



TUGAS AKHIR - ME 091329

**ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI *CORRUGATED*  
*WATERTIGHT BULKHEAD* DENGAN *TRANSVERSE PLANE*  
*WATERTIGHT BULKHEAD* PADA PEMASANGAN PIPA DI  
RUANG MUAT KAPAL TANKER**

Stevan Manuky Putra  
NRP 4212 105 021

Dosen Pembimbing:  
Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil., C.Eng  
Ir. Amiadji M.M, M.Sc.

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014



FINAL PROJECT - ME 091329

**STRENGTH ANALYSIS OF CORRUGATED WATERTIGHT  
BULKHEAD WITH TRANSVERSE PLANE WATERTIGHT  
BULKHEAD ON PIPING INSTALLATION IN CARGO OIL  
TANKER**

Stevan Manuky Putra  
NRP 4212 105 021

Supervisor:  
Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil., C.Eng  
Ir. Amiadji M.M, M.Sc.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
Faculty of Marine Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2014

**Analisa Kekuatan Konstruksi *Corrugated Watertight Bulkhead* Dengan *Transverse Plane Watertight Bulkhead* Pada Pemasangan Pipa di Ruang Muat Kapal Tanker**

**Nama Mahasiswa** : Stevan Manuky Putra  
**NRP** : 4212 105 021  
**Jurusan** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil  
Ir. Amiadji M. M., M.Sc

**ABSTRAK**

Pemilihan desain dan material yang lebih efisien dengan membuat suatu konstruksi yang kokoh dan kuat dengan berat ringan mungkin merupakan pertimbangan yang dilakukan oleh perusahaan galangan kapal dalam perancangan dan pembuatan kapal baru. Salah satunya adalah sekat kedap melintang (*transverse plane watertight bulkhead*). Beberapa tahun belakangan sudah banyak kapal yang menggunakan sekat kedap bergelombang (*corrugated watertight bulkhead*). Perubahan penggunaan konstruksi tersebut tentunya mempunyai kekurangan dan kelebihan masing-masing.

Simulasi pengujian dilakukan dengan membuat perancangan permodelan kedua konstruksi sekat dengan menggunakan software *solidworks*. Kemudian dilakukan analisa kekuatan konstruksi, perhitungan berat dan pertimbangan lain. Sehingga akan didapatkan perbandingan konstruksi sekat *bulkhead* yang lebih efisien.

Dari simulasi pengujian, *transverse plane watertight bulkhead* mempunyai tegangan terbesar senilai 228,58 N/mm<sup>2</sup>, *displacement* sebesar 12,833 mm, regangan sebesar 0,00127301, *FOS* sebesar 1,1 dan berat konstruksi 6,7 Ton. Sedangkan *corrugated watertight bulkhead* lebih efisien, mempunyai tegangan sebesar 67,45 N/mm<sup>2</sup>, *displacement* sebesar 2,815 mm, regangan sebesar 0,000237371, *FOS* sebesar 3,7 dan berat konstruksi 7,1 Ton.

**Kata Kunci:** *transverse plane watertight bulkhead, corrugated watertight bulkhead, solidworks.*

# **Strength Analysis of Corrugated Watertight Bulkhead with Transverse Plane Watertight Bulkhead on Piping Installation in Cargo Oil Tanker**

**Name** : Stevan Manuky Putra  
**NRP** : 4212 105 021  
**Department** : Marine Engineering  
**Lecturers** : Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil  
Ir. Amiadji M. M., M.Sc

## **ABSTRACT**

The selection of designs and materials more efficiently to make stronger constructions with the lightest weight is a basic consideration by shipbuilding company to design and manufacture of new vessels. One of them is transverse plane watertight bulkhead. In recent years many ships using corrugated watertight bulkhead. Changes in the use of construction certainly has advantages and disadvantages of each.

Simulation test of model transverse plane watertight bulkhead and corrugated watertight bulkhead was done by solidworks program. Then analyzed the strength, weight calculation and other consideration. So, will be obtained watertight bulkhead constructions more efficient.

From simulation test, transverse plane watertight bulkhead has the largest stress 228.58 N/mm<sup>2</sup>, displacement 12,833 mm, strain 0,00127301, FOS of 1,1 and 6,7 ton weight construction. Whereas corrugated watertight bulkhead is more efficient, has the largest stress 67,45 N/mm<sup>2</sup>, displacement of 2,815 mm, the strain of 0,000237371, FOS 3,7 and 7.1 ton weight construction.

