagram konvergensi *mesh* dari model dengan jarak penegar 800 mm.



**Gambar IV.16 Diagram Konvergensi Mesh Model Jarak Penegar 800 mm**

Pada Gambar IV.16, dapat dilihat bahwa untuk model dengan jarak penegar konvergen pada element division 20, yaitu pada ukuran elemen mesh sebesar  $800/20 = 40$  mm. Adapun *studi konvergensi mesh* dilakukan dengan meninjau *equivalent stress* pada satu *node* yaitu *node 5* (koordinat  $(x,y,z)=(-4000, 2600,0)$ ). *Equivalent Stress* pada *node 5* konvergen di element division 20, yaitu sebesar 89,4 MPa, dengan persentase deviasi sebesar 0,22% terhadap hasil running dengan ukuran *mesh* sebelumnya yaitu sebesar 89,2 MPa.

#### IV.3.5. Optimasi Modulus Penegar Vertikal Dengan Direct Calculation FEM

Menurut aturan rules ClassNK, ketika *structural arrangements* dan *structural members* ditetapkan dari hasil perhitungan menggunakan rumus pada *rules*, hasilnya perhitungan dapat diabaikan dan disubstitusi dengan data konstruksi hasil perhitungan dengan *direct strength calculation*, dan proses ini merupakan optimasi yang dilakukan oleh penulis pada penelitian kali ini. Seluruh model dengan modulus penegar yang telah didesain, akan dilakukan direct calculation sesuai rules, dengan metode elemen hingga menggunakan *software Finite Element Analysis (FEA)*, untuk mengetahui besar tegangan ekivalen *von mises* yang terjadi pada tiap-tiap model dengan pembebanan yang telah dihitung menggunakan *rules* juga. Kemudian hasil *output equivalent stress* pada tiap model tersebut dapat dibandingkan dengan tegangan izin *rules*, untuk melihat tegangan yang terjadi masih memenuhi kriteria, dan apakah masih dapat dioptimasi lagi penegarinya, agar struktur sekat menjadi lebih ringan.

Adapun batasan optimasi yang ditetapkan oleh penulis adalah tegangan ekivalen *von mises* yang terjadi pada struktur sekat harus berada di rentang 10% dibawah tegangan izin yang disyaratkan kelas. Apabila tegangan masih berada diluar rentang tersebut, maka penegar harus optimasi (dikecilkan dimensinya), agar nantinya berat konstruksi sekat dapat menjadi lebih ringan. Hal ini dilakukan pada seluruh model, hingga nanti didapatkanlah variasi model sekat melintang yang paling optimum (minimum). Hasil optimasi seluruh modulus penegar dapat dilihat pada Tabel IV.17 dibawah ini.

**Tabel IV.17 Hasil Optimasi Modulus Penegar Vertikal Sekat**

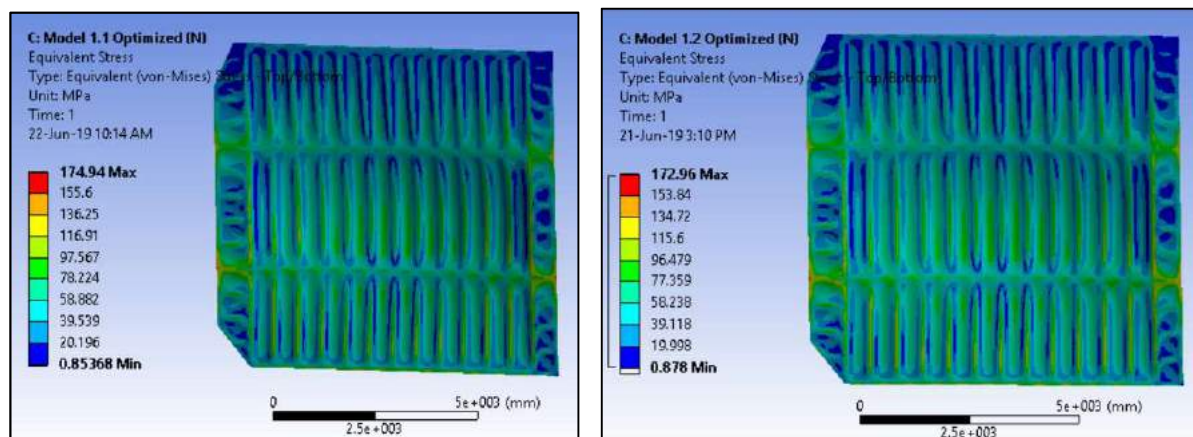
Model	Jarak Penegar	Jml. Penumpu	Profile dimension		Modulus Desain
1.1	600 mm	2	HP (Profil Bulb)	= HP 197 x 8,7	197,8 cm <sup>3</sup>
2.1	650 mm	2	HP (Profil Bulb)	= HP 197 x 9,7	210,0 cm <sup>3</sup>
3.1	700 mm	2	HP (Profil Bulb)	= HP 197 x 10,7	222,1 cm <sup>3</sup>
4.1	750 mm	2	HP (Profil Bulb)	= HP 197 x 11,7	234,2 cm <sup>3</sup>
5.1	800 mm	2	HP (Profil Bulb)	= HP 227 x 10,7	315,1 cm <sup>3</sup>
6.1	600 mm	1	HP (Profil Bulb)	= HP 217 x 10,7	279,2 cm <sup>3</sup>
7.1	650 mm	1	HP (Profil Bulb)	= HP 237 x 11,7	361,8 cm <sup>3</sup>
8.1	700 mm	1	HP (Profil Bulb)	= HP 277 x 10,2	490,7 cm <sup>3</sup>
9.1	750 mm	1	HP (Profil Bulb)	= HP 297 x 10,7	603,7 cm <sup>3</sup>
10.1	800 mm	1	HP (Profil Bulb)	= HP 337 x 11,7	858,4 cm <sup>3</sup>
1.2	600 mm	2	HP (Profil Bulb)	= HP 200 x 9	206,0 cm <sup>3</sup>
2.2	650 mm	2	HP (Profil Bulb)	= HP 200 x 10	218,5 cm <sup>3</sup>
3.2	700 mm	2	HP (Profil Bulb)	= HP 200 x 11	231,0 cm <sup>3</sup>
4.2	750 mm	2	HP (Profil Bulb)	= HP 200 x 12	243,5 cm <sup>3</sup>
5.2	800 mm	2	HP (Profil Bulb)	= HP 230 x 11	326,2 cm <sup>3</sup>
6.2	600 mm	1	HP (Profil Bulb)	= HP 220 x 11	289,5 cm <sup>3</sup>
7.2	650 mm	1	HP (Profil Bulb)	= HP 240 x 12	373,9 cm <sup>3</sup>
8.2	700 mm	1	HP (Profil Bulb)	= HP 280 x 10,5	512,5 cm <sup>3</sup>
9.2	750 mm	1	HP (Profil Bulb)	= HP 300 x 11	620,6 cm <sup>3</sup>
10.2	800 mm	1	HP (Profil Bulb)	= HP 340 x 12	879,5 cm <sup>3</sup>

Pada Tabel IV.17 adalah hasil ukuran dimensi penegar profil yang telah dioptimasi, dan pada seluruh model sudah memenuhi kriteria tegangan izin yang disyaratkan oleh kelas, dan juga memenuhi kriteria optimasi, yaitu tegangan ekivalen maksimum berada direntang 10% dari tegangan izin.

#### IV.3.6. Pembahasan Hasil Tegangan Dengan FEM

Pada subbab ini akan dibahas mengenai hasil running FEA tegangan ekivalen von mises pada setiap model. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, hasil running tegangan ekivalen von mises digunakan untuk pengecekan kriteria tegangan izin kelas, dan juga untuk kriteria optimasi. Adapun untuk kriteria tegangan izin kelas adalah tegangan ekivalen yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan izin yaitu 175 MPa. Dan untuk kriteria optimasi, tegangan yang terjadi haruslah berada direntang 10% di bawah tegangan izin, untuk mendapatkan berat konstruksi seringan mungkin. Berikut adalah pembahasan hasil *running* analisis tegangan untuk tiap model:

- a. Model 1.1 dan 1.2 (variasi *jarak* penegar 600 mm dengan 2 penumpu horizontal)

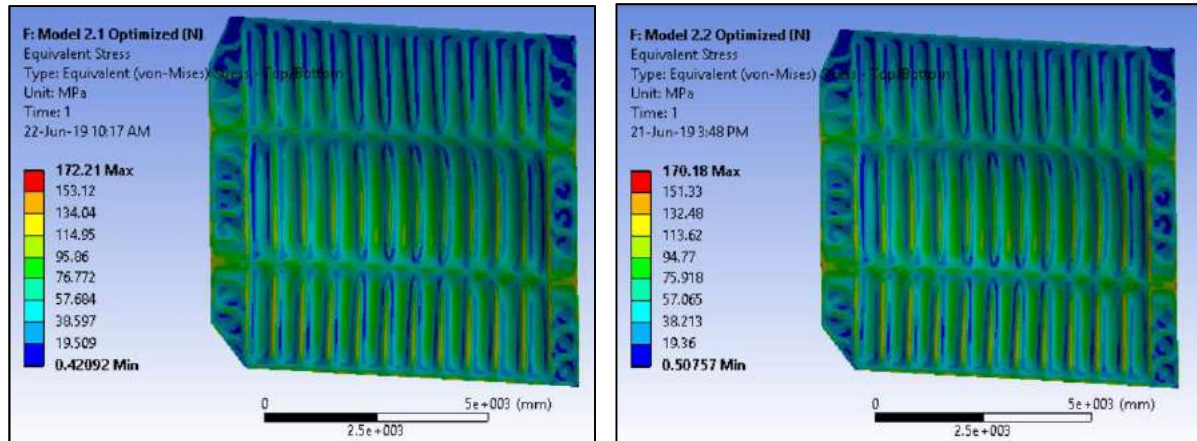


Gambar IV.17 (a) *Equivalent Stress* Pada Model 1.1, (b) *Equivalent Stress* Pada Model 1.2

Pada Gambar IV.17, dapat dilihat hasil running tegangan untuk model 1.1 dan 1.2. Keduanya memiliki susunan konstruksi yang identik (*jarak* penegar 600 mm dan 2 penumpu horizontal), namun hanya berbeda dimensi profil penegar yang digunakan. Pada model 1.1 digunakan profil desain *custom* dan pada model 1.2 menggunakan profil pasaran yang paling mendekati dengan modulus profil desain *custom* yang telah dibuat. Pada model 1.1, tegangan ekivalen yang terjadi adalah sebesar 174,94 MPa, dan pada model 1.2 tegangan ekivalen yang terjadi adalah sebesar 172,96 MPa. Pada desain dengan model 1.1, tegangan yang terjadi lebih besar daripada model 1.2, karena desain *custom* menggunakan dimensi profil penegar yang

paling optimum tanpa mempertimbangkan keberadaannya di pasaran. Sedangkan pada model 1.2, menggunakan ukuran profil penegar yang paling mendekati dengan ukuran profil *custom*, dan pastinya lebih besar ukurannya jika dibandingkan dengan profil desain *custom*, sehingga struktur lebih kuat, dan tegangan maksimum pada model 1.2 lebih kecil daripada model 1.1.

b. Model 2.1 dan 2.2 (variasi *jarak* penegar 650 mm dengan 2 penumpu horizontal)

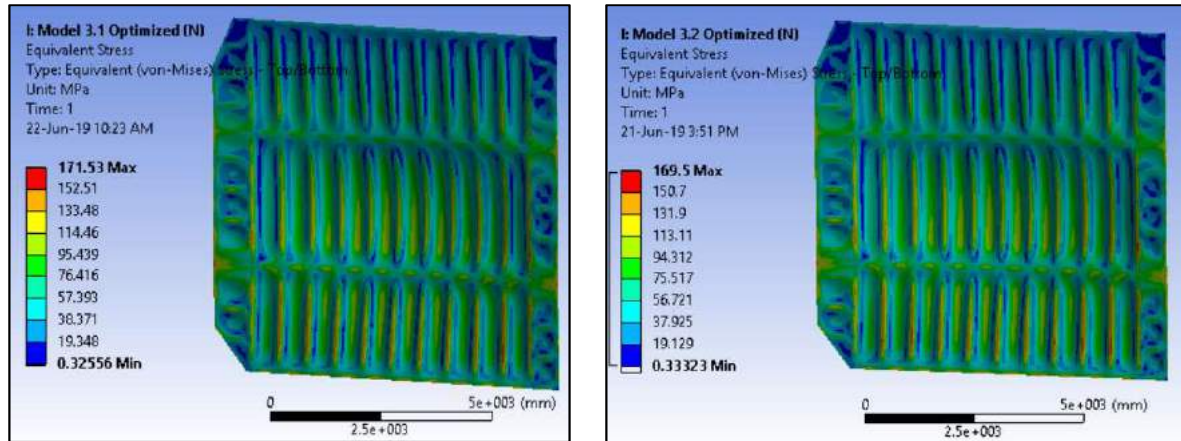


Gambar IV.18 (a) *Equivalent Stress* Pada Model 2.1, (b) *Equivalent Stress* Pada Model 2.2

Pada Gambar IV.18, dapat dilihat hasil running tegangan untuk model 2.1 dan 2.2. Keduanya memiliki susunan konstruksi yang identik (*jarak* penegar 650 mm dan 2 penumpu horizontal), namun hanya berbeda dimensi profil penegar yang digunakan. Pada model 2.1 digunakan profil desain *custom* dan pada model 2.2 menggunakan profil pasaran yang paling mendekati dengan modulus profil desain *custom* yang telah dibuat. Pada model 2.1, tegangan ekivalen yang terjadi adalah sebesar 172,21 MPa, dan pada model 2.2 tegangan ekivalen yang terjadi adalah sebesar 170,18 MPa. Pada desain dengan model 2, tegangan yang terjadi lebih besar daripada model 2.2, karena desain *custom* menggunakan dimensi profil penegar yang paling optimum tanpa mempertimbangkan keberadaannya di pasaran. Sedangkan pada model 2.2, menggunakan ukuran profil penegar yang paling mendekati dengan ukuran profil *custom*, dan pastinya lebih besar ukurannya jika dibandingkan dengan profil desain *custom*, sehingga struktur lebih kuat, dan tegangan maksimum pada model 2.2 lebih kecil daripada model 2.1.

Pada Gambar IV.19, dapat dilihat hasil running tegangan untuk model 3.1 dan 3.2. Keduanya memiliki susunan konstruksi yang identik (*jarak* penegar 700 mm dan 2 penumpu horizontal), namun hanya berbeda dimensi profil penegar yang digunakan. Pada model 3.1 digunakan profil desain *custom* dan pada model 3.2 menggunakan profil pasaran yang paling mendekati dengan modulus profil desain *custom* yang telah dibuat.

c. Model 3.1 dan 3.2 (variasi *jarak* penegar 700 mm dengan 2 penumpu horizontal)



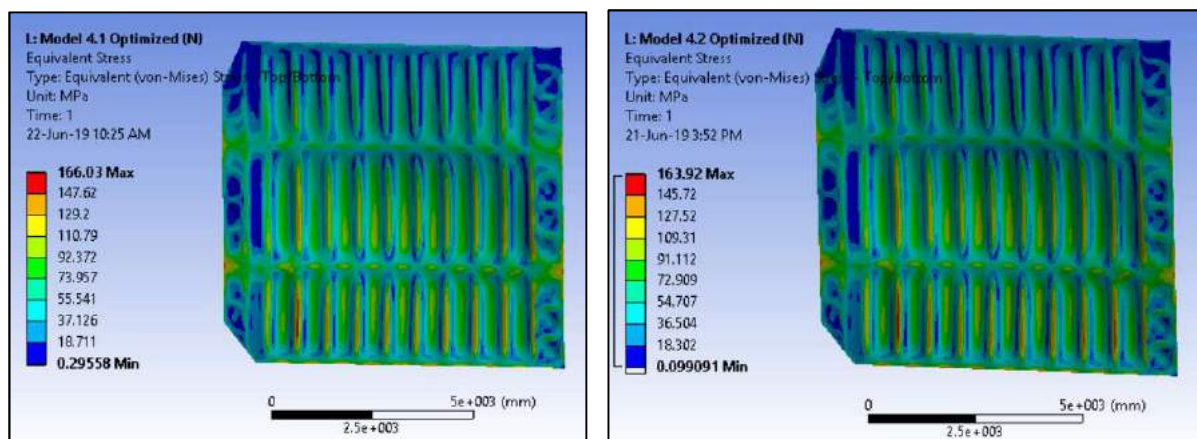
(a)

(b)

**Gambar IV.19 (a) *Equivalent Stress* Pada Model 3.1, (b) *Equivalent Stress* Pada Model 3.2**

Pada model 3.1, tegangan ekivalen yang terjadi adalah sebesar 171,53 MPa, dan pada model 3.2 tegangan ekivalen yang terjadi adalah sebesar 169,5 MPa. Pada desain dengan model 3.1, tegangan yang terjadi lebih besar daripada model 3.2, karena desain *custom* menggunakan dimensi profil penegar yang paling optimum tanpa mempertimbangkan keberadaannya di pasaran. Sedangkan pada model 3.2, menggunakan ukuran profil penegar yang paling mendekati dengan ukuran profil *custom*, dan pastinya lebih besar ukurannya jika dibandingkan dengan profil desain *custom*, sehingga struktur lebih kuat, dan tegangan maksimum pada model 3.2 lebih kecil daripada model 3.1.

d. Model 4.1 dan 4.2 (variasi *jarak* penegar 750 mm dengan 2 penumpu horizontal)



(a)

(b)

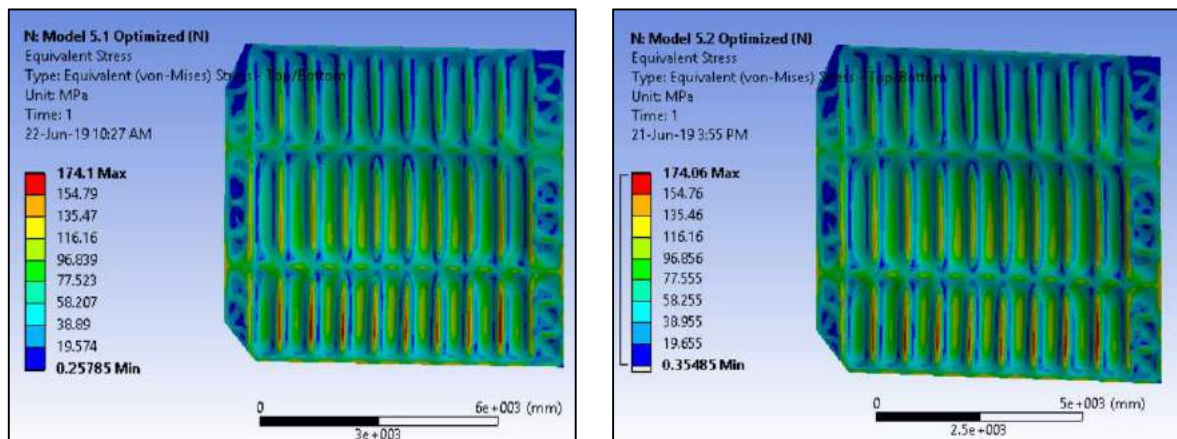
**Gambar IV.20 (a) *Equivalent Stress* Pada Model 4.1, (b) *Equivalent Stress* Pada Model 4.2**

Pada Gambar IV.20, dapat dilihat hasil running tegangan untuk model 4 dan 4.2. Keduanya memiliki susunan konstruksi yang identik (*jarak* penegar 750 mm dan 2 penumpu



horizontal), namun hanya berbeda dimensi profil penegar yang digunakan. Pada model 4.1 digunakan profil desain *custom* dan pada model 4.2 menggunakan profil pasaran yang paling mendekati dengan modulus profil desain *custom* yang telah dibuat. Pada model 4.1, tegangan ekuivalen yang terjadi adalah sebesar 166,03 MPa, dan pada model 4.2 tegangan ekuivalen yang terjadi adalah sebesar 163,92 MPa. Pada desain dengan model 4.1, tegangan yang terjadi lebih besar daripada model 4.2, karena desain *custom* menggunakan dimensi profil penegar yang paling optimum tanpa mempertimbangkan keberadaannya di pasaran. Sedangkan pada model 4.2, menggunakan ukuran profil penegar yang paling mendekati dengan ukuran profil *custom*, dan pastinya lebih besar ukurannya jika dibandingkan dengan profil desain *custom*, sehingga struktur lebih kuat, dan tegangan maksimum pada model 4.2 lebih kecil daripada model 4.1.

e. Model 5.1 dan 5.2 (variasi *jarak* penegar 800 mm dengan 2 penumpu horizontal)