**Keywords:** transverse plane watertight bulkhead, corrugated watertight bulkhead, solidworks.

# LEMBAR PENGESAHAN

## **ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI *CORRUGATED* *WATERTIGHT BULKHEAD* DENGAN *TRANSVERSE* *PLANE WATERTIGHT BULKHEAD* PADA PEMASANGAN PIPA DI RUANG MUAT KAPAL TANKER**

### SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik

Pada Bidang Studi Marine Manufacture and Design (MMD)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Oleh:

**STEVAN MANUKY PUTRA**  
**NRP. 4212 105 021**

Disetujui oleh Dosen pembimbing Skripsi:

1. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil

2. Ir. Amiadji M. M., M.Sc

**SURABAYA**  
**17 Juli 2014**

# LEMBAR PENGESAHAN

## **ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI *CORRUGATED WATERTIGHT BULKHEAD* DENGAN *TRANSVERSE PLANE WATERTIGHT BULKHEAD* PADA PEMASANGAN PIPA DI RUANG MUAT KAPAL TANKER**

### SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada Bidang Studi *Marine Manufacture and Design (MMD)*  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Oleh:

**STEVAN MANUKY PUTRA**  
NRP. 4212 105 021

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan:



**Dr. Ir. A. A. Masroeri, M. Eng.**  
NIP. 1958 0807 1984 1001

**SURABAYA**  
17 Juli 2014

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Hirobbil Alamin, Puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul: **“Analisa Kekuatan Konstruksi *Corrugated Watertight Bulkhead* dengan *Transverse Plane Watertight Bulkhead* Pada Pemasangan Pipa di Ruang Muat Kapal Tanker”** dengan baik.

Pemenuhan syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, disamping tujuan lain bagi pembaca.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini tidak lepas dari kesulitan dan hambatan, namun berkat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada:

1. Orang Tua penulis beserta Keluarga Besar yang mendorong memberkan semangat dan do'a agar skripsi ini terlaksana dengan baik.
2. Bapak Ir. A. A. Masroeri, M. Eng., D. Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.
3. Bapak Ir. Agoes Santoso, M. Sc., M.Phil. dan Bapak Ir. Amiadji M. M., M.Sc., selaku dosen pembimbing penulis yang senantiasa merelakan waktunya untuk membimbing demi selesainya skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng Trika Pitana, ST., M.Sc., selaku koordinator skripsi.
5. Bapak-bapak Manager, supervisor, foreman dan staff di PT. Dok dan Perkapalan Surabaya yang telah memberikan banyak ilmu, arahan serta bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.

6. Semua mahasiswa Lintas Jalur angkatan 2012, member lab MMD dan semua rekan-rekan penulis yang telah bersedia membantu referensi dan sharing mengenai tema dalam skripsi ini.
7. Dan semua pihak yang terkait, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Dengan motto tak ada gading yang tak retak, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, harapan penulis semoga skripsi ini bermanfaat bagi para pembacanya. Kritik, komentar dan saran sangat penulis harapkan demi penyempurnaan skripsi ini dimasa yang akan datang.

Surabaya, 10 Juli 2014

Penulis

Stevan Manuky Putra



# DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Sistem Konstruksi Kapal.....	5
2.1.1 Sistem Kontruksi Melintang ( <i>Transverse Framing System</i> ).....	6
2.1.2 Sistem Kontruksi Membujur ( <i>Longitudinal Framing System</i> ).....	8
2.1.3 Sistem Kontruksi Campuran/ kombinasi ( <i>Mixed/ Combined Framing System</i> ).....	11
2.2 Konstruksi Sekat.....	13
2.2.1 Sekat Melintang Kedap Air ( <i>Transverse Watertight Bulkhead</i> ).....	13
2.2.2 Sekat Membujur Kedap Air ( <i>Longitudinal Watertight Bulkhead</i> ).....	19
2.2.3 Sekat Bergelombang ( <i>Corrugated Watertight Bulkhead</i> ).....	20
2.3 Tegangan.....	25

2.3.1	Tegangan Normal .....	27
2.3.2	Tegangan Tarik.....	28
2.3.3	Tegangan Tekan .....	29
2.3.4	Tegangan Geser .....	30
2.3.5	Tegangan Lengkung .....	30
2.3.6	Tegangan Puntir.....	31
2.4	Regangan .....	31
2.5	<i>Factor of Safety (FoS)</i> .....	32
2.6	Sifat-Sifat Material .....	33
2.7	Instalasi Pipa di Kapal .....	35
2.8	<i>SolidWorks</i> .....	37
2.9	Sejarah Singkat PT. Dok dan Perkapalan Surabaya .....	38
<b>BAB II METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>41</b>
3.1	Metodologi.....	41
3.2	Tahapan Pengerjaan Skripsi.....	41
3.3	Flow Chart Pengerjaan Skripsi .....	44
<b>BAB III ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>45</b>
4.1	<i>Principal Dimension</i> .....	45
4.2	Perhitungan <i>Tranverse Plane Watertight Bulkhead</i> .....	46
4.2.1	Perhitungan Tebal Pelat <i>Tranverse Plane Watertight Bulkhead</i> .....	46
4.2.2	Modulus Penampang <i>Tranverse Plane Watertight Bulkhead</i> .....	50
4.2.3	Perhitungan Ukuran <i>Bracket</i> .....	52
4.2.4	Perhitungan <i>Stringer</i> .....	55
4.2.5	Perhitungan <i>Bulkhead Girder</i> .....	58
4.3	Perhitungan <i>Corrugated Watertight Bulkhead</i> .....	61
4.3.1	Tebal Pelat <i>Corrugated Watertight Bulkhead</i> .....	61
4.3.2	Modulus Penampang <i>Corrugated Watertight Bulkhead</i> .....	63
4.4	Perhitungan Pipa Bongkar Muat.....	66
4.5	Perhitungan Beban.....	68
4.6	Pembuatan Model Konstruksi Sekat.....	73

4.7	Simulasi Pengujian Model Konstruksi Sekat .....	77
4.7.1	Material bahan yang digunakan .....	77
4.7.2	<i>Connections</i> .....	78
4.7.3	<i>Fixtures</i> .....	78
4.7.4	<i>External Loads</i> .....	80
4.8	Analisa Simulasi Permodelan Konstruksi Sekat.....	82
4.8.1	Tegangan ( <i>stress</i> ) .....	83
4.8.2	<i>Displacement</i> .....	86
4.8.3	Regangan ( <i>strain</i> ).....	88
4.8.4	Faktor Keselamatan (FOS).....	91
4.9	Analisa Perbandingan Berat Konstruksi Sekat .....	93
4.10	Analisa Keuntungan dan Kerugian Konstruksi Sekat.....	106
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>109</b>
5.1	Kesimpulan.....	109
5.2	Saran .....	110

**DAFTAR PUSTAKA**  
**LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jumlah <i>Watertight Transverse Bulkhead</i> .....	14
Tabel 2.2 Faktor material k .....	17
Tabel 2.3 <i>Minimum corrosion addition</i> .....	17
Tabel 2.4 Koefisien $C_p$ dan $C_s$ .....	17
Tabel 4.1 Data Kapal Kasim ( <i>Oil Tanker 6500 LTDW</i> ).....	45
Tabel 4.2 <i>Reduction Coefficient <math>n_c</math></i> .....	56
Tabel 4.3 Tabel perhitungan profil T .....	57
Tabel 4.4 Distribusi beban tekanan .....	71
Tabel 4.5 Detail material <i>ASTM 36 Steel</i> .....	77
Tabel 4.6 Detail material <i>Grey Cast Iron Steel</i> .....	78
Tabel 4.7 Tabel Hasil Simulasi Pengujian .....	82
Tabel 4.8 Tabel perhitungan berat total konstruksi <i>transverse plane watertight bulkhead</i> .....	94
Tabel 4.9 Tabel perhitungan berat total konstruksi <i>corrugated watertight bulkhead</i> .....	97
Tabel 4.10 Perbandingan hasil FOS dengan berat konstruksi ...	105

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konstruksi Melintang Pada Wrang Terbuka .....	6
Gambar 2.2 Konstruksi Melintang Pada Wrang Pelat.....	7
Gambar 2.3 Konstruksi Membujur Pada Wrang Terbuka .....	9
Gambar 2.4 Konstruksi Membujur Pada Wrang Pelat .....	10
Gambar 2.5 Konstruksi Campuran Pada Wrang Terbuka .....	11
Gambar 2.6 Konstruksi Campuran Pada Wrang Pelat .....	12
Gambar 2.7 Sekat <i>Transverse Watertight</i> .....	15
Gambar 2.8 Penampang tengah kapal pada sistem konstruksi membujur .....	20
Gambar 2.9 Kontruksi Sekat Bergelombang.....	21
Gambar 2.10 <i>Element of corrugated bulkhead</i> .....	23
Gambar 2.11 Macam-macam Sekat Bergelombang .....	24
Gambar 2.12 Tegangan yang Timbul Pada Penampang A-A .....	26
Gambar 2.13 Batang Prismatic yang Dibebani Gaya Aksial .....	26
Gambar 2.14 Komponen-Komponen Tegangan Normal dan Geser dari Tegangan .....	28
Gambar 2.15 Tegangan Tarik.....	29
Gambar 2.16 Tegangan Tekan .....	29
Gambar 2.17 Tegangan Geser .....	30
Gambar 2.18 Tegangan Lengkung .....	31
Gambar 2.19 Tegangan Puntir.....	31
Gambar 2.20 Persiapan Instalasi Pipa di Galangan PT. DPS .....	36
Gambar 4.1 Profil <i>bulp plate</i> ukuran 180 x 9.....	51
Gambar 4.2 Perencanaan ukuran <i>bracket</i> .....	54
Gambar 4.3 Profil T.....	56
Gambar 4.4 Perencanaan ukuran <i>stringer</i> .....	58
Gambar 4.5 Gambar <i>transverse plane watertight bulkhead</i> yang direncanakan .....	60
Gambar 4.6 Elemen dari sekat melintang bergelombang.....	64
Gambar 4.7 Gambar <i>corrugated watertight bulkhead</i> yang direncanakan .....	65