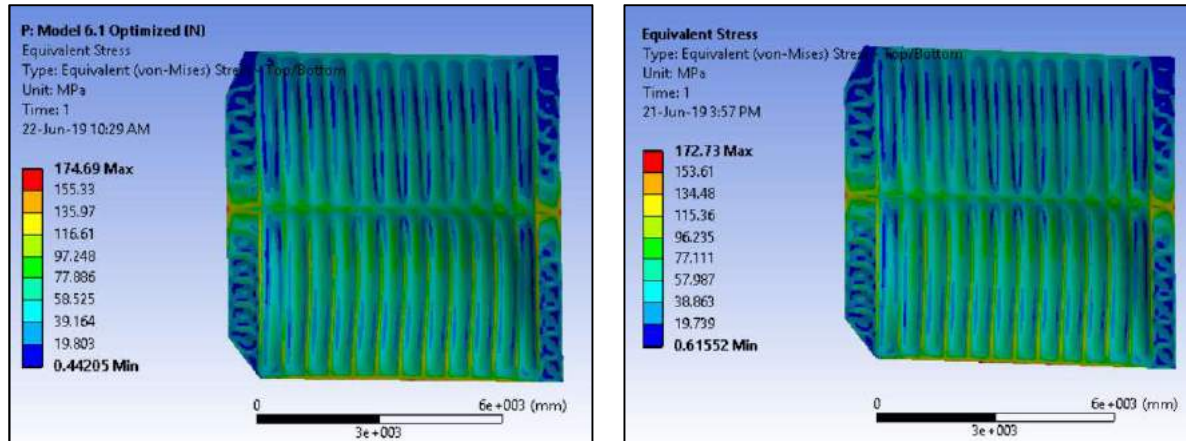
(a)

(b)

**Gambar IV.21 (a) Equivalent Stress Pada Model 5.1, (b) Equivalent Stress Pada Model 5.2**

Pada Gambar IV.21, dapat dilihat hasil running tegangan untuk model 5.1 dan 5.2. Keduanya memiliki susunan konstruksi yang identik (*jarak* penegar 800 mm dan 2 penumpu horizontal), namun hanya berbeda dimensi profil penegar yang digunakan. Pada model 5.1 digunakan profil desain *custom* dan pada model 5.2 menggunakan profil pasaran yang paling mendekati dengan modulus profil desain *custom* yang telah dibuat. Pada model 5.1, tegangan ekuivalen yang terjadi adalah sebesar 174,1 MPa, dan pada model 5.2 tegangan ekuivalen yang terjadi adalah sebesar 174,06 MPa. Pada desain dengan model 5.1, tegangan yang terjadi lebih besar daripada model 5.2, karena desain *custom* menggunakan dimensi profil penegar yang paling optimum tanpa mempertimbangkan keberadaannya di pasaran. Sedangkan pada model 5.2, menggunakan ukuran profil penegar yang paling mendekati dengan ukuran profil *custom*, dan pastinya lebih besar ukurannya jika dibandingkan dengan profil desain *custom*, sehingga struktur lebih kuat, dan tegangan maksimum pada model 5.2 lebih kecil daripada model 5.1.

f. Model 6.1 dan 6.2 (variasi *jarak* penegar 600 mm dengan 1 penumpu horizontal)



(a)

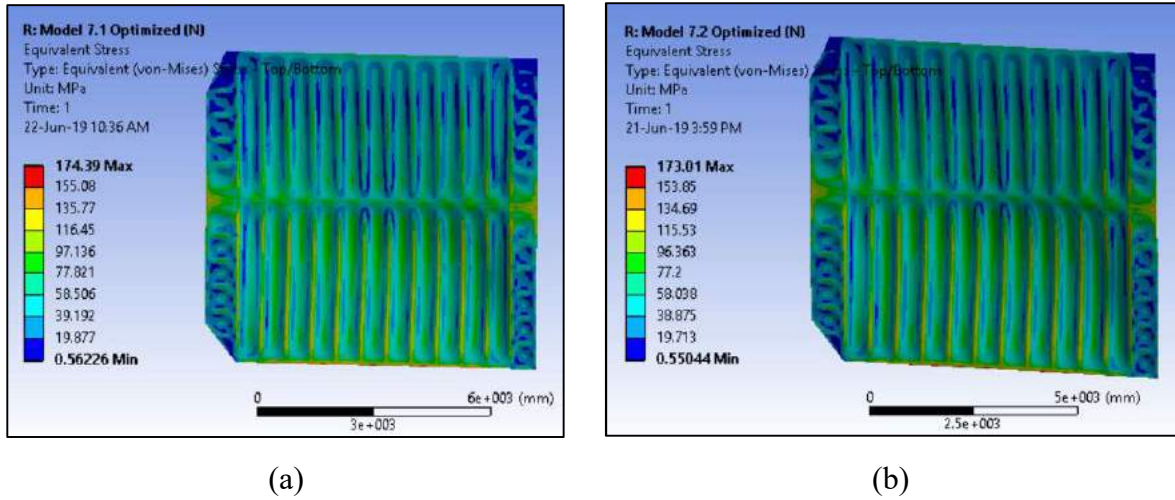
(b)

**Gambar IV.22 (a) *Equivalent Stress* Pada Model 6.1, (b) *Equivalent Stress* Pada Model 6.2**

Pada Gambar IV.22, dapat dilihat hasil *running* tegangan untuk model 6.1 dan 6.2. Keduanya memiliki susunan konstruksi yang identik (*jarak* penegar 600 mm dan 1 penumpu horizontal), namun hanya berbeda dimensi profil penegar yang digunakan. Pada model 6.1 digunakan profil desain *custom* dan pada model 6.2 menggunakan profil pasaran yang paling mendekati dengan modulus profil desain *custom* yang telah dibuat. Pada model 6.1, tegangan ekivalen yang terjadi adalah sebesar 174,69 MPa, dan pada model 6.2 tegangan ekivalen yang terjadi adalah sebesar 172,73 MPa. Pada desain dengan model 6.1, tegangan yang terjadi lebih besar daripada model 6.2, karena desain *custom* menggunakan dimensi profil penegar yang paling optimum tanpa mempertimbangkan keberadaannya di pasaran. Sedangkan pada model 6.2, menggunakan ukuran profil penegar yang paling mendekati dengan ukuran profil *custom*, dan pastinya lebih besar ukurannya jika dibandingkan dengan profil desain *custom*, sehingga struktur lebih kuat, dan tegangan maksimum pada model 6.2 lebih kecil daripada model 6.1.

Pada Gambar IV.23, dapat dilihat hasil *running* tegangan untuk model 7.1 dan 7.2. Keduanya memiliki susunan konstruksi yang identik (*jarak* penegar 650 mm dan 1 penumpu horizontal), namun hanya berbeda dimensi profil penegar yang digunakan. Pada model 7.1 digunakan profil desain *custom* dan pada model 7.2 menggunakan profil pasaran yang paling mendekati dengan modulus profil desain *custom* yang telah dibuat. Pada model 7.1, tegangan ekivalen yang terjadi adalah sebesar 174,39 MPa, dan pada model 7.2 tegangan ekivalen yang terjadi adalah sebesar 173,01 MPa. Pada desain dengan model 7.1, tegangan yang terjadi lebih besar daripada model 7.2, karena desain *custom* menggunakan dimensi profil penegar yang paling optimum tanpa mempertimbangkan keberadaannya di pasaran.

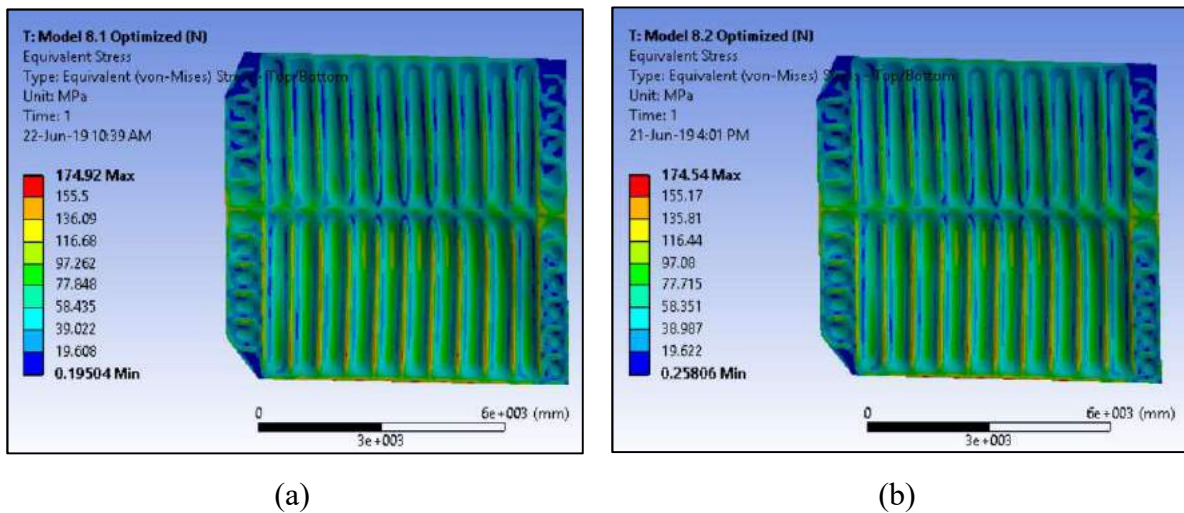
g. Model 7.1 dan 7.2 (variasi *jarak* penegar 650 mm dengan 1 penumpu horizontal)



Gambar IV.23 (a) *Equivalent Stress* Pada Model 7.1, (b) *Equivalent Stress* Pada Model 7.2

Sedangkan pada model 7.2, menggunakan ukuran profil penegar yang paling mendekati dengan ukuran profil *custom*, dan pastinya lebih besar ukurannya jika dibandingkan dengan profil desain *custom*, sehingga struktur lebih kuat, dan tegangan maksimum pada model 7.2 lebih kecil daripada model 7.1.

h. Model 8.1 dan 8.2 (variasi *jarak* penegar 700 mm dengan 1 penumpu horizontal)

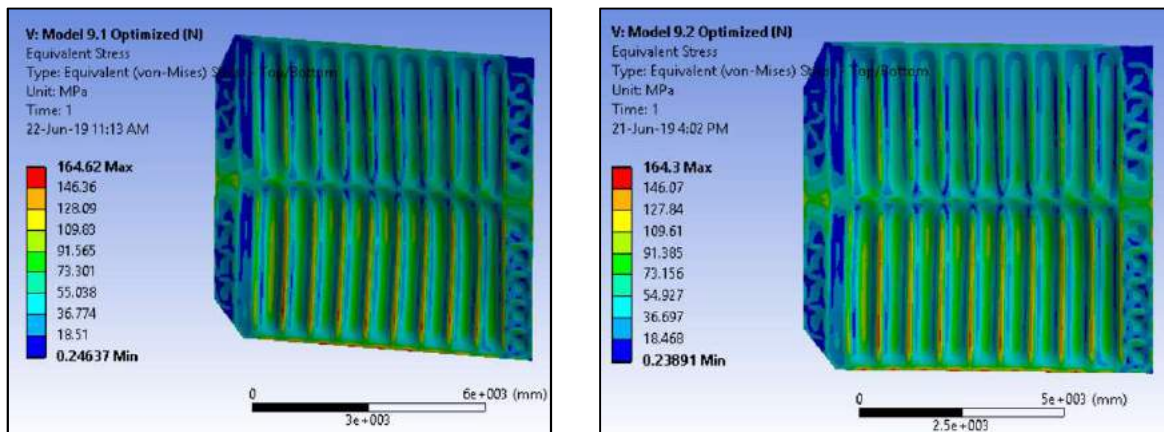


Gambar IV.24 (a) *Equivalent Stress* Pada Model 8.1, (b) *Equivalent Stress* Pada Model 8.2

Pada Gambar IV.24, dapat dilihat hasil running tegangan untuk model 8.1 dan 8.2. Keduanya memiliki susunan konstruksi yang identik (*jarak* penegar 700 mm dan 1 penumpu horizontal), namun hanya berbeda dimensi profil penegar yang digunakan. Pada model 8.1 digunakan profil desain *custom* dan pada model 8.2 menggunakan profil pasaran yang paling mendekati dengan modulus profil desain *custom* yang telah dibuat. Pada model 8.1, tegangan ekuivalen yang terjadi adalah sebesar 174,92 MPa, dan pada model 8.2 tegangan ekuivalen yang

terjadi adalah sebesar 174,54 MPa. Pada desain dengan model 8.1, tegangan yang terjadi lebih besar daripada model 8.2, karena desain *custom* menggunakan dimensi profil penegar yang paling optimum tanpa mempertimbangkan keberadaannya di pasaran. Sedangkan pada model 8.2, menggunakan ukuran profil penegar yang paling mendekati dengan ukuran profil *custom*, dan pastinya lebih besar ukurannya jika dibandingkan dengan profil desain *custom*, sehingga struktur lebih kuat, dan tegangan maksimum pada model 8.2 lebih kecil daripada model 8.1.

i. Model 9.1 dan 9.2 (variasi *jarak* penegar 750 mm dengan 1 penumpu horizontal)



(a)

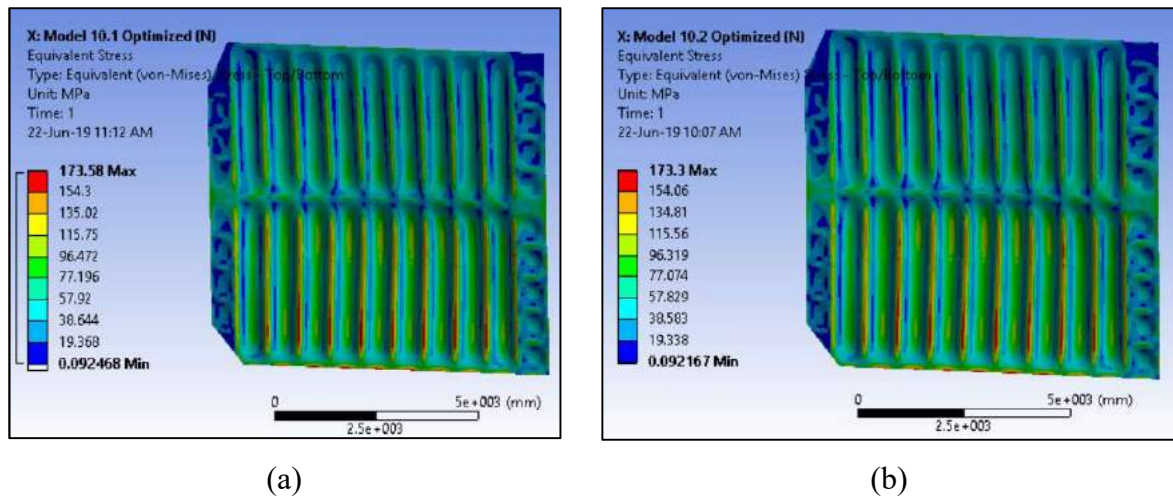
(b)

**Gambar IV.25 (a) Equivalent Stress Pada Model 9.1, (b) Equivalent Stress Pada Model 9.2**

Pada Gambar IV.25, dapat dilihat hasil *running* tegangan untuk model 9.1 dan 9.2. Keduanya memiliki susunan konstruksi yang identik (*jarak* penegar 750 mm dan 1 penumpu horizontal), namun hanya berbeda dimensi profil penegar yang digunakan. Pada model 9.1 digunakan profil desain *custom* dan pada model 9.2 menggunakan profil pasaran yang paling mendekati dengan modulus profil desain *custom* yang telah dibuat. Pada model 9.1, tegangan ekuivalen yang terjadi adalah sebesar 164,62 MPa, dan pada model 9.2 tegangan ekuivalen yang terjadi adalah sebesar 164,3 MPa. Pada desain dengan model 9.1, tegangan yang terjadi lebih besar daripada model 9.2, karena desain *custom* menggunakan dimensi profil penegar yang paling optimum tanpa mempertimbangkan keberadaannya di pasaran. Sedangkan pada model 9.2, menggunakan ukuran profil penegar yang paling mendekati dengan ukuran profil *custom*, dan pastinya lebih besar ukurannya jika dibandingkan dengan profil desain *custom*, sehingga struktur lebih kuat, dan tegangan maksimum pada model 9.2 lebih kecil daripada model 9.1.

Pada Gambar IV.26, dapat dilihat hasil *running* tegangan untuk model 10.1 dan 10.2. Keduanya memiliki susunan konstruksi yang identik (*jarak* penegar 800 mm dan 1 penumpu horizontal), namun hanya berbeda dimensi profil penegar yang digunakan.

j. Model 10.1 dan 10.2 (variasi jarak penegar 800 mm dengan 1 penumpu horizontal)

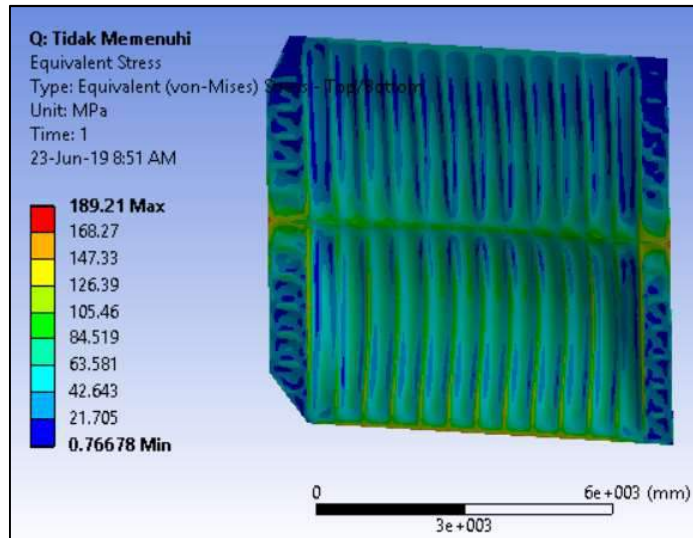


Gambar IV.26 (a) *Equivalent Stress* Pada Model 10.1, (b) *Equivalent Stress* Pada Model 10.2

Pada model 10.1 digunakan profil desain *custom* dan pada model 10.2 menggunakan profil pasaran yang paling mendekati dengan modulus profil desain *custom* yang telah dibuat. Pada model 10.1, tegangan ekivalen yang terjadi adalah sebesar 173,58 MPa, dan pada model 10.2 tegangan ekivalen yang terjadi adalah sebesar 173,3 MPa. Pada desain dengan model 10.1, tegangan yang terjadi lebih besar daripada model 10.2, karena desain *custom* menggunakan dimensi profil penegar yang paling optimum tanpa mempertimbangkan keberadaannya di pasaran. Sedangkan pada model 10.2, menggunakan ukuran profil penegar yang paling mendekati dengan ukuran profil *custom*, dan pastinya lebih besar ukurannya jika dibandingkan dengan profil desain *custom*, sehingga struktur lebih kuat, dan tegangan maksimum pada model 10.2 lebih kecil daripada model 10.1.

Semua model diatas sudah dioptimasi dengan mempertimbangkan aspek tegangan izin dari kelas. Seperti contoh pada model 6.2, ukuran penegar sudahlah optimum memenuhi batas optimasi dengan tegangan berada di rentang 10% dibawah tegangan izin. Ukuran penegar yang digunakan adalah Bulb HP 220x11. Apabila ukuran penegar dikecilkan lagi, maka akan terjadi kegagalan dari aspek tegangan izin seperti yang dapat dilihat pada Gambar IV.27.

Pada Gambar IV.27, terlihat bahwa ketika ukuran penegar dikecilkan lagi menjadi *Bulb* HP 200x9, tegangan maksimum yang terjadi pada struktur sekat adalah sebesar 189,21 MPa, dimana besarnya melebihi tegangan izin oleh kelas yaitu 175 MPa. Oleh karena itu, ukuran penegar sebelumnya sudah dianggap optimal, dan tidak perlu dikecilkan lagi.



Gambar IV.27 Model Tidak Memenuhi Kriteria Tegangan Izin Kelas

### IV.3.7. Rekapitulasi dan Pembahasan Berat Konstruksi Sekat

Setelah semua model memenuhi kriteria tegangan, maka selanjutnya adalah melakukan rekapitulasi berat konstruksi sekat melintang. Berat model dihitung langsung menggunakan *software finite element analysis (FEA)*. Adapun rekapitulasi berat konstruksi sekat melintang dapat dilihat pada Tabel IV.18.

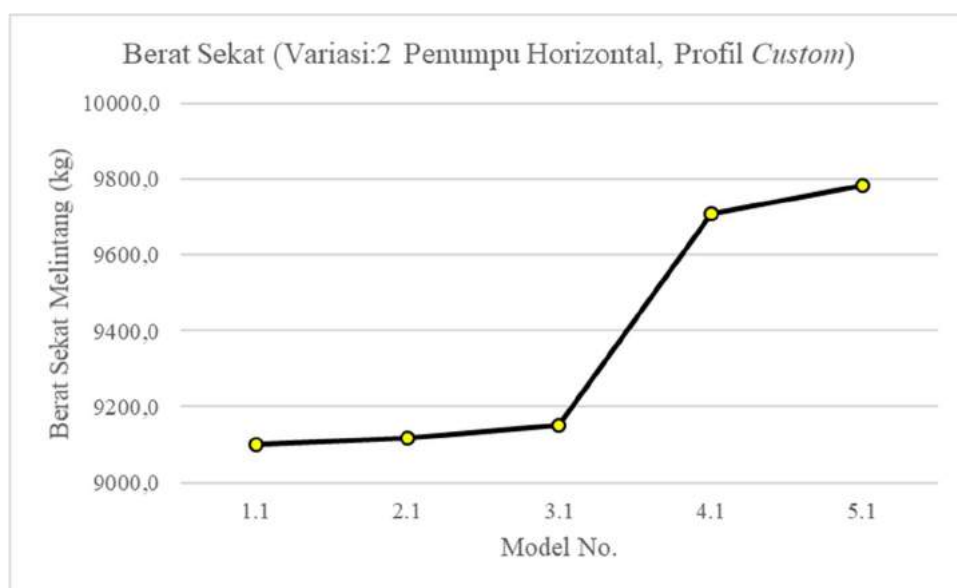
Tabel IV.18 Rekapitulasi Berat Konstruksi Model Sekat

Model	Berat Sekat (kg)	Jml. Penegar Vertical	Jml. Penegar Horizontal	Rentang dari tegangan izin (%)
1.1	9099,9	13	22	0,03%
2.1	9115,7	12	20	1,59%
3.1	9149,3	11	20	1,98%
4.1	9709,2	11	20	5,13%
5.1	9784,3	10	16	0,51%
6.1	9045,4	13	24	0,18%
7.1	9397,8	12	22	0,35%
8.1	9456,3	11	20	0,05%
9.1	10235,0	11	20	5,93%
10.1	10944,0	10	20	0,81%
1.2	9180,1	13	22	1,17%
2.2	9192,7	12	20	2,75%
3.2	9224,2	11	20	3,14%
4.2	9790,5	11	20	6,33%
5.2	9856,1	10	16	0,54%
6.2	9137,8	13	24	1,30%
7.2	9497,4	12	22	1,14%
8.2	9549,3	11	20	0,26%
9.2	10331,0	11	20	6,11%
10.2	11045,0	10	20	0,97%

Pada Tabel IV.18 dapat dilihat rekapitulasi berat konstruksi modal sekat melintang. Untuk model 1.1-10.1 merupakan model dengan desain ukuran penegar secara *custom*, sedangkan untuk model 1.2-10.2, menggunakan ukuran penegar pasaran (katalog). Oleh sebab

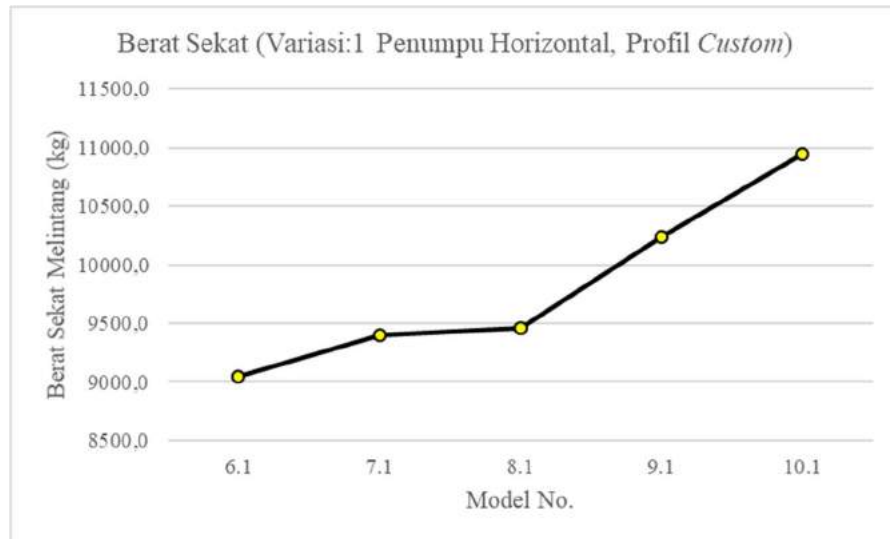
itu, perbandingan berat akan dipisah antara model 1.1-10.1, dan model 1.2-10.2. Pada Tabel IV.18 dapat dilihat juga rentang tegangan yang terjadi pada tiap model terhadap tegangan izin. Dikarenakan batasan optimasi yang digunakan pada penelitian ini adalah tegangan yang terjadi harus berada di rentang 10% dibawah tegangan izin, maka tegangan yang terjadi dapat bervariasi asalkan berada di rentang yang sudah ditetapkan. Hal ini dapat digunakan sebagai informasi tambahan untuk tolok ukur tingkat optimasi yang digunakan pada tiap model. Semakin kecil rentang terhadap tegangan izin, maka optimasi yang dilakukan semakin bagus, dan berat konstruksi sekatnya semakin ringan pula. Jika diamati lebih dalam, pada model 1.1-10.1, untuk sekat melintang terdapat pada model 6.1 dengan rentang tegangan izin sebesar 0,18%, sedangkan rentang tegangan izin yang terkecil terdapat pada model 1.1 yaitu sebesar 0,03%. Hal ini menunjukkan bahwa walaupun rentang tegangan dari tegangan izin menentukan tingkat optimasi berat sekat, namun hal ini bukanlah faktor utama, melainkan hanya salah satu faktor pertimbangan.

Kemudian salah satu faktor lain yang menentukan berat struktur sekat adalah jumlah penegar yang terpasang. Dapat dilihat pada Tabel IV.18, bahwa semakin besar jarak penegar sekat, maka semakin sedikit pula jumlah penegar yang terpasang, dan modulus tiap penegar tersebut semakin besar pula sebagai kompensasi akan hal tersebut. Dan dapat dilihat pada Gambar IV.28, terlihat bahwa menggunakan jarak penegar besar tidaklah efektif, karena walaupun jumlah penegar semakin sedikit, namun kenaikan ukuran modulus penegar dampaknya lebih besar terhadap berat struktur sekat, sehingga semakin besar jarak penegar, maka berat sekat semakin besar pula.



Gambar IV.28 Grafik Berat Sekat Untuk Model 1.1 – 5.1

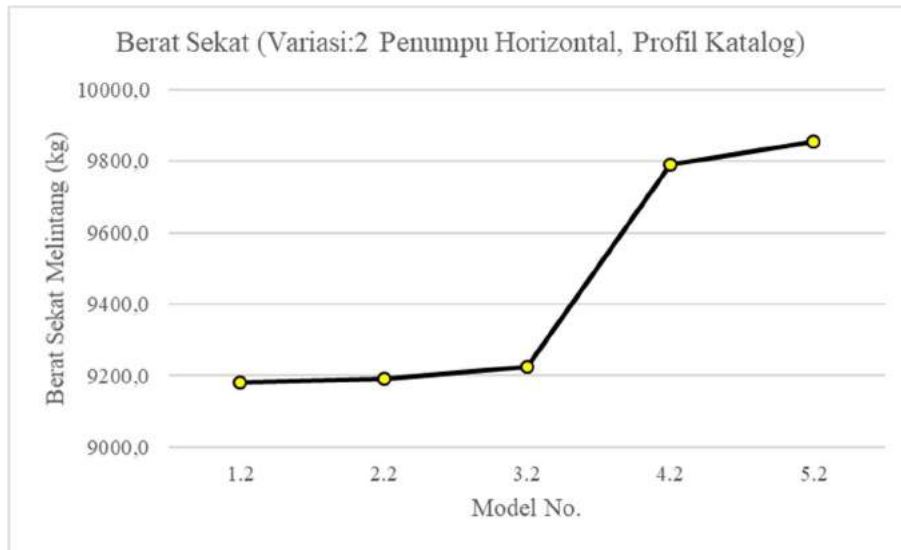
Pada Gambar IV.28, dapat dilihat bahwa untuk model dengan variasi 2 buah penumpu horizontal sekat dan profil desain *custom*, berat sekat mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya jarak penegar. Adapun berat sekat mengalami kenaikan secara drastis pada model dari jarak penegar dari model 700 mm ke 750 mm, dengan kenaikan berat sebesar 559,9 kg. Model sekat teringan terdapat pada model 1.1, dengan variasi jarak 600 mm, yaitu sebesar 9099,9 kg.



**Gambar IV.29 Grafik Berat Sekat Untuk Model 6.1 – 10.1**

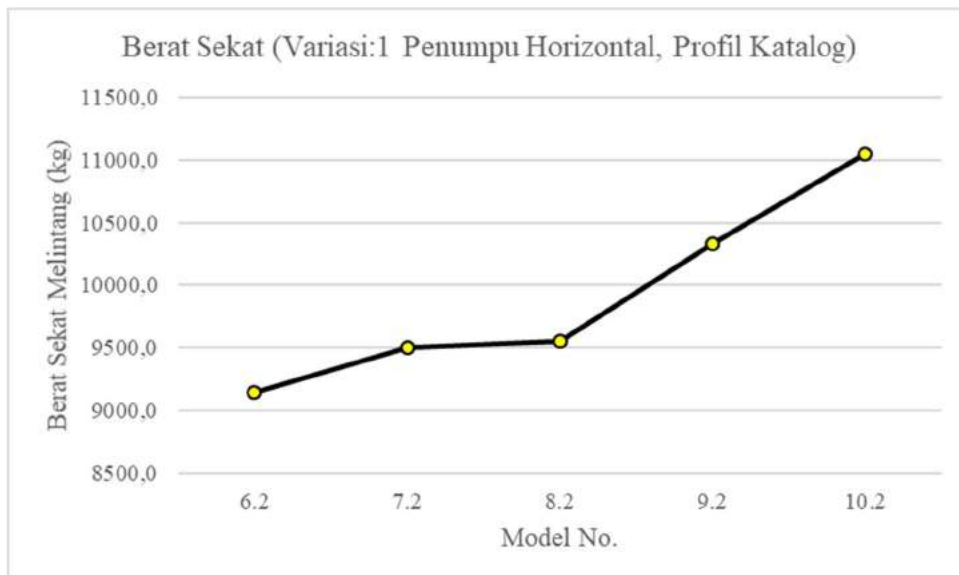
Pada Gambar IV.29, dapat dilihat bahwa untuk model dengan variasi 1 buah penumpu horizontal sekat dan profil desain *custom*, berat sekat mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya jarak penegar, dengan kenaikan berat terbesar yaitu sebesar 778,7 kg. Model sekat teringan terdapat pada model 6.1, dengan variasi jarak 600 mm, yaitu sebesar 9045,4 kg. Adapun jika dibandingkan secara keseluruhan dengan model 1.1-5.1 yang menggunakan variasi 2 penumpu horizontal, model sekat melintang teringan tetaplah berada pada model 6.1, namun model dengan variasi 1 penumpu horizontal sekat, tidaklah selalu lebih ringan jika dibandingkan dengan model dengan variasi 2 penumpu horizontal sekat dengan jarak penegar yang sama. Hal ini dapat dilihat pada model 5.1 jika dibandingkan dengan model 10.1, terlihat bahwa model 10.1 dengan variasi 1 penumpu sekat jauh lebih berat daripada model 5.1 dengan 2 penumpu horizontal sekat yaitu sebesar 1159,7 kg.





**Gambar IV.30 Grafik Berat Sekat Untuk Model 1.2 – 5.2**

Adapun untuk model dengan variasi profil katalog, grafik berat sekatnya hampir sama seperti model dengan desain, karena pada dasarnya profil katalog dipilih yang ukuran modulus profilnya mendekati nilai modulus profil desain *custom*. Pada Gambar IV.30, dapat dilihat bahwa untuk model dengan variasi 2 buah penumpu horizontal sekat dan profil desain katalog, berat sekat mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya jarak penegar. Adapun kenaikan berat sekat paling besar terjadi pada kenaikan jarak penegar dari model 700 mm ke 750 mm, dengan kenaikan berat sebesar 566,3 kg. Model sekat teringan terdapat pada model 1.2, dengan variasi jarak 600 mm, yaitu sebesar 9180,1 kg.



**Gambar IV.31 Grafik Berat Sekat Untuk Model 6.2 – 10.2**

Pada Gambar IV.31, dapat dilihat bahwa untuk model dengan variasi 1 buah penumpu horizontal sekat dan profil desain katalog, berat sekat mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya jarak penegar, dengan kenaikan berat terbesar yaitu sebesar 778,7 kg. Model

sekat teringan terdapat pada model 6.2, dengan variasi jarak 600 mm, yaitu sebesar 9137,8 kg. Adapun jika dibandingkan secara keseluruhan dengan model 1.2-5.2 yang menggunakan variasi 2 penumpu horizontal, model sekat melintang teringan tetaplah berada pada model 6.2, namun model dengan variasi 1 penumpu horizontal sekat, tidaklah selalu lebih ringan jika dibandingkan dengan model dengan variasi 2 penumpu horizontal sekat dengan jarak penegar yang sama. Hal ini dapat dilihat pada model 5.2 jika dibandingkan dengan model 10.2, terlihat bahwa model 10.1 dengan variasi 1 penumpu sekat jauh lebih berat daripada model 5.2 dengan 2 penumpu horizontal sekat yaitu sebesar 1188,9 kg.

Jika dibandingkan antara sekat dengan menggunakan profil desain custom dan profil pasaran, hasilnya tentu lebih ringan profil desain custom, karena didesain seoptimal mungkin tanpa mempertimbangkan ukuran umum yang biasa dijual di pasaran. Sehingga, untuk sekat model 1.1-10.1 tentu jauh lebih ringan daripada sekat model 1.2-10.2, dan untuk model sekat teringan dari seluruh model adalah model 6.1, yaitu sebesar 9045,4 kg.

Halaman ini sengaja dikosongkan



## **BAB V**

# **KESIMPULAN DAN SARAN**

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi jenis profil penegar yang paling ringan untuk digunakan sebagai penegar sekat melintang adalah jenis profil *bulb*, yang menghasilkan berat konstruksi sekat sebesar 9180,1 kg, yang lebih ringan dari variasi lain yaitu sekat dengan profil penegar *Unequal Legs Angle Bar* (sebesar 3,26% lebih ringan) dan sekat dengan profil penegar *Equal Legs Angle Bar* (sebesar 5,96% lebih ringan).
2. Untuk sekat melintang dengan variasi jarak penegar, penumpu horizontal dan desain profil *custom* dan katalog, berat konstruksi sekat minimum terdapat pada model sekat melintang ukuran profil *custom*, dengan variasi jarak penegar 600 mm dan 1 penumpu horizontal, yaitu sebesar 9045,4 kg, lebih ringan sebesar 1,47% (134,7 kg) dari model sekat melintang data asli kapal.

#### **V.2. Saran**

Adapun saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya sebagai tambahan untuk melengkapi penelitian tugas akhir ini, antara lain:

1. Variasi jarak penegar, dapat ditambahkan selain daripada 600 mm, 650 mm, 700 mm, 750 mm dan 800 mm.
2. Variasi jumlah penumpu horizontal, dapat ditambahkan selain daripada 1 dan 2 buah penumpu horizontal.
3. Pada analisa konstruksi sekat melintang dapat ditambahkan analisis lebih lanjut menggunakan beban dinamis seperti *sloshing*.
4. Pada proses optimasi, dapat ditambahkan variasi dalam pemilihan material untuk *scantlings* dari sekat melintang yang meliputi pelat, penegar dan penumpu sekat.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR PUSTAKA

- Ardianus, A., Sujiatanti, S. H., & Setyawan, D. (2018). Analisa Kekuatan Konstruksi Sekat Melintang Kapal Tanker dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik ITS*. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24900>
- BKI. (2006). Aneks. In *BKI Rules for the classification and construction*.
- ClassNK. (2018). *Rules for the Survey and Construction of Steel Ships Part C*. Diakses dari [www.classnk.or.jp](http://www.classnk.or.jp)
- Cook, R. d. (2002). *Concepts and Applications of Finite Element Analysis* (4th ed.). Madison: John Wiley & Sons, Inc.
- Dieter, G. E. (1993). *Metalurgi Mekanik* (Jilid 1). Jakarta: Erlangga.
- Djaja, I. K., & Sofi', M. (2008). *Teknik Konstruksi Kapal Baja* (Jilid 1). Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Departemen Pendidikan Nasional.
- Gere, J. M., & Timoshenko, S. P. (1996). *Mekanika Bahan Jilid 1* (Edisi Keem). Jakarta: Erlangga.
- Hosford, W. F. (2005). *Mechanical Behavior of Materials*. Cambridge: Cambridge University Press.
- IACS. (2018). *Rules for the Survey and Construction of Steel Ships Part CSR-T*. Diakses dari [www.classnk.or.jp](http://www.classnk.or.jp)
- Isworo, H. (2018). *Mekanika Kekuatan Material I*. Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat.
- Logan, D. L., Veitch, E., Carson, C., Burrell, K. R., Gould, V., Wagner, E., ... Wagner, E. (2011). *A First Course in the Finite Element Method* (Vol. 147). [https://doi.org/10.1016/0022-460X\(91\)90505-E](https://doi.org/10.1016/0022-460X(91)90505-E)
- Parkinson, A. R., Balling, R. J., & Hedengren, J. D. (2013). *Optimization Methods for Engineering Design - Applications and Theory*. Diakses dari <https://static1.squarespace.com/static/53eacd17e4b0588f78eb723c/t/586ea636d482e91c7a76bd61/1483646550748/Optimization+Methods+in+Engineering+Design.pdf>
- Popov, E. P. (1984). *Mekanika Teknik* (D. Siregar & edi harjadi Tjahjana, eds.). Jakarta: Erlangga.
- Sanjaya, D. D., Sujiatanti, S. H., & Yulianto, T. (2017). Analisa Kekuatan Konstruksi Wing

Tank Kapal Tanker Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik ITS*.  
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.27408>

Santosa, B. (2013). Kekuatan Kapal. In *ITS*. <https://doi.org/10.3406/arch.1977.1322>

SHARCNET. (2016). Element Help. Diakses 11 Juni 2019, dari [www.sharcnet.ca](http://www.sharcnet.ca)

Shin, S. H., & Ko, D. E. (2018). A study on minimum weight design of vertical corrugated bulkheads for chemical tankers. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2017.06.005>



## LAMPIRAN

Lampiran A Gambar Rencana Umum Kapal

Lampiran B Gambar Konstruksi Sekat Melintang

Lampiran C Perhitungan *Bulkhead Scantlings*

Lampiran D Katalog Profil

Lampiran E Perhitungan Desain Modulus Profil

Lampiran F Hasil Analisis Tegangan Dengan *Finite Element Method (FEM)*

Lampiran G Rekapitulasi Berat Konstruksi Sekat

**LAMPIRAN A**  
**GAMBAR RENCANA UMUM KAPAL**



**LAMPIRAN B**  
**GAMBAR KONSTRUKSI SEKAT MELINTANG**



**LAMPIRAN C**  
**PERHITUNGAN *BULKHEAD SCANTLINGS***

## PERHITUNGAN TEBAL PELAT MINIMUM

### Untuk Model Sekat Jarak Penegar 600 mm (Model 1.1, 1.2, 6.1, dan 6.2)

Lajur 1 (h = 8,3 m)

Deskripsi	Input	Keterangan
$L (L_{pp})$	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1	
$C_2 = 3.6VK$ (Untuk sekat melintang)	3,6	
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1	Mild Steel
$S$ (Jarak antar penegar)	0,60 m	
$h_1$	8,30 m	
$l_t$ (Panjang tangki)	12,35 m	if $l_t < 10, l_t = 10$
$b_t$ (Lebar tangki)	10,00 m	if $l_b < 10, l_b = 10$
$\Delta h = 16/L(l_t - 10) + 0.25(b_t - 10)$	0,369	
$h_2 = 0.85(h_1 + \Delta h)$	7,37 m	
$h_3 = 0.3VL$	3,03 m	
$t_1$ (ketebalan untuk $h_1$ )	9,72 mm	
$t_2$ (ketebalan untuk $h_2$ )	9,36 mm	
$t_3$ (ketebalan untuk $h_3$ )	7,26 mm	
$t_{min}$ (tebal minimum disyaratkan kelas)	8,00 mm	for $L_{pp} < 105$ m
$t_{final}$ (tebal pelat yang digunakan)	<b>10 mm</b>	

Lajur 2 (h = 5,7 m)

Deskripsi	Input	Keterangan
$L (L_{pp})$	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1	
$C_2 = 3.6VK$ (Untuk sekat melintang)	3,6	
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1	Mild Steel
$S$ (Jarak antar penegar)	0,60 m	
$h_1$	5,70 m	
$l_t$ (Panjang tangki)	12,35 m	if $l_t < 10, l_t = 10$
$b_t$ (Lebar tangki)	10,00 m	if $l_b < 10, l_b = 10$
$\Delta h = 16/L(l_t - 10) + 0.25(b_t - 10)$	0,369	
$h_2 = 0.85(h_1 + \Delta h)$	5,16 m	
$h_3 = 0.3VL$	3,03 m	
$t_1$ (ketebalan untuk $h_1$ )	8,66 mm	
$t_2$ (ketebalan untuk $h_2$ )	8,41 mm	
$t_3$ (ketebalan untuk $h_3$ )	7,26 mm	
$t_{min}$ (tebal minimum disyaratkan kelas)	8,00 mm	for $L_{pp} < 105$ m
$t_{final}$ (tebal pelat yang digunakan)	<b>9 mm</b>	

Lajur 3 (h = 2,7 m)

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ ( $L_{pp}$ )	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1	
$C_2 = 3.6\sqrt{K}$ (Untuk sekat melintang)	3,6	
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1	Mild Steel
$S$ (Jarak antar penegar)	0,60 m	
$h_1$	2,70 m	
$l_t$ (Panjang tangki)	12,35 m	if $l_t < 10, l_t = 10$
$b_t$ (Lebar tangki)	10,00 m	if $l_b < 10, l_b = 10$
$\Delta h = 16/L(l_t - 10) + 0.25(b_t - 10)$	0,369	
$h_2 = 0.85(h_1 + \Delta h)$	2,61 m	
$h_3 = 0.3\sqrt{L}$	3,03 m	
$t_1$ (ketebalan untuk $h_1$ )	7,05 mm	
$t_2$ (ketebalan untuk $h_2$ )	6,99 mm	
$t_3$ (ketebalan untuk $h_3$ )	7,26 mm	
$t_{min}$ (tebal minimum disyaratkan kelas)	8,00 mm	for $L_{pp} < 105$ m
$t_{final}$ (tebal pelat yang digunakan)	<b>8 mm</b>	