Gambar 4.8 Sket konstruksi <i>transverse plane watertight bulkhead</i>	74
Gambar 4.9 Sket komponen <i>transverse plane watertight bulkhead</i>	74
Gambar 4.10 Model <i>transverse plane watertight bulkhead</i>	75
Gambar 4.11 Sket konstruksi <i>corrugated watertight bulkhead</i>	75
Gambar 4.12 Sket komponen <i>corrugated watertight bulkhead</i>	76
Gambar 4.13 Model <i>corrugated watertight bulkhead</i>	76
Gambar 4.14 <i>Fixtures</i> pada <i>transverse plane watertight bulkhead</i>	79
Gambar 4.15 <i>Fixtures</i> pada <i>transverse plane watertight bulkhead</i>	79
Gambar 4.16 Letak beban pressure ( $P_x$ ) pada <i>transverse plane watertight bulkhead</i>	80
Gambar 4.17 Letak beban $P_y$ pada <i>transverse plane watertight bulkhead</i>	81
Gambar 4.18 Letak beban pressure ( $P_x$ ) pada <i>corrugated watertight bulkhead</i>	81
Gambar 4.19 Letak beban $P_y$ pada <i>corrugated watertight bulkhead</i>	82
Gambar 4.20 Grafik perbedaan nilai tegangan	83
Gambar 4.21 Analisa tegangan pada konstruksi <i>transverse plane watertight bulkhead</i>	84
Gambar 4.22 Detail daerah dengan tegangan maksimum <i>transverse plane watertight bulkhead</i>	84
Gambar 4.23 Analisa tegangan pada konstruksi <i>corrugated watertight bulkhead</i>	85
Gambar 4.24 Detail daerah dengan tegangan maksimum <i>corrugated watertight bulkhead</i>	85
Gambar 4.25 Analisa <i>displacement</i> pada konstruksi <i>transverse plane watertight bulkhead</i>	87
Gambar 4.26 Analisa <i>displacement</i> pada konstruksi <i>corrugated watertight bulkhead</i>	88
Gambar 4.27 Analisa regangan ( <i>strain</i> ) pada konstruksi <i>transverse plane watertight bulkhead</i>	89

Gambar 4.28 Analisa regangan ( <i>strain</i> ) pada konstruksi <i>corrugated watertight bulkhead</i> .....	90
Gambar 4.29 Grafik tegangan-regangan kedua konstruksi sekat	90
Gambar 4.30 Analisa <i>factor of safety</i> pada konstruksi <i>transverse plane watertight bulkhead</i> .....	92
Gambar 4.31 Analisa <i>factor of safety</i> pada konstruksi <i>corrugated watertight bulkhead</i> .....	92
Gambar 4.32 Pemberian nama komponen konstruksi sekat kedap berpenegar .....	93
Gambar 4.33 Pemberian nama komponen konstruksi sekat kedap bergelombang .....	96
Gambar 4.34 Total berat masing-masing konstruksi sekat.....	98
Gambar 4.35 Tegangan konstruksi dengan penambahan <i>stiffener</i> .....	100
Gambar 4.36 <i>Displacement</i> pada konstruksi dengan penambahan <i>stiffener</i> .....	100
Gambar 4.37 Regangan pada konstruksi dengan penambahan <i>stiffener</i> .....	101
Gambar 4.38 FOS pada konstruksi dengan penambahan <i>stiffener</i> .....	101
Gambar 4.39 Tegangan konstruksi dengan penebalan pelat .....	103
Gambar 4.40 <i>Displacement</i> konstruksi dengan penebalan pelat.....	103
Gambar 4.41 Regangan konstruksi dengan penebalan pelat .....	104
Gambar 4.42 FOS konstruksi dengan penebalan pelat.....	104

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kapal adalah media atau sarana transportasi laut yang banyak digunakan untuk mengangkut penumpang dan barang dari satu tempat ke tempat yang lain. Kapal dituntut untuk mampu tetap beroperasi dan bertahan dengan daya tahan yang tinggi dalam waktu yang relatif lama serta dalam lingkungan yang cepat berubah. Bentuk dan konstruksi kapal mempunyai fungsi tertentu sesuai dengan jenis muatan yang dibawa, bahan baku kapal dan operasi (pelayaran) kapal. Kapal pembawa muatan digolongkan menjadi tiga bagian yaitu: kapal kargo, kapal tangki dan kapal penumpang. Kapal tangki adalah kapal yang khusus digunakan untuk mengangkut minyak, diantaranya minyak mentah, minyak hasil penyulingan gas alam cair dan lain sebagainya.

Sistem konstruksi kapal pada umumnya dibedakan menjadi tiga bagian yaitu sistem konstruksi melintang (*transverse framing system*), sistem konstruksi membujur (*longitudinal framing system*) dan sistem konstruksi kombinasi/ campuran (*mixed/ combination framing system*). Konstruksi kapal terdiri dari badan kapal yang terdiri dari beberapa bagian komponen utama, diantaranya lunas (*keel*), dasar ganda (*double bottom*), gading-gading (*frame*), sekat kedap air (*watertight bulkhead*) dan beberapa geladak (*deck*). Lunas merupakan penguat membujur yang terletak ditengah-tengah kapal. Dasar ganda merupakan bagian konstruksi dari sebuah kapal yang berfungsi untuk membatasi bahaya kebocoran apabila kapal mengalami kebocoran pada bagian bawah kapal. Gading merupakan kerangka dari lambung kapal yang berfungsi sebagai penguatan bagian sisi lambung kapal, berupa pelat/ penegar yang dilas dengan pelat sisi kapal. Sekat kedap air merupakan sekat yang membatasi atau membagi kapal menjadi beberapa bagian kompartemen, kedap terhadap air di bawah suatu tekanan tertentu.