**Untuk Model Sekat Jarak Penegar 650 mm (Model 2.1, 2.2, 7.1, dan 7.2)**

Lajur 1 (h = 8,3 m)

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ ( $L_{pp}$ )	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1	
$C_2 = 3.6\sqrt{K}$ (Untuk sekat melintang)	3,6	
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1	Mild Steel
$S$ (Jarak antar penegar)	0,65 m	
$h_1$	8,30 m	
$l_t$ (Panjang tangki)	12,35 m	if $l_t < 10, l_t = 10$
$b_t$ (Lebar tangki)	10,00 m	if $l_b < 10, l_b = 10$
$\Delta h = 16/L(l_t - 10) + 0.25(b_t - 10)$	0,369	
$h_2 = 0.85(h_1 + \Delta h)$	7,37 m	
$h_3 = 0.3\sqrt{L}$	3,03 m	
$t_1$ (ketebalan untuk $h_1$ )	10,24 mm	
$t_2$ (ketebalan untuk $h_2$ )	9,85 mm	
$t_3$ (ketebalan untuk $h_3$ )	7,57 mm	
$t_{min}$ (tebal minimum disyaratkan kelas)	8,00 mm	for $L_{pp} < 105$ m
$t_{final}$ (tebal pelat yang digunakan)	<b>10 mm</b>	



Lajur 2 (h = 5,7 m)

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ (Lpp)	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1	
$C_2 = 3.6\sqrt{K}$ (Untuk sekat melintang)	3,6	
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1	Mild Steel
$S$ (Jarak antar penegar)	0,65 m	
$h_1$	5,70 m	
$l_t$ (Panjang tangki)	12,35 m	if $l_t < 10, l_t = 10$
$b_t$ (Lebar tangki)	10,00 m	if $l_b < 10, l_b = 10$
$\Delta h = 16/L(l_t - 10) + 0.25(b_t - 10)$	0,369	
$h_2 = 0.85(h_1 + \Delta h)$	5,16 m	
$h_3 = 0.3\sqrt{L}$	3,03 m	
$t_1$ (ketebalan untuk $h_1$ )	9,09 mm	
$t_2$ (ketebalan untuk $h_2$ )	8,81 mm	
$t_3$ (ketebalan untuk $h_3$ )	7,57 mm	
$t_{min}$ (tebal minimum disyaratkan kelas)	8,00 mm	for Lpp < 105 m
$t_{final}$ (tebal pelat yang digunakan)	<b>9 mm</b>	

Lajur 3 (h = 2,7 m)

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ (Lpp)	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1	
$C_2 = 3.6\sqrt{K}$ (Untuk sekat melintang)	3,6	
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1	Mild Steel
$S$ (Jarak antar penegar)	0,65 m	
$h_1$	2,70 m	
$l_t$ (Panjang tangki)	12,35 m	if $l_t < 10, l_t = 10$
$b_t$ (Lebar tangki)	10,00 m	if $l_b < 10, l_b = 10$
$\Delta h = 16/L(l_t - 10) + 0.25(b_t - 10)$	0,369	
$h_2 = 0.85(h_1 + \Delta h)$	2,61 m	
$h_3 = 0.3\sqrt{L}$	3,03 m	
$t_1$ (ketebalan untuk $h_1$ )	7,35 mm	
$t_2$ (ketebalan untuk $h_2$ )	7,28 mm	
$t_3$ (ketebalan untuk $h_3$ )	7,57 mm	
$t_{min}$ (tebal minimum disyaratkan kelas)	8,00 mm	for Lpp < 105 m
$t_{final}$ (tebal pelat yang digunakan)	<b>8 mm</b>	

**Untuk Model Sekat Jarak Penegar 700 mm (Model 3.1, 3.2, 8.1, dan 8.2)**

Lajur 1 (h = 8,3 m)

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ ( $L_{pp}$ )	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1	
$C_2 = 3.6\sqrt{K}$ (Untuk sekat melintang)	3,6	
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1	Mild Steel
$S$ (Jarak antar penegar)	0,70 m	
$h_1$	8,30 m	
$l_t$ (Panjang tangki)	12,35 m	if $l_t < 10$ , $l_t = 10$
$b_t$ (Lebar tangki)	10,00 m	if $l_b < 10$ , $l_b = 10$
$\Delta h = 16/L(l_t - 10) + 0.25(b_t - 10)$	0,369	
$h_2 = 0.85(h_1 + \Delta h)$	7,37 m	
$h_3 = 0.3\sqrt{L}$	3,03 m	
$t_1$ (ketebalan untuk $h_1$ )	10,76 mm	
$t_2$ (ketebalan untuk $h_2$ )	10,34 mm	
$t_3$ (ketebalan untuk $h_3$ )	7,89 mm	
$t_{min}$ (tebal minimum disyaratkan kelas)	8,00 mm	for $L_{pp} < 105$ m
$t_{final}$ (tebal pelat yang digunakan)	<b>11 mm</b>	

Lajur 2 (h = 5,7 m)

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ ( $L_{pp}$ )	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1	
$C_2 = 3.6\sqrt{K}$ (Untuk sekat melintang)	3,6	
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1	Mild Steel
$S$ (Jarak antar penegar)	0,70 m	
$h_1$	5,70 m	
$l_t$ (Panjang tangki)	12,35 m	if $l_t < 10$ , $l_t = 10$
$b_t$ (Lebar tangki)	10,00 m	if $l_b < 10$ , $l_b = 10$
$\Delta h = 16/L(l_t - 10) + 0.25(b_t - 10)$	0,369	
$h_2 = 0.85(h_1 + \Delta h)$	5,16 m	
$h_3 = 0.3\sqrt{L}$	3,03 m	
$t_1$ (ketebalan untuk $h_1$ )	9,52 mm	
$t_2$ (ketebalan untuk $h_2$ )	9,22 mm	
$t_3$ (ketebalan untuk $h_3$ )	7,89 mm	
$t_{min}$ (tebal minimum disyaratkan kelas)	8,00 mm	for $L_{pp} < 105$ m
$t_{final}$ (tebal pelat yang digunakan)	<b>10 mm</b>	

Lajur 3 (h = 2,7 m)

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ (Lpp)	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1	
$C_2 = 3.6\sqrt{K}$ (Untuk sekat melintang)	3,6	
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1	Mild Steel
$S$ (Jarak antar penegar)	0,70 m	
$h_1$	2,70 m	
$l_t$ (Panjang tangki)	12,35 m	if $l_t < 10, l_t = 10$
$b_t$ (Lebar tangki)	10,00 m	if $l_b < 10, l_b = 10$
$\Delta h = 16/L(l_t - 10) + 0.25(b_t - 10)$	0,369	
$h_2 = 0.85(h_1 + \Delta h)$	2,61 m	
$h_3 = 0.3\sqrt{L}$	3,03 m	
$t_1$ (ketebalan untuk $h_1$ )	7,64 mm	
$t_2$ (ketebalan untuk $h_2$ )	7,57 mm	
$t_3$ (ketebalan untuk $h_3$ )	7,89 mm	
$t_{min}$ (tebal minimum disyaratkan kelas)	8,00 mm	for Lpp < 105 m
$t_{final}$ (tebal pelat yang digunakan)	<b>8 mm</b>	

**Untuk Model Sekat Jarak Penegar 750 mm (Model 4.1, 4.2, 9.1, dan 9.2)**

Lajur 1 (h = 8,3 m)

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ (Lpp)	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1	
$C_2 = 3.6\sqrt{K}$ (Untuk sekat melintang)	3,6	
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1	Mild Steel
$S$ (Jarak antar penegar)	0,75 m	
$h_1$	8,30 m	
$l_t$ (Panjang tangki)	12,35 m	if $l_t < 10, l_t = 10$
$b_t$ (Lebar tangki)	10,00 m	if $l_b < 10, l_b = 10$
$\Delta h = 16/L(l_t - 10) + 0.25(b_t - 10)$	0,369	
$h_2 = 0.85(h_1 + \Delta h)$	7,37 m	
$h_3 = 0.3\sqrt{L}$	3,03 m	
$t_1$ (ketebalan untuk $h_1$ )	11,28 mm	
$t_2$ (ketebalan untuk $h_2$ )	10,83 mm	
$t_3$ (ketebalan untuk $h_3$ )	8,20 mm	
$t_{min}$ (tebal minimum disyaratkan kelas)	8,00 mm	for Lpp < 105 m
$t_{final}$ (tebal pelat yang digunakan)	<b>12 mm</b>	

Lajur 2 (h = 5,7 m)

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ (Lpp)	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1	
$C_2 = 3.6\sqrt{K}$ (Untuk sekat melintang)	3,6	
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1	Mild Steel
$S$ (Jarak antar penegar)	0,75 m	
$h_1$	5,70 m	
$l_t$ (Panjang tangki)	12,35 m	if $l_t < 10, l_t = 10$
$b_t$ (Lebar tangki)	10,00 m	if $l_b < 10, l_b = 10$
$\Delta h = 16/L(l_t - 10) + 0.25(b_t - 10)$	0,369	
$h_2 = 0.85(h_1 + \Delta h)$	5,16 m	
$h_3 = 0.3\sqrt{L}$	3,03 m	
$t_1$ (ketebalan untuk $h_1$ )	9,95 mm	
$t_2$ (ketebalan untuk $h_2$ )	9,63 mm	
$t_3$ (ketebalan untuk $h_3$ )	8,20 mm	
$t_{min}$ (tebal minimum disyaratkan kelas)	8,00 mm	for Lpp < 105 m
$t_{final}$ (tebal pelat yang digunakan)	<b>10 mm</b>	

Lajur 3 (h = 2,7 m)

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ (Lpp)	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1	
$C_2 = 3.6\sqrt{K}$ (Untuk sekat melintang)	3,6	
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1	Mild Steel
$S$ (Jarak antar penegar)	0,75 m	
$h_1$	2,70 m	
$l_t$ (Panjang tangki)	12,35 m	if $l_t < 10, l_t = 10$
$b_t$ (Lebar tangki)	10,00 m	if $l_b < 10, l_b = 10$
$\Delta h = 16/L(l_t - 10) + 0.25(b_t - 10)$	0,369	
$h_2 = 0.85(h_1 + \Delta h)$	2,61 m	
$h_3 = 0.3\sqrt{L}$	3,03 m	
$t_1$ (ketebalan untuk $h_1$ )	7,94 mm	
$t_2$ (ketebalan untuk $h_2$ )	7,86 mm	
$t_3$ (ketebalan untuk $h_3$ )	8,20 mm	
$t_{min}$ (tebal minimum disyaratkan kelas)	8,00 mm	for Lpp < 105 m
$t_{final}$ (tebal pelat yang digunakan)	<b>9 mm</b>	

**Untuk Model Sekat Jarak Penegar 800 mm (Model 5.1, 5.2, 10.1, dan 10.2)**

Lajur 1 (h = 8,3 m)

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ ( $L_{pp}$ )	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1	
$C_2 = 3.6\sqrt{K}$ (Untuk sekat melintang)	3,6	
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1	Mild Steel
$S$ (Jarak antar penegar)	0,80 m	
$h_1$	8,30 m	
$l_t$ (Panjang tangki)	12,35 m	if $l_t < 10, l_t = 10$
$b_t$ (Lebar tangki)	10,00 m	if $l_b < 10, l_b = 10$
$\Delta h = 16/L(l_t - 10) + 0.25(b_t - 10)$	0,369	
$h_2 = 0.85(h_1 + \Delta h)$	7,37 m	
$h_3 = 0.3\sqrt{L}$	3,03 m	
$t_1$ (ketebalan untuk $h_1$ )	11,80 mm	
$t_2$ (ketebalan untuk $h_2$ )	11,32 mm	
$t_3$ (ketebalan untuk $h_3$ )	8,51 mm	
$t_{min}$ (tebal minimum disyaratkan kelas)	8,00 mm	for $L_{pp} < 105$ m
$t_{final}$ (tebal pelat yang digunakan)	<b>12 mm</b>	

Lajur 2 (h = 5,7 m)

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ ( $L_{pp}$ )	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1	
$C_2 = 3.6\sqrt{K}$ (Untuk sekat melintang)	3,6	
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1	Mild Steel
$S$ (Jarak antar penegar)	0,80 m	
$h_1$	5,70 m	
$l_t$ (Panjang tangki)	12,35 m	if $l_t < 10, l_t = 10$
$b_t$ (Lebar tangki)	10,00 m	if $l_b < 10, l_b = 10$
$\Delta h = 16/L(l_t - 10) + 0.25(b_t - 10)$	0,369	
$h_2 = 0.85(h_1 + \Delta h)$	5,16 m	
$h_3 = 0.3\sqrt{L}$	3,03 m	
$t_1$ (ketebalan untuk $h_1$ )	10,38 mm	
$t_2$ (ketebalan untuk $h_2$ )	10,04 mm	
$t_3$ (ketebalan untuk $h_3$ )	8,51 mm	
$t_{min}$ (tebal minimum disyaratkan kelas)	8,00 mm	for $L_{pp} < 105$ m
$t_{final}$ (tebal pelat yang digunakan)	<b>11 mm</b>	

Lajur 3 ( $h = 2,7 \text{ m}$ )

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ ( $L_{pp}$ )	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230 \text{ m}$ )	1	
$C_2 = 3.6\sqrt{K}$ (Untuk sekat melintang)	3,6	
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1	Mild Steel
$S$ (Jarak antar penegar)	0,80 m	
$h_1$	2,70 m	
$l_t$ (Panjang tangki)	12,35 m	if $l_t < 10, l_t = 10$
$b_t$ (Lebar tangki)	10,00 m	if $l_b < 10, l_b = 10$
$\Delta h = 16/L(l_t - 10) + 0.25(b_t - 10)$	0,369	
$h_2 = 0.85(h_1 + \Delta h)$	2,61 m	
$h_3 = 0.3\sqrt{L}$	3,03 m	
$t_1$ (ketebalan untuk $h_1$ )	8,23 mm	
$t_2$ (ketebalan untuk $h_2$ )	8,15 mm	
$t_3$ (ketebalan untuk $h_3$ )	8,51 mm	
$t_{min}$ (tebal minimum disyaratkan kelas)	8,00 mm	for $L_{pp} < 105 \text{ m}$
$t_{final}$ (tebal pelat yang digunakan)	<b>9 mm</b>	

## PERHITUNGAN MODULUS MINIMUM PENEGAR SEKAT

### Untuk Model 1.1 dan 1.2

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ ( $L_{pp}$ )	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1,00	
$C_2 = K/18$	0,06	
$C_3$ (Koefisien ujung sambungan)	1,15	<i>Rigid &amp; Soft fixity di tiap ujung</i>
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1,00	
$S$ (Jarak antar penegar)	0,60 m	
$l$ (Jarak antar penumpu(Girder))	3,00 m	
$h_1$	7,10 m	
$Z_1 = 125 * C_1 * C_2 * C_3 * S * h^2$	306 cm <sup>3</sup>	
$Z_{final}$ (Modulus minimum oleh kelas)	<b>306 cm<sup>3</sup></b>	

### Untuk Model 2.1 dan 2.2

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ ( $L_{pp}$ )	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1,00	
$C_2 = K/18$	0,06	
$C_3$ (Koefisien ujung sambungan)	1,15	<i>Rigid &amp; Soft fixity di tiap ujung</i>
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1,00	
$S$ (Jarak antar penegar)	0,65 m	
$l$ (Jarak antar penumpu(Girder))	3,00 m	
$h_1$	7,10 m	
$Z_1 = 125 * C_1 * C_2 * C_3 * S * h^2$	332 cm <sup>3</sup>	
$Z_{final}$ (Modulus minimum oleh kelas)	<b>332 cm<sup>3</sup></b>	

### Untuk Model 3.1 dan 3.2

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ ( $L_{pp}$ )	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1,00	
$C_2 = K/18$	0,06	
$C_3$ (Koefisien ujung sambungan)	1,15	<i>Rigid &amp; Soft fixity di tiap ujung</i>
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1,00	
$S$ (Jarak antar penegar)	0,70 m	
$l$ (Jarak antar penumpu(Girder))	3,00 m	
$h_1$	7,10 m	
$Z_1 = 125 * C_1 * C_2 * C_3 * S * h^2$	357 cm <sup>3</sup>	
$Z_{final}$ (Modulus minimum oleh kelas)	<b>357 cm<sup>3</sup></b>	

### Untuk Model 4.1 dan 4.2

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ ( $L_{pp}$ )	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1,00	
$C_2 = K/18$	0,06	
$C_3$ (Koefisien ujung sambungan)	1,15	<i>Rigid &amp; Soft fixity di tiap ujung</i>
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1,00	
$S$ (Jarak antar penegar)	0,75 m	
$l$ (Jarak antar penumpu(Girder))	3,00 m	
$h_1$	7,10 m	
$Z_1 = 125 * C_1 * C_2 * C_3 * S * h^2$	383 cm <sup>3</sup>	
$Z_{final}$ (Modulus minimum oleh kelas)	<b>383 cm<sup>3</sup></b>	

### Untuk Model 5.1 dan 5.2

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ ( $L_{pp}$ )	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1,00	
$C_2 = K/18$	0,06	
$C_3$ (Koefisien ujung sambungan)	1,15	<i>Rigid &amp; Soft fixity di tiap ujung</i>
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1,00	
$S$ (Jarak antar penegar)	0,80 m	
$l$ (Jarak antar penumpu(Girder))	3,00 m	
$h_1$	7,10 m	
$Z_1 = 125 * C_1 * C_2 * C_3 * S * h^2$	408 cm <sup>3</sup>	
$Z_{final}$ (Modulus minimum oleh kelas)	<b>408 cm<sup>3</sup></b>	

### Untuk Model 6.1 dan 6.2

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ ( $L_{pp}$ )	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1,00	
$C_2 = K/18$	0,06	
$C_3$ (Koefisien ujung sambungan)	1,15	<i>Rigid &amp; Soft fixity di tiap ujung</i>
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1,00	
$S$ (Jarak antar penegar)	0,60 m	
$l$ (Jarak antar penumpu(Girder))	4,15 m	
$h_1$	6,23 m	
$Z_1 = 125 * C_1 * C_2 * C_3 * S * h^2$	514 cm <sup>3</sup>	
$Z_{final}$ (Modulus minimum oleh kelas)	<b>514 cm<sup>3</sup></b>	



### Untuk Model 7.1 dan 7.2

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ ( $L_{pp}$ )	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1,00	
$C_2 = K/18$	0,06	
$C_3$ (Koefisien ujung sambungan)	1,15	<i>Rigid &amp; Soft fixity di tiap ujung</i>
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1,00	
$S$ (Jarak antar penegar)	0,65 m	
$l$ (Jarak antar penumpu(Girder))	4,15 m	
$h_1$	6,23 m	
$Z_1 = 125 * C_1 * C_2 * C_3 * S * h * l^2$	557 cm <sup>3</sup>	
$Z_{final}$ (Modulus minimum oleh kelas)	<b>557 cm<sup>3</sup></b>	

### Untuk Model 8.1 dan 8.2

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ ( $L_{pp}$ )	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1,00	
$C_2 = K/18$	0,06	
$C_3$ (Koefisien ujung sambungan)	1,15	<i>Rigid &amp; Soft fixity di tiap ujung</i>
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1,00	
$S$ (Jarak antar penegar)	0,70 m	
$l$ (Jarak antar penumpu(Girder))	4,15 m	
$h_1$	6,23 m	
$Z_1 = 125 * C_1 * C_2 * C_3 * S * h * l^2$	599 cm <sup>3</sup>	
$Z_{final}$ (Modulus minimum oleh kelas)	<b>599 cm<sup>3</sup></b>	

### Untuk Model 9.1 dan 9.2

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ ( $L_{pp}$ )	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1,00	
$C_2 = K/18$	0,06	
$C_3$ (Koefisien ujung sambungan)	1,15	<i>Rigid &amp; Soft fixity di tiap ujung</i>
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1,00	
$S$ (Jarak antar penegar)	0,75 m	
$l$ (Jarak antar penumpu(Girder))	4,15 m	
$h_1$	6,23 m	
$Z_1 = 125 * C_1 * C_2 * C_3 * S * h * l^2$	642 cm <sup>3</sup>	
$Z_{final}$ (Modulus minimum oleh kelas)	<b>642 cm<sup>3</sup></b>	

### Untuk Model 10.1 dan 10.2

Deskripsi	Input	Keterangan
$L$ ( $L_{pp}$ )	102,00 m	
$C_1$ (Koefisien panjang kapal untuk $L \leq 230$ m)	1,00	
$C_2 = K/18$	0,06	
$C_3$ (Koefisien ujung sambungan)	1,15	Rigid & Soft fixity di tiap ujung
$K$ (Koefisien Faktor Material)	1,00	
$S$ (Jarak antar penegar)	0,80 m	
$l$ (Jarak antar penumpu(Girder))	4,15 m	
$h_1$	6,23 m	
$Z_1 = 125 * C_1 * C_2 * C_3 * S * h^3 / l^2$	685 cm <sup>3</sup>	
$Z_{final}$ (Modulus minimum oleh kelas)	<b>685 cm<sup>3</sup></b>	

### PERHITUNGAN MODULUS MINIMUM PENUMPU HORIZONTAL SEKAT

#### Untuk Model 1-5 (2 Penumpu Horizontal Sekat)

Deskripsi	Input
$S$	5,40 m
$h$	5,60 m
$l$	4,80 m
$Z_{final}$ (Modulus minimum oleh kelas)	<b>3309,5 cm<sup>3</sup></b>

#### Untuk Model 6-10 (1 Penumpu Horizontal Sekat)

Deskripsi	Input
$S$	8,30 m
$h$	4,15 m
$l$	4,80 m
$Z_{final}$ (Modulus minimum oleh kelas)	<b>3769,7 cm<sup>3</sup></b>

**LAMPIRAN D**  
**KATALOG PROFIL**

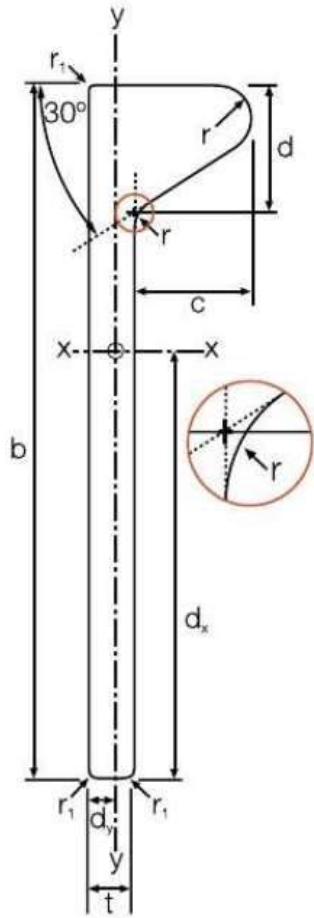


Corus Special Profiles

## Bulb flats

For plate stiffening



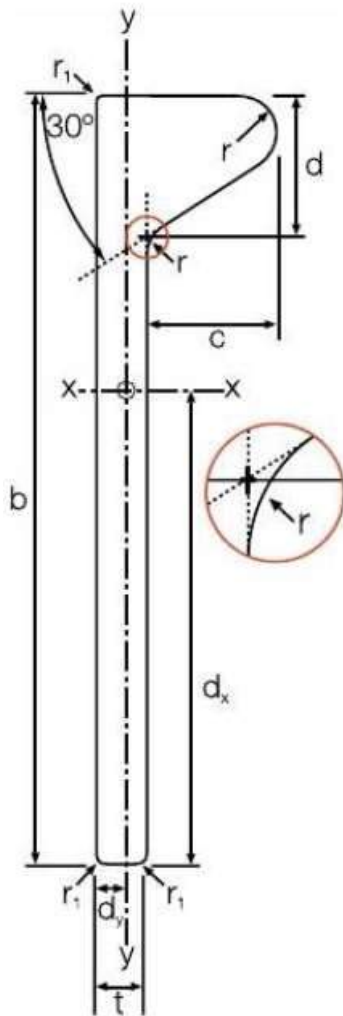


Width b [mm]	Thickness t [mm]	Mass per Unit Length G [kg/m]	Bulb Height c [mm]	Bulb Width d [mm]	Bulb Radius r [mm]	Area of cross- section F [cm <sup>2</sup> ]	Surface Area U [m <sup>2</sup> /m]
120	6	7.31	17	17.7	5	9.31	0.276
	7	8.25	17	17.7	5	10.5	0.278
	8	9.19	17	17.7	5	11.7	0.280
140	6.5	9.21	19	19.7	5.5	11.7	0.319
	7	9.74	19	19.7	5.5	12.4	0.320
	8	10.8	19	19.7	5.5	13.8	0.322
	10	13.0	19	19.7	5.5	16.6	0.326
160	7	11.4	22	22.2	6	14.6	0.365
	8	12.7	22	22.2	6	16.2	0.367
	9	14.0	22	22.2	6	17.8	0.369
	11.5	17.3	22	22.2	6	21.8	0.374
180	8	14.8	25	25.5	7	18.9	0.411
	9	16.2	25	25.5	7	20.7	0.413
	10	17.6	25	25.5	7	22.5	0.415
	11.5	19.7	25	25.5	7	25.2	0.418
200	8.5	17.8	28	28.8	8	22.6	0.456
	9	18.5	28	28.8	8	23.6	0.457
	10	20.1	28	28.8	8	25.6	0.459
	11	21.7	28	28.8	8	27.6	0.461
	12	23.2	28	28.8	8	29.6	0.463
220	9	21.0	31	32.1	9	26.8	0.501
	10	22.8	31	32.1	9	29.0	0.503
	11	24.5	31	32.1	9	31.2	0.505
	12	26.2	31	32.1	9	33.4	0.507
240	9.5	24.4	34	35.4	10	31.2	0.546
	10	25.4	34	35.4	10	32.4	0.547
	11	27.4	34	35.4	10	34.9	0.549
	12	29.3	34	35.4	10	37.3	0.551
260	10	28.3	37	38.7	11	36.1	0.593
	11	30.3	37	38.7	11	38.7	0.593
	12	32.4	37	38.7	11	41.3	0.595
280	10.5	32.4	40	42.0	12	41.2	0.636
	11	33.5	40	42.0	12	42.6	0.637
	12	35.7	40	42.0	12	45.5	0.639
	13	37.9	40	42.0	12	48.4	0.641
300	11	36.7	43	45.3	13	46.7	0.681
	12	39.0	43	45.3	13	49.7	0.683
	13	41.5	43	45.3	13	52.8	0.685
320	11.5	41.2	46	48.6	14	52.6	0.727
	12	42.5	46	48.6	14	54.2	0.728
	13	45.0	46	48.6	14	57.4	0.730
	14	47.5	46	48.6	14	60.6	0.732
340	12	46.1	49	52.0	15	58.8	0.772
	13	48.8	49	52.0	15	62.2	0.774
	14	51.5	49	52.0	15	65.5	0.776
	15	54.2	49	52.0	15	69.0	0.778
370	12.5	53.1	53.5	56.9	16.5	67.8	0.839
	13	54.6	53.5	56.9	16.5	69.6	0.840
	14	57.5	53.5	56.9	16.5	73.3	0.842
	15	60.5	53.5	56.9	16.5	77.0	0.844
	16	63.5	53.5	56.9	16.5	80.7	0.846
400	13	60.8	58	61.9	18	77.4	0.907
	14	63.9	58	61.9	18	81.4	0.908
	15	67.0	58	61.9	18	85.4	0.910
	16	70.2	58	61.9	18	89.4	0.912
430	14	70.6	62.5	66.8	19.5	89.7	0.975
	15	73.9	62.5	66.8	19.5	94.1	0.976
	17	80.6	62.5	66.8	19.5	103.0	0.980
	20	90.8	62.5	66.8	19.5	115.0	0.986

Additional sizes may be available by agreement: 80 & 100 DIN range  
180, 200, 230 and 250 JIS range

\* Values for H are taken about the line of attachment.

Distance of Centre of Gravity		Second Moment of Area		Elastic Modulus		Radius of Gyration		Warping Constant	Torsional Constant
$d_x$ [mm]	$d_y$ [mm]	Axis x - x [cm <sup>2</sup> ]	Axis y - y [cm <sup>2</sup> ]	Axis x - x [cm <sup>2</sup> ]	Axis y - y [cm <sup>2</sup> ]	Axis x - x [cm]	Axis y - y [cm]	H* [cm <sup>4</sup> (x10 <sup>6</sup> )]	J [cm <sup>4</sup> ]
72.0	5.3	133	2.34	18.4	4.42	3.78	0.50	0.242	1.595
70.7	5.6	148	2.70	21.0	4.82	3.75	0.51	0.251	2.100
69.6	6.0	164	3.10	23.6	5.17	3.74	0.51	0.263	2.773
83.7	5.8	228	3.57	27.3	6.16	4.41	0.55	0.504	2.383
83.1	5.9	241	3.80	29.0	6.44	4.41	0.55	0.508	2.708
81.8	6.3	266	4.32	32.5	6.86	4.39	0.56	0.528	3.501
79.2	7.0	316	5.56	39.9	7.94	4.36	0.58	0.575	5.752
96.6	6.4	373	5.86	38.6	9.16	5.05	0.63	1.12	3.681
94.9	6.8	411	6.55	43.3	9.63	5.04	0.64	1.16	4.600
93.8	7.1	448	7.32	47.9	10.3	5.02	0.64	1.20	5.763
91.1	8.1	544	9.62	59.8	11.9	5.00	0.66	1.31	9.936
109	7.4	609	9.90	55.9	13.4	5.68	0.72	2.45	6.352
107	7.7	665	10.93	62.1	14.2	5.67	0.73	2.51	7.686
106	8.1	717	12.05	67.8	14.9	5.65	0.73	2.58	9.328
104	8.6	799	13.93	76.8	16.2	5.63	0.74	2.71	12.44
122	8.2	902	15.07	74.0	18.4	6.32	0.82	4.67	9.129
121	8.4	941	15.76	77.7	18.8	6.31	0.82	4.72	9.924
119	8.7	1020	17.21	85.0	19.8	6.31	0.82	4.83	11.70
118	9.0	1090	18.77	92.3	20.9	6.28	0.82	4.93	14.00
117	9.4	1160	20.46	99.6	21.8	6.26	0.83	5.09	16.65
136	9.1	1296	22.03	95.3	24.2	6.95	0.91	8.64	13.24
134	9.3	1400	23.89	105	25.7	6.95	0.91	8.80	15.31
132	9.6	1500	25.86	113	26.9	6.93	0.91	8.98	17.81
130	10.0	1590	27.98	122	28.0	6.90	0.92	9.18	20.76
148	9.9	1800	31.15	123	31.5	7.60	1.00	14.8	18.16
147	10.0	1860	32.34	126	32.3	7.58	1.00	14.9	19.37
146	10.3	2000	34.81	137	33.8	7.57	1.00	15.3	22.46
144	10.6	2130	37.43	148	35.3	7.56	1.00	15.6	25.73
162	10.7	2477	42.84	153	40.0	8.28	1.09	24.7	25.03
160	11.0	2610	45.90	162	41.7	8.21	1.09	25.0	28.09
158	11.3	2770	49.11	175	43.5	8.19	1.09	25.4	31.68
175	11.6	3223	57.55	184	49.6	8.84	1.18	39.0	33.05
174	11.7	3330	59.44	191	50.8	8.84	1.18	39.2	34.80
172	11.9	3550	63.34	206	53.2	8.83	1.18	40.1	39.19
170	12.2	3760	67.42	221	55.3	8.81	1.18	41.0	44.25
189	12.4	4190	75.74	222	61.1	9.47	1.27	59.9	43.25
187	12.6	4460	80.44	239	63.8	9.47	1.27	60.5	47.55
185	12.9	4720	85.33	256	66.1	9.45	1.27	61.8	53.06
202	13.3	5370	97.92	266	73.6	10.10	1.36	89.9	56.02
201	13.4	5530	100.8	274	75.2	10.10	1.36	90.3	58.45
199	13.6	5850	106.6	294	78.6	10.10	1.36	91.2	63.86
197	13.9	6170	112.6	313	81.0	10.09	1.36	92.3	70.06
215	14.1	6760	124.6	313	88.4	10.72	1.46	131	71.17
213	14.3	7160	131.5	335	92.0	10.73	1.45	132	77.02
211	14.6	7540	138.6	357	94.9	10.73	1.45	133	83.00
209	14.8	7920	145.9	379	98.6	10.71	1.45	135	91.30
236	15.4	9213	172.3	390	112	11.66	1.59	221	97.66
235	15.4	9470	176.7	402	115	11.66	1.59	221	100.7
232	15.6	9980	185.7	428	119	11.67	1.59	223	108.1
230	15.9	10490	194.8	455	123	11.67	1.59	225	116.6
228	16.1	10980	204.3	481	127	11.66	1.59	227	126.0
258	16.6	12280	232.4	476	140	12.60	1.73	357	131.0
255	16.8	12930	243.6	507	145	12.60	1.73	359	139.3
252	17.0	13580	255.0	537	150	12.61	1.73	362	148.7
250	17.2	14220	266.6	568	155	12.61	1.73	364	159.6
277	17.9	16460	313.9	594	175	13.55	1.87	557	176.6
274	18.1	17260	327.9	628	181	13.54	1.87	562	187.9
269	18.5	18660	356.7	700	193	13.53	1.86	576	215.6
263	19.3	21180	402.6	804	209	13.57	1.87	570	252.6



## Tolerances (In accordance with BS EN 10067:1997)

### 1. Dimensional Variation - All Dimensions in mm

Width b			Thickness t		
Over	Up to	Permitted Variation	From	Up to	Permitted Variation
-	120	±1.5	-	8	+0.7 - 0.3
120	180	±2.0	7	11	+1.0 - 0.3
180	300	±3.0	9	13	+1.0 - 0.4
300	430	±4.0	12	20	+1.2 - 0.4

Improved tolerances may be available by agreement

Radius of curvature of corners $r_1$ for thicknesses		
Over	Up to	Max.
-	5	1.5
5	9	2.0
9	13	3.0
13	20	4.0

### 2. Weight Variation

The weights shown in the tables have been calculated from the cross section with a density of 0.785 kilogram per square centimetre per metre run.

Permitted weight variations:

- +6.0% - 2.0% of the total weight for consignments of 5 tonnes and over.
- +8.0% - 2.7% of the total weight for consignments under 5 tonnes.

### 3. Straightness Variation in Accordance with BS EN 10067: 1997

Straightness tolerance q shall be 0.0035 L (the entire length of the bar)

Improved straightness tolerances may be available by agreement

## Steel specifications

### 1. Shipbuilding

Classification Society	A	B	D	A32/36*	D32/36*	D40
Lloyds	F	F	F	F	F	
DNV	F	F	O	F	F	
ABS	F	F	F	F	F	F**
BV	F	F	F	F	F	
GL	F	F	F	F	F	
Class NK	F	F	F	F	F	
RINA	F	F	F	F	F	

F = Full approval O = Approval obtained on an order by order basis

\* = Equivalent to AH32/36 and DH 32/36 for Lloyds Register.

Equivalent to KA 32/36 and KD 32/36 for class NK,

\*\* up to 12mm thickness

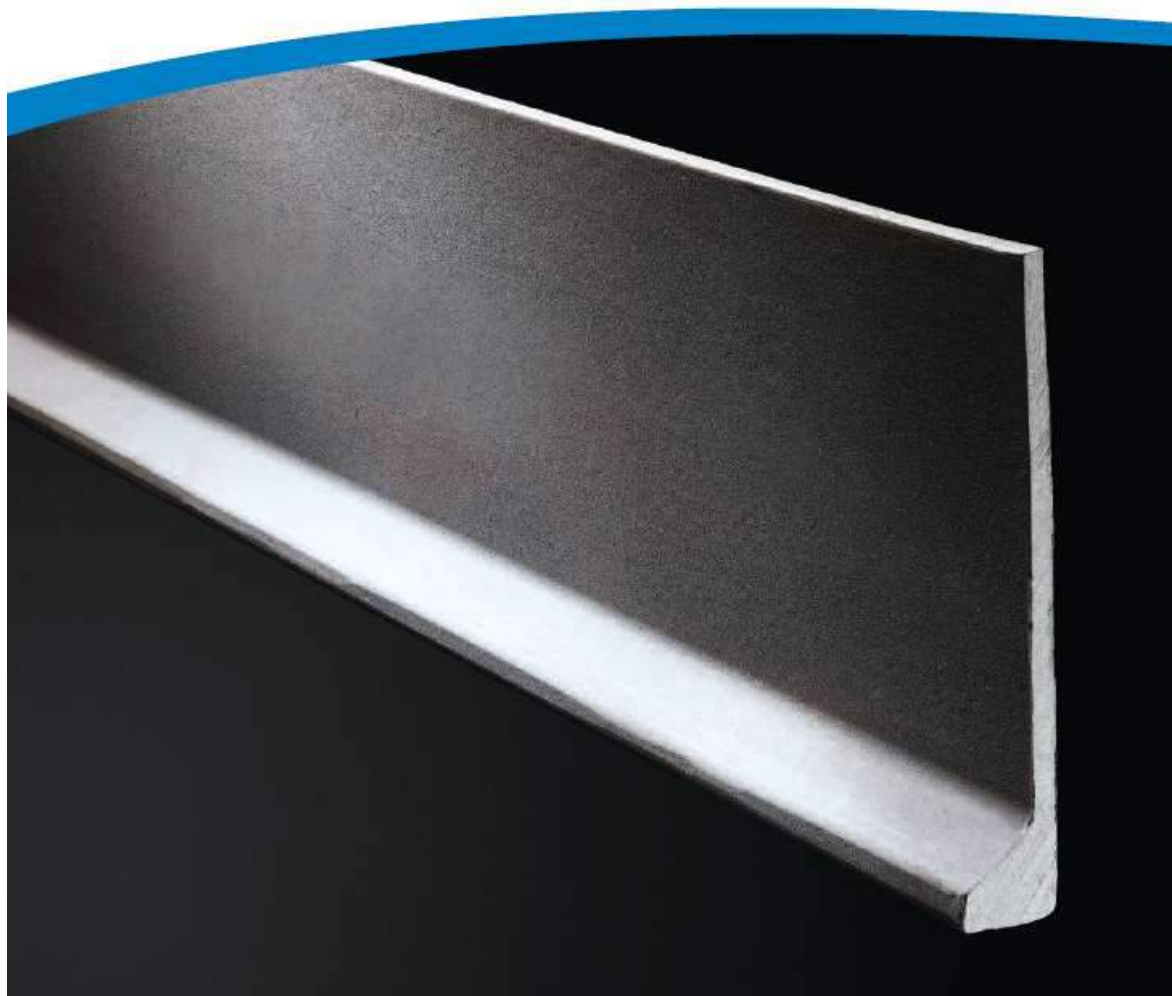
### 2. Construction

Bulb flats are available in a range of steel grades suitable for bridge construction in accordance with BS EN 10025: 1993 and BS EN 10113-3 S420M (upto 12mm thickness)