Biasanya Persoalan utama dalam konstruksi kapal ialah membuat suatu konstruksi yang kokoh dan kuat dengan berat konstruksi yang seringan mungkin. Karena dengan konstruksi yang kuat tetapi ringan, maka kita akan mendapatkan daya muat yang besar sehingga hal ini akan menguntungkan. Pada kapal niaga akan dapat mengangkut muatan yang lebih besar, sedangkan pada kapal perang akan memungkinkan penambahan kecepatan kapal dan jarak jelajah kapal akan menjadi lebih besar.

Dengan berkembangnya teknologi dibidang konstruksi kapal, pemilihan desain dan material merupakan sesuatu hal yang sangat dipertimbangkan oleh perusahaan galangan kapal dalam perancangan dan pembuatan kapal baru. Salah satunya adalah sekat kedap air. Pada kapal tangki muatan, sekat kedap air merupakan sekat pemisah antar muatan satu dengan muatan lainnya. Sekat kedap ini terbagi menjadi dua bagian, yaitu sekat kedap melintang dan sekat kedap membujur. Biasanya paling sering dijumpai adalah sekat kedap melintang (*transverse plane watertight bulkhead*) yang terdiri dari pelat berpenegar/ pelat yang diberi penguat penegar/ *stiffener*. Beberapa tahun belakangan sudah banyak kapal yang menggunakan sekat kedap bergelombang (*corrugated watertight bulkhead*), khususnya kapal tanker. Perubahan penggunaan komponen konstruksi tersebut akan berpengaruh terhadap komponen lainnya, pasti ada kekurangan dan kelebihan masing-masing dari kedua sekat kedap tersebut.

Berdasarkan uraian di atas maka penulis memilih judul “Analisa Perbandingan Kekuatan Konstruksi *Corrugated Watertight Bulkhead* dengan *Transverse Plane Watertight Bulkhead* Pada Pemasangan Pipa di Ruang Muat Kapal Tanker.”

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah penulis uraikan sebelumnya maka rumusan permasalahan yang timbul adalah:

1. Bagaimanakah karakteristik tegangan pada konstruksi *corrugated watertight bulkhead* dan *transverse plane watertight bulkhead*?
2. Dimanakah letak daerah paling kritis pada konstruksi *corrugated watertight bulkhead* dan *transverse plane watertight bulkhead* yang ditembus pipa?
3. Berapa nilai *strain*, *displacement*, *factor of safety* dari konstruksi sekat *corrugated watertight bulkhead* dan *transverse plane watertight bulkhead*?
4. Bagaimana perbandingan berat konstruksi *corrugated watertight bulkhead* dan *transverse plane watertight bulkhead*?
5. Bagaimana efisiensi kedua sekat tersebut berdasarkan keuntungan dan kerugian masing-masing?

### 1.3 Tujuan

Dari permasalahan yang dikemukakan, maka tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah untuk mengetahui perbandingan efisiensi *corrugated watertight bulkhead* dan *transverse plane watertight bulkhead* dari segi kekuatan konstruksi dan berat konstruksi dari masing-masing sekat tersebut.

### 1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diambil dalam analisa penelitian ini adalah;

a. Manfaat bagi peneliti

Untuk menambah wawasan akan pengetahuan tentang perbedaan *corrugated watertight bulkhead* dan *transverse plane watertight bulkhead*.

- b. Manfaat bagi perusahaan  
Dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam mengambil keputusan pemilihan material yang lebih efisien.
- c. Manfaat bagi pembaca  
Untuk menambah wawasan informasi dan wawasan berfikir mengenai konstruksi kapal dalam pembangunan kapal baru.
- d. Manfaat bagi ilmu pengetahuan  
Untuk mengetahui gambaran umum penggunaan *corrugated watertight bulkhead* dan *transverse plane watertight bulkhead*.

### 1.5 Batasan Masalah

Arah pembahasan dalam penelitian ini diharapkan tidak mengalami penyimpangan dan terhindar dari pembahasan yang terlalu luas, maka ruang lingkup atau dalam pembahasan masalah, penulis hanya membatasi pada:

1. Kapal yang dianalisa adalah kapal tanker 6500 LTDW yang dibangun di PT. Dok dan Perkapalan Surabaya.
2. Sekat yang digunakan sebagai perhitungan dan analisis data adalah sekat diantara *Cargo Oil Tank (COT) 3* dan *COT 4*.
3. Pengujian kekuatan konstruksi dilakukan dengan simulasi menggunakan program/ *software solid work*.
4. Pengujian dan analisa dilakukan dengan kondisi muatan seimbang.
5. Gaya *sloshing* diabaikan.
6. Perhitungan konstruksi sekat dilakukan berdasarkan aturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).
7. Perhitungan berat yang dilakukan hanya berat sekat dan komponen penunjangnya (misal: *stiffener* dan *bracket*), berat komponen lain diabaikan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Sistem Konstruksi Kapal**

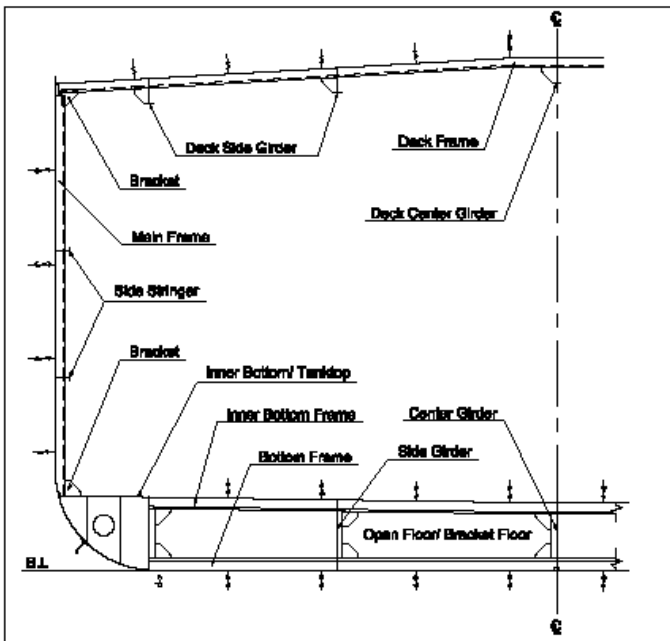
Sistem kerangka/ konstruksi kapal dibedakan dalam dua jenis utama; yaitu sistem kerangka melintang dan sistem membujur atau memanjang. Dari kedua sistem utama ini maka dikenal pula sistem kombinasi. Suatu kapal dapat seluruhnya dibuat dengan sistem melintang, atau hanya bagian-bagian tertentu saja (misalnya kamar mesin dan ceruk-ceruk) yang dibuat dengan sistem melintang sedangkan bagian utamanya dengan sistem membujur atau kombinasi; atau seluruhnya dibuat dengan sistem membujur.

Pemilihan jenis sistem untuk suatu kapal sangat ditentukan oleh ukuran kapal (dalam hal ini panjangnya sehubungan dengan kebutuhan akan kekuatan memanjang), jenis/fungsi kapal menjadikan dasar pertimbangan-pertimbangan lainnya. Untuk mengenali apakah suatu kapal, atau bagian dari badan kapal dibuat dengan sistem melintang atau membujur dapat dilihat pada panel-panel pelatnya (panel pelat adalah bidang pelat yang dibatasi oleh penumpu-penumpunya). Jika sisi-sisi panjang panel-panel pelat berada pada posisi muka-belakang (sesuai arah hadap kapal) maka sistem yang dipakai pada bagian yang bersangkutan adalah sistem melintang, sebaliknya jika sisi-sisi pendek berada pada posisi muka-belakang maka sistem yang dipakai adalah sistem membujur. Sistem kombinasi diartikan bahwa alas dan geladak dibuat dengan sistem membujur sedangkan sisi-sisi kapal dibuat dengan sistem melintang.

Kekuatan kapal dapat ditingkatkan dengan memberi tambahan pada komponen-komponen konstruksi, menambah ukuran, ketebalan pelat dan bagian-bagian struktur kapal, memberikan konsekuensi meningkatnya biaya pembangunan dan mengurangi volume ruangan.

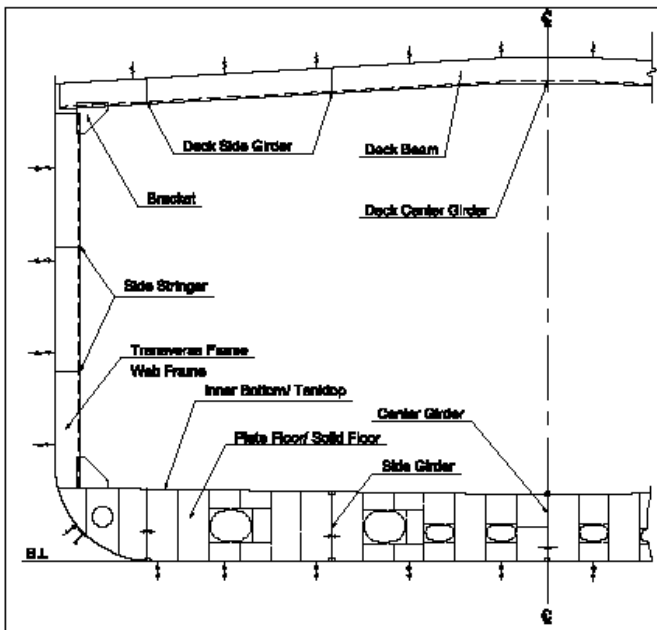
### 2.1.1 Sistem Kontruksi Melintang (*Transverse Framing System*)