**TATA STEEL**



## **Bulb Flats**

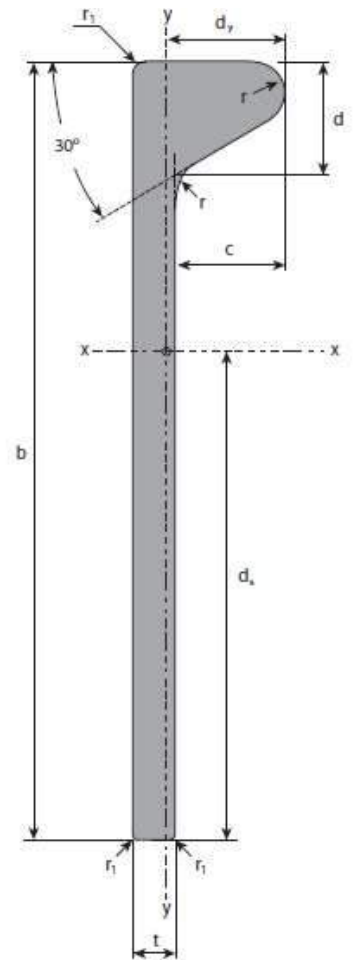




## Dimensions and Properties

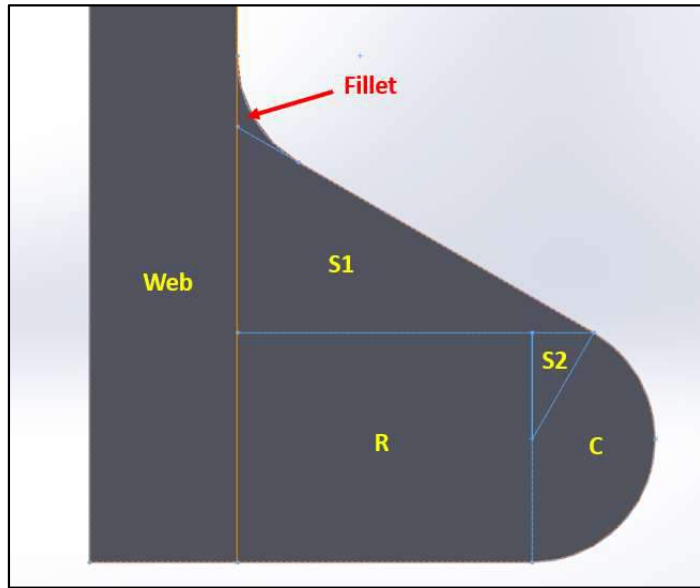
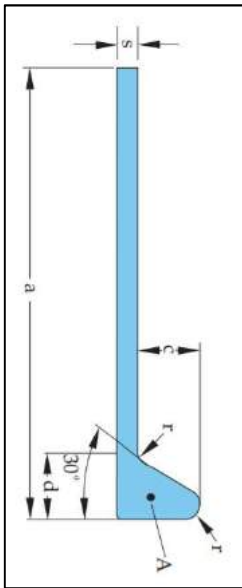
Section Description	Section Description					Mass per metre G kg/m	Area of section F cm <sup>2</sup>	Surface area per metre U m <sup>2</sup> /m	Distance to Centre of Gravity		Second Moment of Area	
	b mm	t mm	c mm	d mm	r mm				dx mm	dy mm	Ix cm <sup>4</sup>	Iy cm <sup>4</sup>
160x7	160	7.0	22.0	22.2	6.0	11.44	14.58	0.365	96.7	6.5	371.10	5.85
160x8	160	8.0	22.0	22.2	6.0	12.70	16.18	0.367	95.1	6.8	409.27	6.54
160x9	160	9.0	22.0	22.2	6.0	13.95	17.78	0.370	93.7	7.1	446.70	7.31
160x10	160	10.0	22.0	22.2	6.0	15.19	19.34	0.371	92.6	7.5	481.31	8.15
160x11	160	11.0	22.0	22.2	6.0	16.44	20.94	0.373	91.7	7.9	517.81	9.09
160x11.5	160	11.5	22.0	22.2	6.0	17.07	21.74	0.374	91.3	8.1	535.93	9.60
180x8	180	8.0	25.0	25.5	7.0	14.78	18.83	0.412	109.0	7.4	606.55	9.89
180x9	180	9.0	25.0	25.5	7.0	16.20	20.63	0.414	107.4	7.7	661.09	10.92
180x10	180	10.0	25.0	25.5	7.0	17.59	22.40	0.416	106.0	8.1	711.72	12.03
180x11	180	11.0	25.0	25.5	7.0	19.00	24.20	0.418	104.8	8.4	764.60	13.25
180x11.5	180	11.5	25.0	25.5	7.0	19.70	25.10	0.419	104.3	8.6	790.81	13.90
200x8.5	200	8.5	28.0	28.8	8.0	17.77	22.63	0.458	122.2	8.2	901.07	15.06
200x9	200	9.0	28.0	28.8	8.0	18.55	23.63	0.459	121.3	8.4	939.14	15.75
200x10	200	10.0	28.0	28.8	8.0	20.10	25.60	0.460	119.7	8.7	1010.47	17.18
200x11	200	11.0	28.0	28.8	8.0	21.67	27.60	0.463	118.3	9.0	1084.33	18.75
200x11.5	200	11.5	28.0	28.8	8.0	22.45	28.60	0.464	117.6	9.2	1120.89	19.57
200x12	200	12.0	28.0	28.8	8.0	23.24	29.60	0.465	117.0	9.4	1157.23	20.43
220x9	220	9.0	31.0	32.1	9.0	21.02	26.78	0.504	135.5	9.1	1290.48	22.01
220x10	220	10.0	31.0	32.1	9.0	22.72	28.94	0.505	133.7	9.3	1387.89	23.86
220x11	220	11.0	31.0	32.1	9.0	24.45	31.14	0.507	132.0	9.7	1488.07	25.83
220x11.5	220	11.5	31.0	32.1	9.0	25.31	32.24	0.509	131.2	9.8	1537.57	26.87
220x12	220	12.0	31.0	32.1	9.0	26.17	33.34	0.510	130.5	10.0	1586.73	27.94
230x11	230	11.0	32.5	33.75	9.5	25.88	32.97	0.530	138.9	10.0	1724.98	30.05
240x9.5	240	9.5	34.0	35.4	10.0	24.51	31.23	0.549	148.9	9.9	1787.40	31.12
240x10	240	10.0	34.0	35.4	10.0	25.46	32.43	0.550	147.9	10.0	1854.67	32.30
240x10.5	240	10.5	34.0	35.4	10.0	26.40	33.63	0.551	146.9	10.2	1921.25	33.52
240x11	240	11.0	34.0	35.4	10.0	27.34	34.83	0.552	145.9	10.3	1987.20	34.78
240x11.5	240	11.5	34.0	35.4	10.0	28.28	36.03	0.554	145.1	10.5	2052.60	36.06
240x12	240	12.0	34.0	35.4	10.0	29.22	37.23	0.555	144.3	10.6	2117.50	37.39
260x10	260	10.0	37.0	38.7	11.0	28.30	36.05	0.595	162.3	10.7	2421.72	42.80
260x11	260	11.0	37.0	38.7	11.0	30.34	38.65	0.597	160.1	11.0	2593.45	45.86
260x12	260	12.0	37.0	38.7	11.0	32.38	41.25	0.600	158.2	11.3	2762.00	49.07
260x13	260	13.0	37.0	38.7	11.0	34.43	43.85	0.602	156.5	11.6	2927.94	52.45
280x10.5	280	10.5	40.0	42.0	12.0	32.36	41.22	0.641	175.7	11.6	3210.10	57.50
280x11	280	11.0	40.0	42.0	12.0	33.46	42.62	0.642	174.5	11.7	3318.79	59.39
280x12	280	12.0	40.0	42.0	12.0	35.66	45.42	0.645	172.4	11.9	3532.99	63.29
280x13	280	13.0	40.0	42.0	12.0	37.86	48.22	0.647	170.5	12.2	3743.56	67.37
300x11	300	11.0	43.0	45.3	13.0	36.69	46.73	0.687	189.1	12.4	4175.43	75.68
300x12	300	12.0	43.0	45.3	13.0	39.04	49.73	0.690	186.7	12.7	4443.49	80.39
300x13	300	13.0	43.0	45.3	13.0	41.40	52.73	0.692	184.6	12.9	4706.64	85.27
320x11.5	320	11.5	46.0	48.6	14.0	41.28	52.59	0.733	202.5	13.3	5342.16	97.86
320x12	320	12.0	46.0	48.6	14.0	42.54	54.19	0.735	201.3	13.4	5506.76	100.69
320x12.5	320	12.5	46.0	48.6	14.0	43.79	55.79	0.736	200.1	13.5	5669.75	103.58
320x13	320	13.0	46.0	48.6	14.0	45.05	57.39	0.737	199.0	13.6	5831.26	106.51
320x13.5	320	13.5	46.0	48.6	14.0	46.27	58.94	0.737	198.0	13.7	5977.59	109.44
320x14	320	14.0	46.0	48.6	14.0	47.53	60.54	0.738	197.0	13.9	6136.58	112.48
340x12	340	12.0	49.0	52.0	15.0	46.15	58.78	0.780	216.0	14.1	6736.30	124.57
340x12.5	340	12.5	49.0	52.0	15.0	47.48	60.48	0.781	214.7	14.2	6934.97	127.98
340x13	340	13.0	49.0	52.0	15.0	48.81	62.18	0.782	213.5	14.3	7131.73	131.44
340x14	340	14.0	49.0	52.0	15.0	51.45	65.54	0.784	211.3	14.6	7504.42	138.47
340x15	340	15.0	49.0	52.0	15.0	54.12	68.94	0.786	209.2	14.8	7886.99	145.80
370x12.5	370	12.5	53.5	56.9	16.5	53.22	67.79	0.848	236.9	15.4	9184.55	172.23
370x13	370	13.0	53.5	56.9	16.5	54.67	69.64	0.850	235.5	15.5	9444.05	176.62
370x14	370	14.0	53.5	56.9	16.5	57.54	73.30	0.851	233.0	15.7	9936.79	185.49
370x15	370	15.0	53.5	56.9	16.5	60.44	77.00	0.854	230.7	15.9	10440.07	194.68
370x16	370	16.0	53.5	56.9	16.5	63.35	80.70	0.857	228.6	16.1	10935.90	204.14
400x13	400	13.0	58.0	61.9	18.0	60.78	77.43	0.918	257.9	16.6	12234.74	232.34
400x14	400	14.0	58.0	61.9	18.0	63.88	81.38	0.919	255.1	16.8	12872.91	243.41
400x15	400	15.0	58.0	61.9	18.0	67.02	85.38	0.922	252.5	17.0	13521.89	254.79
400x16	400	16.0	58.0	61.9	18.0	70.16	89.38	0.925	250.2	17.2	14160.53	266.45
430x14	430	14.0	62.5	66.8	19.5	70.48	89.78	0.987	277.5	18.0	16366.61	313.68
430x15	430	15.0	62.5	66.8	19.5	73.85	94.08	0.990	274.6	18.1	17189.22	327.65
430x17	430	17.0	62.5	66.8	19.5	80.60	102.68	0.995	269.6	18.5	18794.22	356.44
430x18	430	18.0	62.5	66.8	19.5	83.98	106.98	0.998	267.4	18.8	19579.84	371.35
430x19	430	19.0	62.5	66.8	19.5	87.36	111.28	1.001	265.4	19.0	20355.95	386.65
430x20	430	20.0	62.5	66.8	19.5	90.73	115.58	1.004	263.5	19.3	21123.62	402.40

Elastic Modulus		Radius of Gyration		Warping Constant	Torsional Constant
Zx cm <sup>3</sup>	Zy cm <sup>3</sup>	rx cm	ry cm	H cm <sup>6</sup> /10 <sup>3</sup>	J cm <sup>4</sup>
38.4	9.0	5.05	0.63	1.11	3.65
43.0	9.7	5.03	0.64	1.15	4.57
47.7	10.3	5.01	0.64	1.19	5.73
52.0	10.9	4.99	0.65	1.22	7.12
56.5	11.5	4.97	0.66	1.26	8.86
58.7	11.9	4.96	0.66	1.29	9.85
55.6	13.3	5.67	0.72	2.41	6.24
61.6	14.1	5.66	0.73	2.47	7.57
67.1	14.9	5.64	0.73	2.52	9.15
72.9	15.7	5.62	0.74	2.60	11.13
75.8	16.1	5.61	0.74	2.64	12.26
73.7	18.3	6.31	0.82	4.71	9.20
77.4	18.8	6.30	0.82	4.76	10.00
84.4	19.8	6.28	0.82	4.83	11.78
91.7	20.8	6.27	0.82	4.95	14.01
95.3	21.3	6.26	0.83	5.02	15.28
98.9	21.8	6.25	0.83	5.09	16.65
95.2	24.3	6.94	0.91	8.61	13.17
103.8	25.5	6.92	0.91	8.72	15.16
112.7	26.8	6.91	0.91	8.90	17.65
117.2	27.4	6.91	0.91	8.99	19.06
121.6	28.0	6.90	0.92	9.10	20.60
124.2	30.1	7.23	0.95	11.69	19.81
120.0	31.4	7.57	1.00	14.83	18.25
125.4	32.2	7.56	1.00	14.94	19.46
130.8	33.0	7.56	1.00	15.06	20.78
136.2	33.8	7.55	1.00	15.19	22.22
141.5	34.5	7.55	1.00	15.33	23.79
146.8	35.2	7.54	1.00	15.48	25.49
149.2	39.9	8.20	1.09	24.54	24.85
162.0	41.8	8.19	1.09	24.87	27.91
174.6	43.6	8.18	1.09	25.25	31.50
187.0	45.3	8.17	1.09	25.69	35.69
182.7	49.7	8.82	1.18	39.05	33.16
190.2	50.8	8.82	1.18	39.27	34.90
205.0	53.0	8.82	1.18	39.77	38.84
219.6	55.1	8.81	1.18	40.34	43.42
220.8	60.9	9.45	1.27	60.10	43.42
238.0	63.5	9.45	1.27	60.72	47.73
254.9	66.1	9.45	1.27	61.45	52.71
263.8	73.7	10.08	1.36	89.86	55.95
273.6	75.3	10.08	1.36	90.25	58.38
283.4	76.8	10.08	1.36	90.68	60.99
293.1	78.3	10.08	1.36	91.15	63.79
301.9	79.7	10.07	1.36	91.35	66.51
311.5	81.1	10.07	1.36	91.89	69.71
311.9	88.2	10.70	1.46	131.02	71.06
323.1	89.9	10.71	1.45	131.53	73.88
334.1	91.7	10.71	1.45	132.09	76.91
355.2	95.0	10.70	1.45	132.97	83.29
377.0	98.3	10.70	1.45	134.41	90.88
387.8	112.1	11.64	1.59	221.07	97.62
401.0	114.2	11.64	1.59	221.76	101.01
426.5	118.5	11.64	1.59	222.83	108.11
452.5	122.6	11.64	1.59	224.72	116.55
478.4	126.6	11.64	1.59	226.88	126.04
474.5	139.7	12.57	1.73	357.80	131.25
504.7	145.0	12.58	1.73	358.96	139.13
535.5	150.1	12.58	1.73	361.32	148.48
566.1	154.9	12.59	1.73	364.08	158.97
589.9	174.7	13.50	1.87	559.02	177.41
626.0	180.8	13.52	1.87	561.76	187.72
697.1	192.5	13.53	1.86	569.01	212.09
732.2	197.9	13.53	1.86	573.41	226.30
767.0	203.4	13.52	1.86	578.26	241.98
801.6	208.6	13.52	1.87	583.53	259.20



**LAMPIRAN E**  
**PERHITUNGAN DESAIN MODULUS PROFIL**

## Perhitungan Desain Modulus Profil Penegar



**Model 1.1**

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Web			9,85 cm	17,14	168,819	1662,869	554,290
Segitiga 1 (S1)			1,99 cm	1,59	3,162	6,301	0,468
Persegi (R)			0,77 cm	3,05	2,365	1,832	0,611
Segitiga 2 (S2)			1,07 cm	0,15	0,160	0,171	0,013
Lingkaran 150° (C)			0,72 cm	0,90	0,652	0,471	0,126
Fillet			2,91 cm	0,02	0,064	0,185	0,000
		19,70 cm		22,851	175,22	1671,83	555,51
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			2227,34 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			7,67 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>883,74 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			12,03 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>73,4 cm<sup>3</sup></b>				
Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		19,70 cm	7,67 cm	22,851	175,220859	1671,83	555,51
Pelat pengikat	34,80 cm	0,90 cm	20,15 cm	31,32	631,098	12716,6247	2,1
		20,600		54,171	806,319	14388,454	557,621
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			14946,08 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			14,88 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>2944,22 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			14,88 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>197,8 cm<sup>3</sup></b>				

## Model 2.1

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Web			9,85 cm	19,11	188,224	1854,003	618,001
Segitiga 1 (S1)			1,99 cm	1,59	3,162	6,301	0,468
Persegi (R)			0,77 cm	3,05	2,365	1,832	0,611
Segitiga 2 (S2)			1,07 cm	0,15	0,160	0,171	0,013
Lingkaran 150° (C)			0,72 cm	0,90	0,652	0,471	0,126
Fillet			2,91 cm	0,02	0,069	0,201	0,000
		19,70 cm		24,823	194,63	1862,98	619,22
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			2482,20 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			7,84 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			956,13 cm <sup>4</sup>				
<b>Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)</b>			11,86 cm				
<b>Modulus penampang (Z)</b>			<b>80,6 cm<sup>3</sup></b>				

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		19,70 cm	7,84 cm	24,823	194,630843	1862,98	619,22
Pelat pengikat	38,80 cm	0,90 cm	20,15 cm	34,92	703,638	14178,3057	2,4
		20,600		59,743	898,269	16041,285	621,576
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			16662,86 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			15,04 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			3156,83 cm <sup>4</sup>				
<b>Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)</b>			15,04 cm				
<b>Modulus penampang (Z)</b>			<b>210,0 cm<sup>3</sup></b>				

## Model 3.1

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Web			9,85 cm	21,08	207,628	2045,137	681,712
Segitiga 1 (S1)			1,99 cm	1,59	3,162	6,301	0,468
Persegi (R)			0,77 cm	3,05	2,365	1,832	0,611
Segitiga 2 (S2)			1,07 cm	0,15	0,160	0,171	0,013
Lingkaran 150° (C)			0,72 cm	0,90	0,652	0,471	0,126
Fillet			2,91 cm	0,03	0,075	0,217	0,000
		19,70 cm		26,795	214,04	2054,13	682,93
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			2737,06 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			7,99 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			1027,26 cm <sup>4</sup>				
<b>Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)</b>			11,71 cm				
<b>Modulus penampang (Z)</b>			<b>87,7 cm<sup>3</sup></b>				

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		19,70 cm	7,99 cm	26,795	214,040826	2054,13	682,93
Pelat pengikat	42,80 cm	0,90 cm	20,15 cm	38,52	776,178	15639,9867	2,6
		20,600		65,315	990,219	17694,117	685,530
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			18379,65 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			15,16 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			3367,18 cm <sup>4</sup>				
<b>Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)</b>			15,16 cm				
<b>Modulus penampang (Z)</b>			<b>222,1 cm<sup>3</sup></b>				

## Model 4.1

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Web			9,85 cm	23,05	227,033	2236,272	745,424
Segitiga 1 (S1)			1,99 cm	1,59	3,162	6,301	0,468
Persegi (R)			0,77 cm	3,05	2,365	1,832	0,611
Segitiga 2 (S2)			1,07 cm	0,15	0,160	0,171	0,013
Lingkaran 150° (C)			0,72 cm	0,90	0,652	0,471	0,126
Fillet			2,91 cm	0,03	0,080	0,233	0,000
		19,70 cm		28,766	233,45	2245,28	746,64
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			2991,92 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			8,12 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>1097,38 cm<sup>4</sup></b>				
<b>Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>11,58 cm</b>				
<b>Modulus penampang (Z)</b>			<b>94,7 cm<sup>3</sup></b>				

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		19,70 cm	8,12 cm	28,766	233,45081	2245,28	746,64
Pelat pengikat	46,80 cm	0,90 cm	20,15 cm	42,12	848,718	17101,6677	2,8
		20,600		70,886	1082,169	19346,948	749,484
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			20096,43 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			15,27 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>3575,80 cm<sup>4</sup></b>				
<b>Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>15,27 cm</b>				
<b>Modulus penampang (Z)</b>			<b>234,2 cm<sup>3</sup></b>				

## Model 5.1

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Web			11,35 cm	24,29	275,680	3128,970	1042,990
Segitiga 1 (S1)			2,34 cm	2,15	5,031	11,751	0,873
Persegi (R)			0,91 cm	4,13	3,754	3,409	1,136
Segitiga 2 (S2)			1,25 cm	0,21	0,257	0,323	0,024
Lingkaran 150° (C)			0,85 cm	1,24	1,049	0,888	0,237
Fillet			3,41 cm	0,03	0,104	0,357	0,000
		22,70 cm		32,053	285,88	3145,70	1045,26
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			4190,96 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			8,92 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>1641,23 cm<sup>4</sup></b>				
<b>Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>13,78 cm</b>				
<b>Modulus penampang (Z)</b>			<b>119,1 cm<sup>3</sup></b>				

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		22,70 cm	8,92 cm	32,053	285,876348	3145,70	1045,26
Pelat pengikat	42,80 cm	1,00 cm	23,20 cm	42,8	992,96	23036,672	3,6
		23,700		74,853	1278,836	26182,369	1048,827
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			27231,20 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			17,08 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>5382,60 cm<sup>4</sup></b>				
<b>Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>17,08 cm</b>				
<b>Modulus penampang (Z)</b>			<b>315,1 cm<sup>3</sup></b>				

## Model 6.1

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Web			10,85 cm	23,22	251,926	2733,399	911,133
Segitiga 1 (S1)			2,22 cm	1,96	4,343	9,649	0,716
Persegi (R)			0,86 cm	3,76	3,243	2,801	0,934
Segitiga 2 (S2)			1,19 cm	0,19	0,221	0,264	0,020
Lingkaran 150° (C)			0,81 cm	1,12	0,903	0,727	0,194
Fillet			3,25 cm	0,03	0,094	0,305	0,000
		21,70 cm		30,265	260,73	2747,14	913,00
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			3660,14 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			8,61 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>1413,98 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			13,09 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>108,1 cm<sup>3</sup></b>				

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		21,70 cm	8,61 cm	30,265	260,73066	2747,14	913,00
Pelat pengikat	42,80 cm	0,90 cm	22,15 cm	38,52	853,218	18898,7787	2,6
		22,600		68,785	1113,949	21645,923	915,597
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			22561,52 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			16,19 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>4521,55 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			16,19 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>279,2 cm<sup>3</sup></b>				

## Model 7.1

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Web			11,85 cm	27,73	328,589	3893,776	1297,925
Segitiga 1 (S1)			2,45 cm	2,36	5,788	14,180	1,053
Persegi (R)			0,95 cm	4,53	4,316	4,111	1,370
Segitiga 2 (S2)			1,32 cm	0,23	0,297	0,390	0,029
Lingkaran 150° (C)			0,89 cm	1,36	1,211	1,075	0,287
Fillet			3,58 cm	0,03	0,124	0,444	0,000
		23,70 cm		36,247	340,32	3913,97	1300,67
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			5214,64 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			9,39 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>2019,32 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			14,31 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>141,1 cm<sup>3</sup></b>				

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		23,70 cm	9,39 cm	36,247	340,324026	3913,97	1300,67
Pelat pengikat	46,80 cm	0,90 cm	24,15 cm	42,12	1017,198	24565,3317	2,8
		24,600		78,367	1357,522	28479,307	1303,508
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			29782,81 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			17,32 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>6266,95 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			17,32 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>361,8 cm<sup>3</sup></b>				

## Model 8.1

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>o</sub> [cm <sup>4</sup> ]
Web			13,85 cm	28,25	391,318	5419,753	1806,584
Segitiga 1 (S1)			2,91 cm	3,29	9,571	27,819	2,066
Persegi (R)			1,13 cm	6,30	7,122	8,047	2,682
Segitiga 2 (S2)			1,56 cm	0,32	0,496	0,773	0,058
Lingkaran 150° (C)			1,05 cm	1,92	2,022	2,130	0,570
Fillet			4,25 cm	0,04	0,163	0,691	0,000
		27,70 cm		40,124	410,69	5459,21	1811,96
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			7271,17 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			10,24 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>3067,56 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			17,46 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>175,6 cm<sup>3</sup></b>				
Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>o</sub> [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		27,70 cm	10,24 cm	40,124	410,690616	5459,21	1811,96
Pelat pengikat	40,80 cm	0,90 cm	28,15 cm	36,72	1033,668	29097,7542	2,5
		28,600		76,844	1444,359	34556,968	1814,439
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			36371,41 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			18,80 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>9223,36 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			18,80 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>490,7 cm<sup>3</sup></b>				