Sistem konstruksi yang mana beban yang bekerja diterima oleh pelat kulit dan selanjutnya diteruskan oleh balok melintang kapal ke hubungan kaku/ balok-balok membujur kapal. Jarak antar komponen membujur lebih lebar namun memiliki ketinggian yang cukup, jarak antar komponen melintang lebih rapat dan menerus. Fungsi utama konstruksi melintang ini adalah untuk mengatasi beban hidrostatis yang dialami kapal. Sistem konstruksi melintang digunakan untuk kapal yang memiliki panjang kurang dari 300 f t atau 90 m eter. (Dinariyana dan Soemartojo; 2011)



Gambar 2.1 Konstruksi Melintang Pada Wrang Terbuka

Pada wrang terbuka (*open floor*) terdapat gading alas (*bottom frame*) dan gading balik (*reverse frame*) yang berfungsi untuk mengatasi tekanan hidrostatis, gelombang, *impact* dan lain-lain. Sedangkan untuk penguatan membujur terdapat lambung kapal, dinding sekat membujur, penumpu tengah (*center girder*), *deck center girder*, serta (*stringer*) dan lunas dalam tengah (pada konstruksi alas tunggal).



Gambar 2.2 Konstruksi Melintang Pada Wrang Pelat

Kebaikan sistem konstruksi melintang adalah menghasilkan konstruksi yang sederhana, mudah dalam pembangunan, adanya gading-gading utama (*web frames*) akan memberikan kekuatan melintang kapal yang lebih baik, sedangkan kekurangan sistem konstruksi melintang adalah modulus penampang melintang kecil akibat tidak adanya balok melintang yang tidak terpotong,

kestabilan pelat kulit lebih kecil, diperuntukkan pada kapal-kapal berukuran pendek yang mana kekuatan membujur kapal tidak terlalu besar.

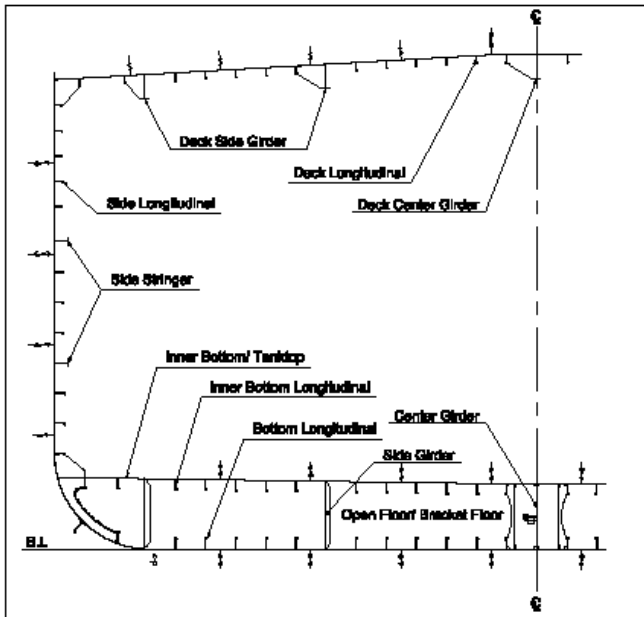
### **2.1.2 Sistem Kontruksi Membujur (*Longitudinal Framing System*)**

Sistem konstruksi membujur adalah sistem konstruksi yang mempunyai penguatan longitudinal dari balok-balok atau penegar. Beban yang diterima konstruksi membujur diteruskan pada hubungan-hubungan kaku melintang (*transverse bulkheads*) melalui balok-balok membujur. Balok-balok melintang tetap diperlukan namun fungsi utama bukan sebagai penahan balok-balok membujur.

Fungsi dari komponen konstruksi membujur adalah untuk mengatasi tegangan lengkung membujur (*longitudinal bending stress*) akibat *sagging* dan *hogging*. Tipikal panjang gelombang di samudera adalah 300 ft. Kapal yang memiliki panjang lebih dari 300 ft (90 meter) cenderung memiliki komponen konstruksi membujur lebih banyak dibandingkan dengan komponen melintang. Jarak antar pembujur (*longitudinals*) lebih rapat, Jarak antar gading (*frames*)/ pelintang (*transverses*) lebih lebar.

Dalam sistem ini gading-gading utama tidak dipasang vertikal, tetapi dipasang membujur pada sisi kapal dengan jarak antara, diukur ke arah vertikal, sekitar 700 mm-1000 mm. gading-gading ini (pada sisi) dinamakan pembujur sisi (*side longitudinal*). Pada setiap jarak tertentu (sekitar 3-5 meter) dipasang gading-gading besar, sebagaimana gading-gading besar pada sistem melintang, yang disebut pelintang sisi (*side transverse*). Pada alas dan alas dalam juga dipasang pembujur-pembujur seperti pembujur-pembujur sisi tersebut di atas dengan jarak antara yang sama pula seperti jarak antara pembujur-pembujur sisi. Pembujur-pembujur ini dinamakan pembujur-pembujur alas (*bottom longitudinal*) dan, pada alas dalam dinamakan pembujur alas dalam (*inner bottom longitudinal*).

Pada alas juga dipasang wrang-wrang, dan dihubungkan pada pelintang-pelintang sisi.