## Model 9.1

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>o</sub> [cm <sup>4</sup> ]
Web			14,85 cm	31,78	471,918	7007,985	2335,995
Segitiga 1 (S1)			3,13 cm	3,82	11,962	37,500	2,785
Persegi (R)			1,22 cm	7,30	8,893	10,838	3,613
Segitiga 2 (S2)			1,68 cm	0,37	0,622	1,047	0,079
Lingkaran 150° (C)			1,14 cm	2,23	2,537	2,883	0,771
Fillet			4,58 cm	0,04	0,199	0,912	0,000
		29,70 cm		45,537	496,13	7061,17	2343,24
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			9404,41 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			10,90 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>3999,00 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			18,80 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>212,7 cm<sup>3</sup></b>				
Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>o</sub> [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		29,70 cm	10,90 cm	45,537	496,131197	7061,17	2343,24
Pelat pengikat	42,80 cm	1,00 cm	30,20 cm	42,8	1292,56	39035,312	3,6
		30,700		88,337	1788,691	46096,477	2346,808
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			48443,29 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			20,25 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>12225,00 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			20,25 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>603,7 cm<sup>3</sup></b>				



## Model 10.1

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Web			16,85 cm	39,43	664,379	11194,780	3731,593
Segitiga 1 (S1)			3,60 cm	4,98	17,938	64,551	4,793
Persegi (R)			1,40 cm	9,51	13,311	18,622	6,207
Segitiga 2 (S2)			1,93 cm	0,49	0,941	1,817	0,137
Lingkaran 150° (C)			1,30 cm	2,94	3,837	5,006	1,338
Fillet			5,26 cm	0,05	0,288	1,516	0,000
		33,70 cm		57,411	700,69	11286,29	3744,07
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			15030,36 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			12,20 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>6478,55 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			21,50 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>301,4 cm<sup>3</sup></b>				

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		33,70 cm	12,20 cm	57,411	700,693198	11286,29	3744,07
Pelat pengikat	46,80 cm	1,00 cm	34,20 cm	46,8	1600,56	54739,152	3,9
		34,700		104,211	2301,253	66025,444	3747,969
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			69773,41 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			22,08 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>18955,84 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			22,08 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>858,4 cm<sup>3</sup></b>				

## Model 1.2

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Web			10,00 cm	18,00	180,000	1800,000	600,000
Segitiga 1 (S1)			1,99 cm	1,59	3,162	6,301	0,468
Persegi (R)			0,77 cm	3,05	2,365	1,832	0,611
Segitiga 2 (S2)			1,07 cm	0,15	0,160	0,171	0,013
Lingkaran 150° (C)			0,72 cm	0,90	0,652	0,471	0,126
Fillet			2,91 cm	0,02	0,066	0,192	0,000
		20,00 cm		23,713	186,40	1808,97	601,22
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			2410,19 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			7,86 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>944,87 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			12,14 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>77,8 cm<sup>3</sup></b>				

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		20,00 cm	7,86 cm	23,713	186,404106	1808,97	601,22
Pelat pengikat	36,00 cm	0,90 cm	20,45 cm	32,4	662,58	13549,761	2,2
		20,900		56,113	848,984	15358,729	603,404
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			15962,13 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			15,13 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>3117,01 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			15,13 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>206,0 cm<sup>3</sup></b>				

## Model 2.2

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Web			10,00 cm	20,00	200,000	2000,000	666,667
Segitiga 1 (S1)			1,99 cm	1,59	3,162	6,301	0,468
Persegi (R)			0,77 cm	3,05	2,365	1,832	0,611
Segitiga 2 (S2)			1,07 cm	0,15	0,160	0,171	0,013
Lingkaran 150° (C)			0,72 cm	0,90	0,652	0,471	0,126
Fillet			2,91 cm	0,02	0,072	0,208	0,000
		20,00 cm		25,715	206,41	2008,98	667,88
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			2676,87 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			8,03 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			1020,03 cm <sup>4</sup>				
<b>Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)</b>			11,97 cm				
<b>Modulus penampang (Z)</b>			<b>85,2 cm<sup>3</sup></b>				

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		20,00 cm	8,03 cm	25,715	206,409673	2008,98	667,88
Pelat pengikat	40,00 cm	0,90 cm	20,45 cm	36	736,2	15055,29	2,4
		20,900		61,715	942,610	17064,274	670,314
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			17734,59 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			15,27 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			3337,45 cm <sup>4</sup>				
<b>Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)</b>			15,27 cm				
<b>Modulus penampang (Z)</b>			<b>218,5 cm<sup>3</sup></b>				

## Model 3.2

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Web			10,00 cm	22,00	220,000	2200,000	733,333
Segitiga 1 (S1)			1,99 cm	1,59	3,162	6,301	0,468
Persegi (R)			0,77 cm	3,05	2,365	1,832	0,611
Segitiga 2 (S2)			1,07 cm	0,15	0,160	0,171	0,013
Lingkaran 150° (C)			0,72 cm	0,90	0,652	0,471	0,126
Fillet			2,91 cm	0,03	0,077	0,224	0,000
		20,00 cm		27,716	226,42	2209,00	734,55
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			2943,55 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			8,17 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			1093,97 cm <sup>4</sup>				
<b>Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)</b>			11,83 cm				
<b>Modulus penampang (Z)</b>			<b>92,5 cm<sup>3</sup></b>				

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		20,00 cm	8,17 cm	27,716	226,41524	2209,00	734,55
Pelat pengikat	44,00 cm	0,90 cm	20,45 cm	39,6	809,82	16560,819	2,7
		20,900		67,316	1036,235	18769,819	737,224
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			19507,04 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			15,39 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			3555,77 cm <sup>4</sup>				
<b>Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)</b>			15,39 cm				
<b>Modulus penampang (Z)</b>			<b>231,0 cm<sup>3</sup></b>				

## Model 4.2

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Web			10,00 cm	24,00	240,000	2400,000	800,000
Segitiga 1 (S1)			1,99 cm	1,59	3,162	6,301	0,468
Persegi (R)			0,77 cm	3,05	2,365	1,832	0,611
Segitiga 2 (S2)			1,07 cm	0,15	0,160	0,171	0,013
Lingkaran 150° (C)			0,72 cm	0,90	0,652	0,471	0,126
Fillet			2,91 cm	0,03	0,083	0,241	0,000
		20,00 cm		29,718	246,42	2409,02	801,22
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			3210,23 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			8,29 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			1166,95 cm <sup>4</sup>				
<b>Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)</b>			11,71 cm				
<b>Modulus penampang (Z)</b>			<b>99,7 cm<sup>3</sup></b>				

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		20,00 cm	8,29 cm	29,718	246,420807	2409,02	801,22
Pelat pengikat	48,00 cm	0,90 cm	20,45 cm	43,2	883,44	18066,348	2,9
		20,900		72,918	1129,861	20475,364	804,133
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			21279,50 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			15,49 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			3772,45 cm <sup>4</sup>				
<b>Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)</b>			15,49 cm				
<b>Modulus penampang (Z)</b>			<b>243,5 cm<sup>3</sup></b>				

## Model 5.2

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Web			11,50 cm	25,30	290,950	3345,925	1115,308
Segitiga 1 (S1)			2,34 cm	2,15	5,031	11,751	0,873
Persegi (R)			0,91 cm	4,13	3,754	3,409	1,136
Segitiga 2 (S2)			1,25 cm	0,21	0,257	0,323	0,024
Lingkaran 150° (C)			0,85 cm	1,24	1,049	0,888	0,237
Fillet			3,41 cm	0,03	0,108	0,368	0,000
		23,00 cm		33,064	301,15	3362,66	1117,58
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			4480,24 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			9,11 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			1737,39 cm <sup>4</sup>				
<b>Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)</b>			13,89 cm				
<b>Modulus penampang (Z)</b>			<b>125,1 cm<sup>3</sup></b>				

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		23,00 cm	9,11 cm	33,064	301,149496	3362,66	1117,58
Pelat pengikat	44,00 cm	1,00 cm	23,50 cm	44	1034	24299	3,7
		24,000		77,064	1335,149	27661,664	1121,246
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			28782,91 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			17,33 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			5651,32 cm <sup>4</sup>				
<b>Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)</b>			17,33 cm				
<b>Modulus penampang (Z)</b>			<b>326,2 cm<sup>3</sup></b>				

## Model 6.2

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Web			11,00 cm	24,20	266,200	2928,200	976,067
Segitiga 1 (S1)			2,22 cm	1,96	4,343	9,649	0,716
Persegi (R)			0,86 cm	3,76	3,243	2,801	0,934
Segitiga 2 (S2)			1,19 cm	0,19	0,221	0,264	0,020
Lingkaran 150° (C)			0,81 cm	1,12	0,903	0,727	0,194
Fillet			3,25 cm	0,03	0,097	0,314	0,000
		22,00 cm		31,247	275,01	2941,95	977,93
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			3919,89 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			8,80 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>1499,53 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			13,20 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>113,6 cm<sup>3</sup></b>				

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		22,00 cm	8,80 cm	31,247	275,007554	2941,95	977,93
Pelat pengikat	44,00 cm	0,90 cm	22,45 cm	39,6	889,02	19958,499	2,7
		22,900		70,847	1164,028	22900,454	980,604
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			23881,06 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			16,43 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>4755,92 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			16,43 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>289,5 cm<sup>3</sup></b>				

## Model 7.2

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Web			12,00 cm	28,80	345,600	4147,200	1382,400
Segitiga 1 (S1)			2,45 cm	2,36	5,788	14,180	1,053
Persegi (R)			0,95 cm	4,53	4,316	4,111	1,370
Segitiga 2 (S2)			1,32 cm	0,23	0,297	0,390	0,029
Lingkaran 150° (C)			0,89 cm	1,36	1,211	1,075	0,287
Fillet			3,58 cm	0,04	0,128	0,457	0,000
		24,00 cm		37,319	357,34	4167,41	1385,14
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			5552,55 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			9,58 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>2130,93 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			14,42 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>147,7 cm<sup>3</sup></b>				

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		24,00 cm	9,58 cm	37,319	357,33904	4167,41	1385,14
Pelat pengikat	48,00 cm	0,90 cm	24,45 cm	43,2	1056,24	25825,068	2,9
		24,900		80,519	1413,579	29992,480	1388,056
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			31380,54 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			17,56 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>6563,94 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			17,56 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>373,9 cm<sup>3</sup></b>				

## Model 8.2

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Web			14,00 cm	29,40	411,600	5762,400	1920,800
Segitiga 1 (S1)			2,91 cm	3,29	9,571	27,819	2,066
Persegi (R)			1,13 cm	6,30	7,122	8,047	2,682
Segitiga 2 (S2)			1,56 cm	0,32	0,496	0,773	0,058
Lingkaran 150° (C)			1,05 cm	1,92	2,022	2,130	0,570
Fillet			4,25 cm	0,04	0,167	0,711	0,000
		28,00 cm		41,271	430,98	5801,88	1926,18
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			7728,06 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			10,44 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			3227,56 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			17,56 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>183,8 cm<sup>3</sup></b>				

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		28,00 cm	10,44 cm	41,271	430,977368	5801,88	1926,18
Pelat pengikat	42,00 cm	0,90 cm	28,45 cm	37,8	1075,41	30595,4145	2,6
		28,900		79,071	1506,387	36397,295	1928,727
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			38326,02 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			19,05 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			9627,86 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			19,05 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>505,4 cm<sup>3</sup></b>				

## Model 9.2

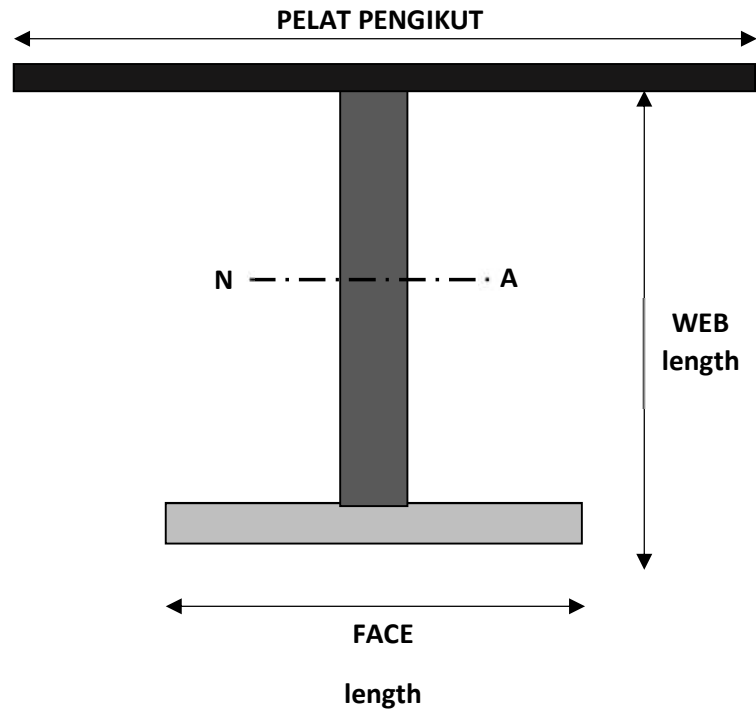
Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Web			15,00 cm	33,00	495,000	7425,000	2475,000
Segitiga 1 (S1)			3,13 cm	3,82	11,962	37,500	2,785
Persegi (R)			1,22 cm	7,30	8,893	10,838	3,613
Segitiga 2 (S2)			1,68 cm	0,37	0,622	1,047	0,079
Lingkaran 150° (C)			1,14 cm	2,23	2,537	2,883	0,771
Fillet			4,58 cm	0,04	0,205	0,937	0,000
		30,00 cm		46,759	519,22	7478,21	2482,25
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			9960,45 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			11,10 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			4195,00 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			18,90 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>222,0 cm<sup>3</sup></b>				

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	Io [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		30,00 cm	11,10 cm	46,759	519,218393	7478,21	2482,25
Pelat pengikat	44,00 cm	1,00 cm	30,50 cm	44	1342	40931	3,7
		31,000		90,759	1861,218	48409,205	2485,914
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			50895,12 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			20,51 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			12726,71 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			20,51 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>620,6 cm<sup>3</sup></b>				

## Model 10.2

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>o</sub> [cm <sup>4</sup> ]
Web			17,00 cm	40,80	693,600	11791,200	3930,400
Segitiga 1 (S1)			3,60 cm	4,98	17,938	64,551	4,793
Persegi (R)			1,40 cm	9,51	13,311	18,622	6,207
Segitiga 2 (S2)			1,93 cm	0,49	0,941	1,817	0,137
Lingkaran 150° (C)			1,30 cm	2,94	3,837	5,006	1,338
Fillet			5,26 cm	0,06	0,295	1,552	0,000
		34,00 cm		58,784	729,92	11882,75	3942,88
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			15825,62 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			12,42 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			6762,13 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			21,58 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>313,3 cm<sup>3</sup></b>				
Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>o</sub> [cm <sup>4</sup> ]
Bulb Plate		34,00 cm	12,42 cm	58,784	729,921438	11882,75	3942,88
Pelat pengikat	48,00 cm	1,00 cm	34,50 cm	48	1656	57132	4,0
		35,000		106,784	2385,921	69014,748	3946,876
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			72961,62 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			22,34 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			19651,76 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			22,34 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>879,5 cm<sup>3</sup></b>				

## Perhitungan Desain Modulus Profil Penumpu



### Model 1-5

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>o</sub> [cm <sup>4</sup> ]
Web	1,2	68,5	35,75	82,20	2938,650	105056,738	32141,913
Face	25	1,5	0,75	37,50	28,125	21,094	7,031
		70		119,70	2966,78	105077,83	32148,94
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			137226,78 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			24,79 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>63695,00 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			45,21 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>1408,7 cm<sup>3</sup></b>				
Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>o</sub> [cm <sup>4</sup> ]
T bar		70,00 cm	24,79 cm	119,700	2966,78	105077,83	32148,94
Pelat pengikat	48,00 cm	1,00 cm	70,50 cm	48	3384	238572	4,0
		71,000		167,700	6350,775	343649,831	32152,944
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			375802,78 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			37,87 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>135299,83 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			37,87 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>3572,8 cm<sup>3</sup></b>				

## Model 6-10

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>o</sub> [cm <sup>4</sup> ]
Web	1,2	78,5	40,75	94,20	3838,650	156424,988	48373,663
Face	20	1,5	0,75	30,00	22,500	16,875	5,625
		80		124,20	3861,15	156441,86	48379,29
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			204821,15 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			31,09 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>84785,08 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			48,91 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>1733,4 cm<sup>3</sup></b>				

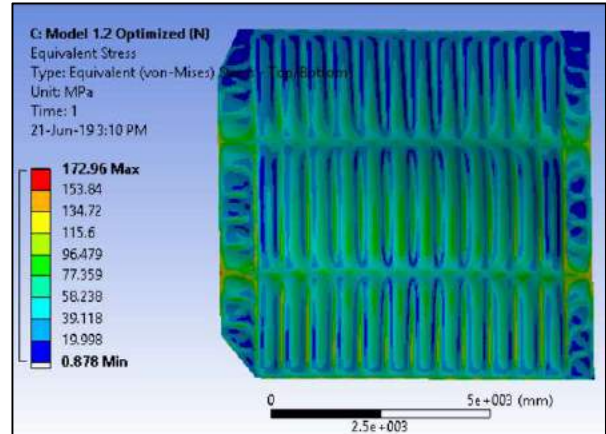
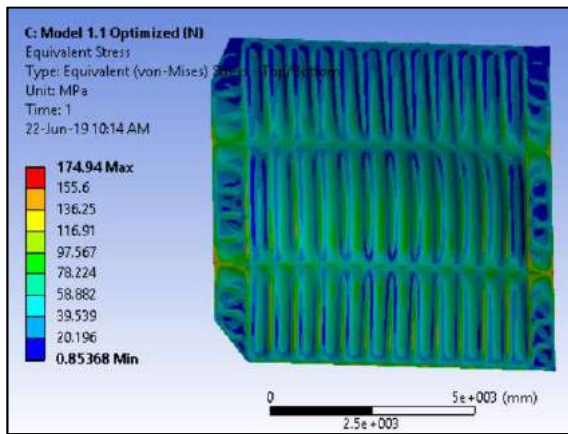
  

Bagian	Lebar (b) [cm]	Tinggi (h) [cm]	Jarak ke Center of Gravity (y) [cm]	Luas (A) [cm <sup>2</sup> ]	Moment of Area [cm <sup>3</sup> ]	2nd Moment of Area [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>o</sub> [cm <sup>4</sup> ]
T bar		80,00 cm	31,09 cm	124,200	3861,15	156441,86	48379,29
Pelat pengikut	48,00 cm	1,00 cm	80,50 cm	48	3864	311052	4,0
		81,000		172,200	7725,150	467493,863	48383,288
Moment inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)			515877,15 cm <sup>4</sup>				
Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)			44,86 cm				
<b>Momen inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)</b>			<b>169315,35 cm<sup>4</sup></b>				
Jarak vertikal terbesar terhadap sumbu netral (N-A)			44,86 cm				
Modulus penampang (Z)			<b>3774,2 cm<sup>3</sup></b>				

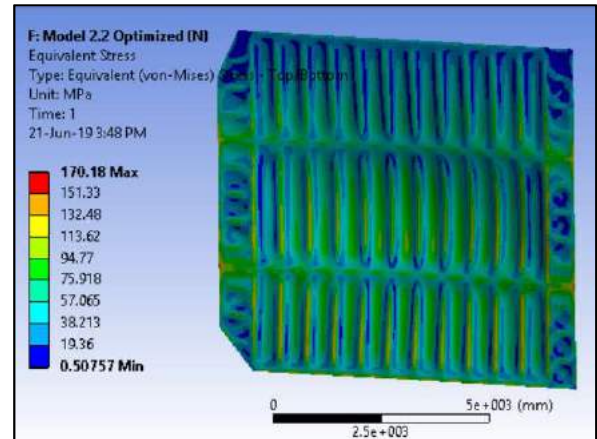
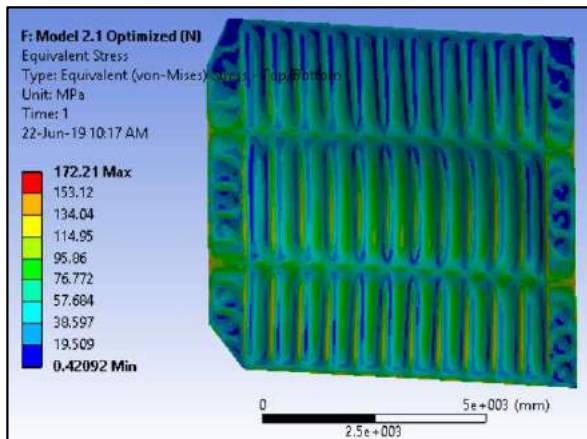


**LAMPIRAN F**  
**HASIL ANALISIS TEGANGAN DENGAN *FEM***

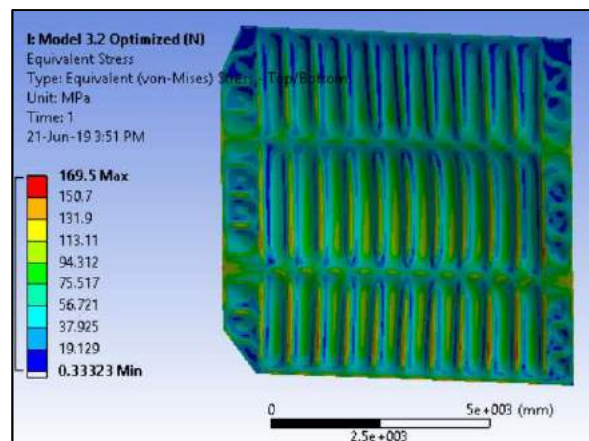
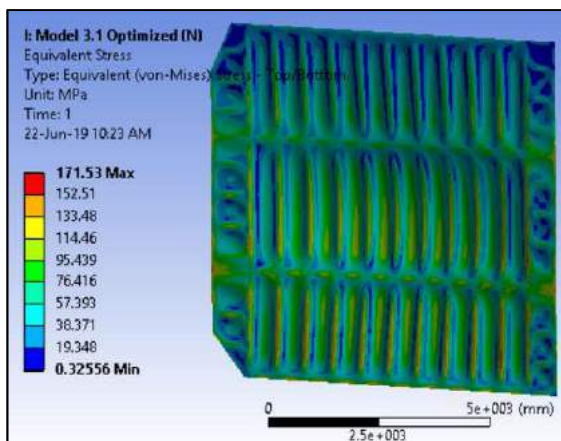
a. Model 1.1 dan 1.2 (variasi *jarak* penegar 600 mm dengan 2 penumpu horizontal)



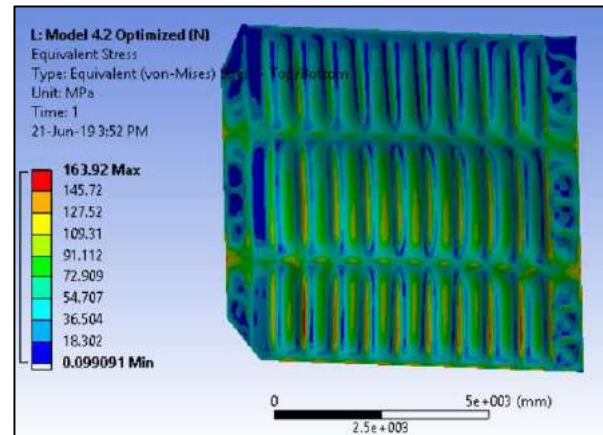
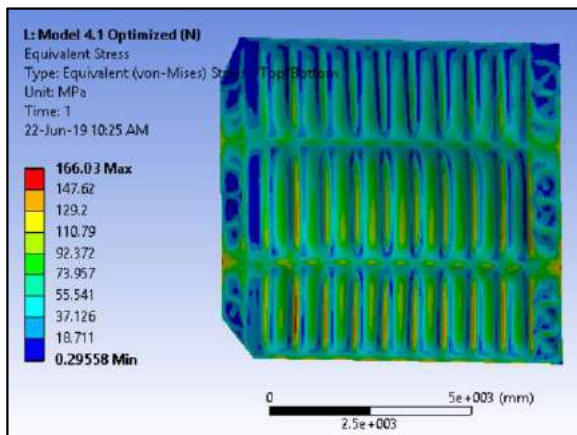
a. Model 2.1 dan 2.2 (variasi *jarak* penegar 650 mm dengan 2 penumpu horizontal)



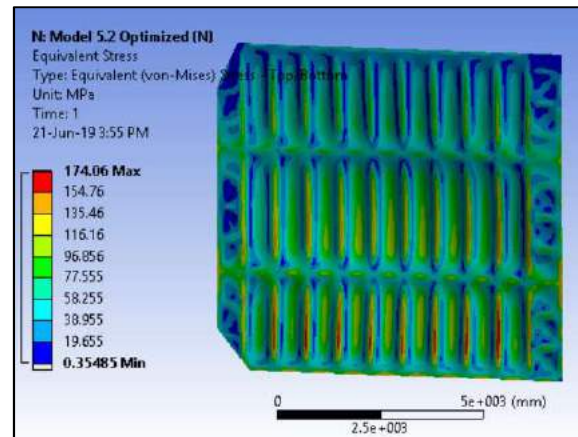
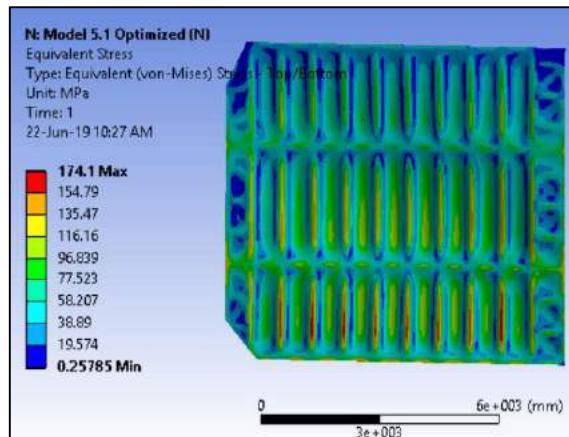
a. Model 3.1 dan 3.2 (variasi *jarak* penegar 700 mm dengan 2 penumpu horizontal)



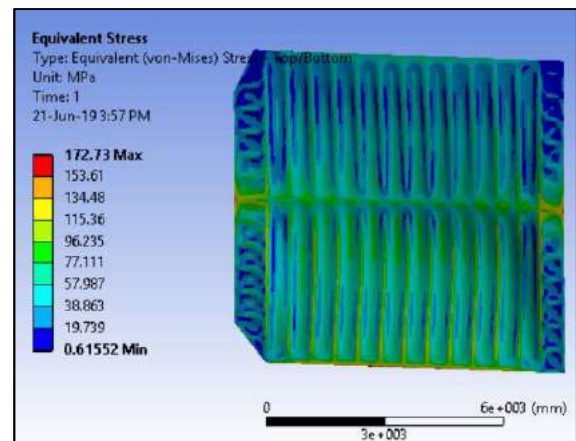
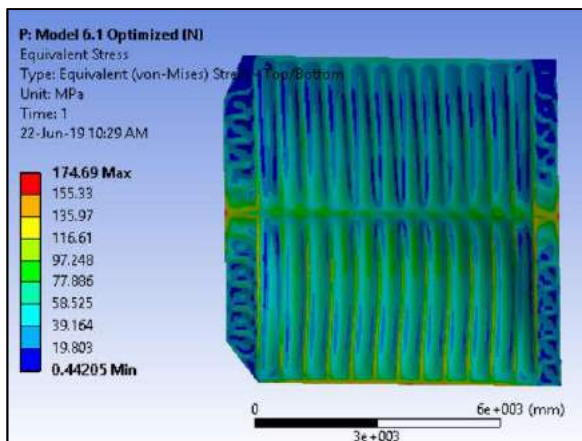
b. Model 4.1 dan 4.2 (variasi *jarak* penegar 750 mm dengan 2 penumpu horizontal)



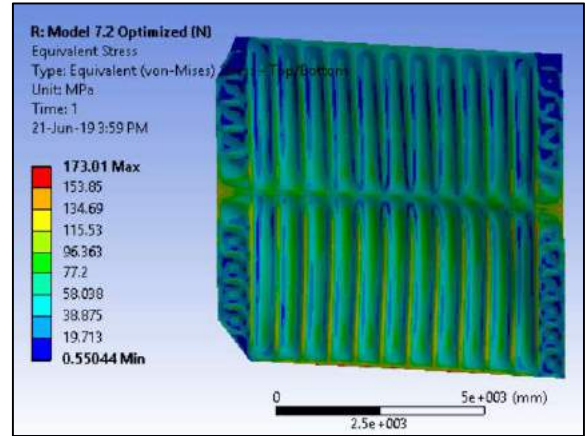
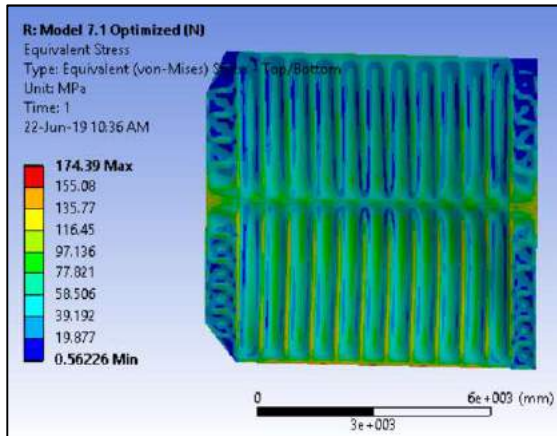
a. Model 5.1 dan 5.2 (variasi *jarak* penegar 800 mm dengan 2 penumpu horizontal)



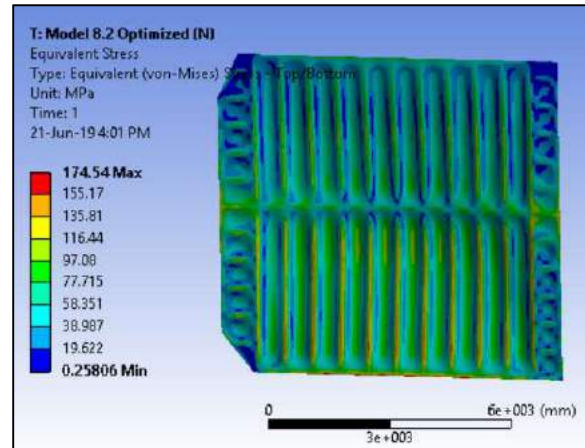
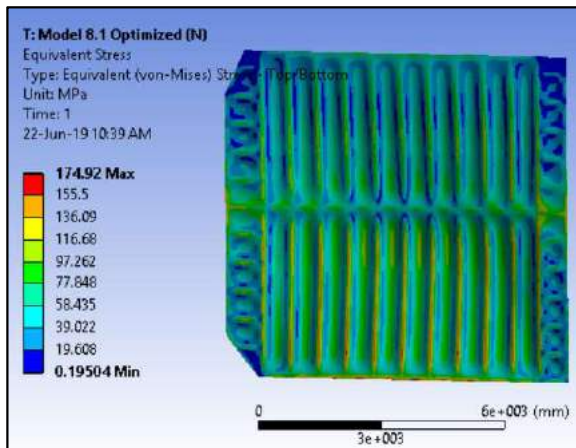
a. Model 6.1 dan 6.2 (variasi *jarak* penegar 600 mm dengan 1 penumpu horizontal)



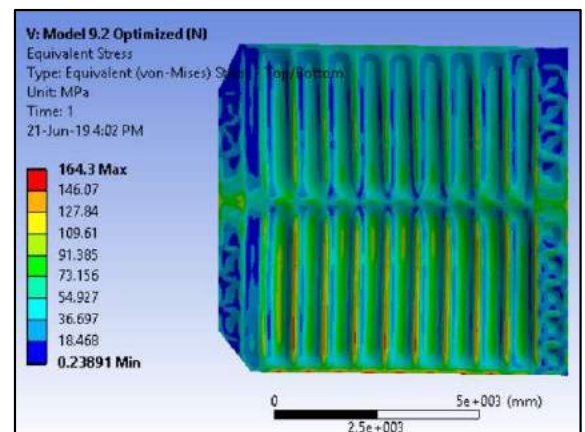
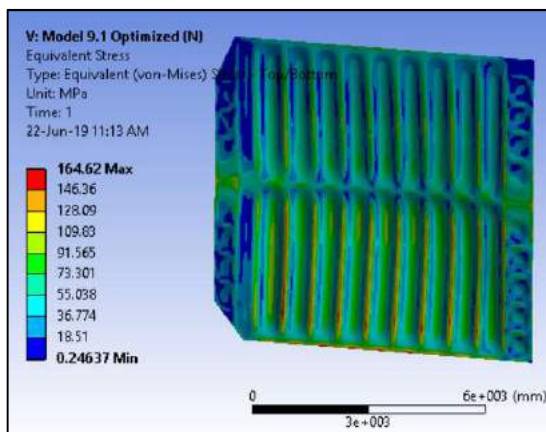
b. Model 7.1 dan 7.2 (variasi jarak penegar 650 mm dengan 1 penumpu horizontal)



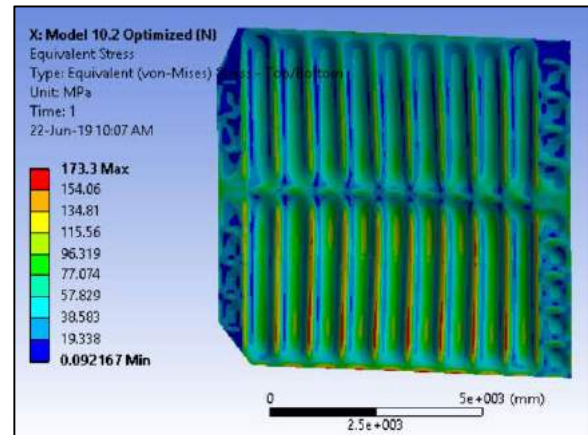
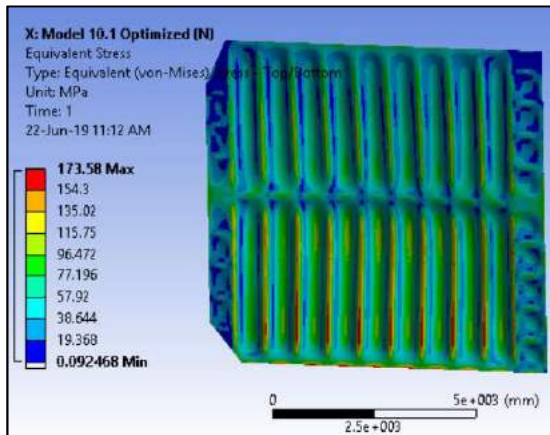
a. Model 8.1 dan 8.2 (variasi jarak penegar 700 mm dengan 1 penumpu horizontal)



a. Model 9.1 dan 9.2 (variasi jarak penegar 750 mm dengan 1 penumpu horizontal)



b. Model 10.1 dan 10.2 (variasi *jarak* penegar 800 mm dengan 1 penumpu horizontal)



**LAMPIRAN G**  
**REKAPITULASI BERAT KONSTRUKSI SEKAT**

### KASUS 1 (Perbandingan berat sekat dengan variasi jenis profil)

Profile dimension				Tanpa pl. pengikat	Dengan pl. pengikat	Max. Eqv. Stress	Berat Struktur Sekat
HP (Bulb plate/Bulb profile)	=	HP 200 x 9	Modulus (Z) =	77,8 cm <sup>3</sup>	206,0 cm <sup>3</sup>	172,96 MPa	9180,1 kg
UAB (Unequal Angle Bar)	=	L 180x100x10	Modulus (Z) =	77,8 cm <sup>3</sup>	246,5 cm <sup>3</sup>	173,80 MPa	9490,9 kg
EAB (Equal Angle Bar)	=	L 191x8	Modulus (Z) =	77,8 cm <sup>3</sup>	342,5 cm <sup>3</sup>	162,76 MPa	9762,9 kg

### KASUS 2 (Perbandingan berat sekat dengan variasi jarak penegar, jumlah penumpu dan desain *custom* atau katalog)

#### Profil *Custom*

MODEL	Jarak Penegar	Jml. Penumpu	Profile dimension		Modulus Minimum	Modulus Desain	Max. Eqv. Stress	Berat Struktur Sekat
1.1	600 mm	2	HP (Bulb Profile)	= HP 197 x 8,7	Modulus (Z) = 306,2 cm <sup>3</sup>	197,8 cm <sup>3</sup>	174,94 MPa	9099,9 kg
2.1	650 mm	2	HP (Bulb Profile)	= HP 197 x 9,7	Modulus (Z) = 331,7 cm <sup>3</sup>	210,0 cm <sup>3</sup>	172,21 MPa	9115,7 kg
3.1	700 mm	2	HP (Bulb Profile)	= HP 197 x 10,7	Modulus (Z) = 357,2 cm <sup>3</sup>	222,1 cm <sup>3</sup>	171,53 MPa	9149,3 kg
4.1	750 mm	2	HP (Bulb Profile)	= HP 197 x 11,7	Modulus (Z) = 382,7 cm <sup>3</sup>	234,2 cm <sup>3</sup>	166,03 MPa	9709,2 kg
5.1	800 mm	2	HP (Bulb Profile)	= HP 227 x 10,7	Modulus (Z) = 408,3 cm <sup>3</sup>	315,1 cm <sup>3</sup>	174,10 MPa	9784,3 kg
6.1	600 mm	1	HP (Bulb Profile)	= HP 217 x 10,7	Modulus (Z) = 513,7 cm <sup>3</sup>	279,2 cm <sup>3</sup>	174,69 MPa	9045,4 kg
7.1	650 mm	1	HP (Bulb Profile)	= HP 237 x 11,7	Modulus (Z) = 556,5 cm <sup>3</sup>	361,8 cm <sup>3</sup>	174,39 MPa	9397,8 kg
8.1	700 mm	1	HP (Bulb Profile)	= HP 277 x 10,2	Modulus (Z) = 599,3 cm <sup>3</sup>	490,7 cm <sup>3</sup>	174,92 MPa	9456,3 kg
9.1	750 mm	1	HP (Bulb Profile)	= HP 297 x 10,7	Modulus (Z) = 642,1 cm <sup>3</sup>	603,7 cm <sup>3</sup>	164,62 MPa	10235,0 kg
10.1	800 mm	1	HP (Bulb Profile)	= HP 337 x 11,7	Modulus (Z) = 685,0 cm <sup>3</sup>	858,4 cm <sup>3</sup>	173,58 MPa	10944,0 kg

#### Profil Katalog

MODEL	Jarak Penegar	Jumlah Penumpu	Profile dimension		Modulus Minimum	Modulus Desain	Max. Eqv. Stress	Berat Struktur Sekat
1.2	600 mm	2	HP (Bulb Profile)	= HP 200 x 9	Modulus (Z) = 306,2 cm <sup>3</sup>	206,0 cm <sup>3</sup>	172,96 MPa	9180,1 kg
2.2	650 mm	2	HP (Bulb Profile)	= HP 200 x 10	Modulus (Z) = 331,7 cm <sup>3</sup>	218,5 cm <sup>3</sup>	170,18 MPa	9192,7 kg
3.2	700 mm	2	HP (Bulb Profile)	= HP 200 x 11	Modulus (Z) = 357,2 cm <sup>3</sup>	231,0 cm <sup>3</sup>	169,50 MPa	9224,2 kg
4.2	750 mm	2	HP (Bulb Profile)	= HP 200 x 12	Modulus (Z) = 382,7 cm <sup>3</sup>	243,5 cm <sup>3</sup>	163,92 MPa	9790,5 kg
5.2	800 mm	2	HP (Bulb Profile)	= HP 230 x 11	Modulus (Z) = 408,3 cm <sup>3</sup>	326,2 cm <sup>3</sup>	174,06 MPa	9856,1 kg
6.2	600 mm	1	HP (Bulb Profile)	= HP 220 x 11	Modulus (Z) = 513,7 cm <sup>3</sup>	289,5 cm <sup>3</sup>	172,73 MPa	9137,8 kg
7.2	650 mm	1	HP (Bulb Profile)	= HP 240 x 12	Modulus (Z) = 556,5 cm <sup>3</sup>	373,9 cm <sup>3</sup>	173,01 MPa	9497,4 kg
8.2	700 mm	1	HP (Bulb Profile)	= HP 280 x 10,5	Modulus (Z) = 599,3 cm <sup>3</sup>	512,5 cm <sup>3</sup>	174,54 MPa	9549,3 kg
9.2	750 mm	1	HP (Bulb Profile)	= HP 300 x 11	Modulus (Z) = 642,1 cm <sup>3</sup>	620,6 cm <sup>3</sup>	164,30 MPa	10331,0 kg
10.2	800 mm	1	HP (Bulb Profile)	= HP 340 x 12	Modulus (Z) = 685,0 cm <sup>3</sup>	879,5 cm <sup>3</sup>	173,30 MPa	11045,0 kg

## BIODATA PENULIS



Alfath Lathiful Ikhwan, dilahirkan di Lamongan pada 22 Mei 1997 silam, Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar TK di Surabaya, kemudian pindah ke Batam melanjutkan di TK Al-Kaffah, kemudian melanjutkan ke SDS Al-Kaffah, SMPN 6 Batam dan SMAN 1 Batam. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2015 melalui jalur tes tulis SBMPTN.

Pada saat studi di Departemen Teknik Perkapalan, Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff* Departemen Kemahasiswaan HIMATEKPAL FTK ITS 2016/2017 serta kepala divisi pelatihan Departemen Kemahasiswaan HIMATEKPAL FTK ITS 2017/2018. Selain itu, Penulis juga pernah menjadi peserta seminar keilmiah dan juga mengikuti beberapa kompetisi, baik itu di tingkat nasional maupun internasional, seperti Young Engineers and Scientists Summit 2016 (*Best Presentation Award*), Green Wave Sembcorp 2017 (*Merit Awards*), Loreal Brandstorm 2019 dan Airbus Fly Your Ideas 2019.

Email: [alfa\\_goods@yahoo.co.id](mailto:alfa_goods@yahoo.co.id) (personal) / [alfathlathiful@gmail.com](mailto:alfathlathiful@gmail.com) (work)