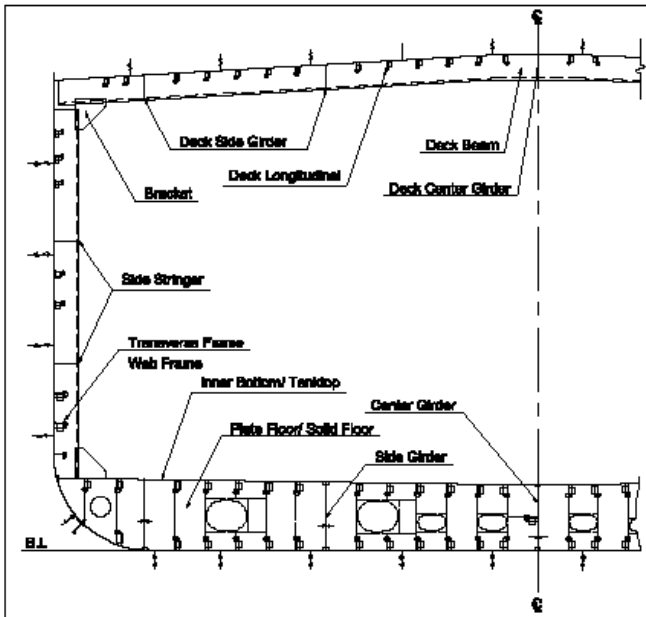
Gambar 2.3 Konstruksi Membujur Pada Wrang Terbuka

Tetapi umumnya tidak pada tiap pelintang sisi; yaitu setiap dua, atau lebih, pelintang sisi. Wrang-wrang pada sistem membujur juga dinamakan pelintang alas (*bottom transverse*). Penumpu tengah dan penumpu samping sama halnya seperti pada sistem melintang.

Pada geladak juga dipasang pembujur-pembujur seperti halnya pembujur-pembujur yang lain tersebut di atas. Pembujur-pembujur ini dinamakan pembujur geladak (*deck longitudinal*). Balok-balok geladak dengan bilah yang besar dipasang pada setiap pelintang sisi; dan disebut pelintang geladak (*deck transverse*). Konstruksi lainnya (penumpu geladak, sekat, dsb.)



sama seperti halnya pada sistem melintang. Dengan demikian terlihat bahwa dalam sistem membujur elemen-elemen kerangka yang dipasang membujur jauh lebih banyak jumlahnya daripada yang merupakan penguatan melintang.

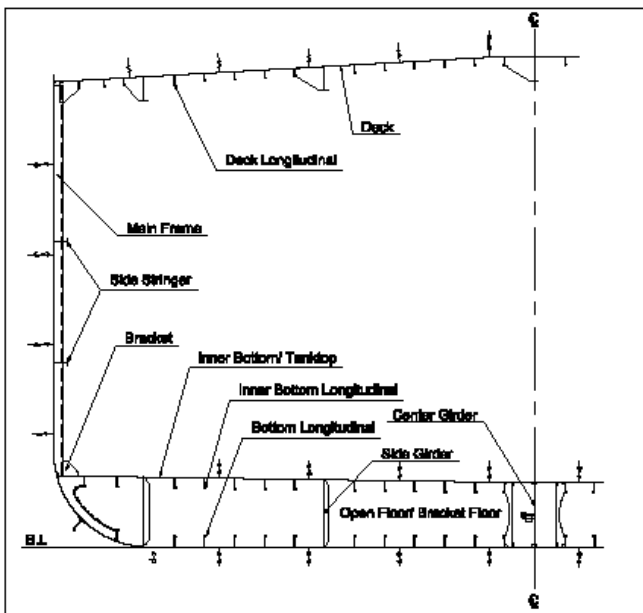


Gambar 2.4 Konstruksi Membujur Pada Wrang Pelat

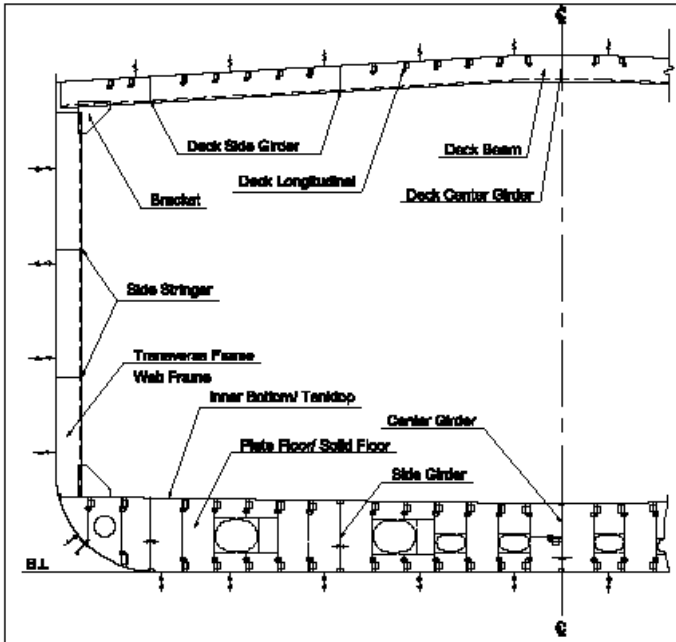
Kebaikan sistem konstruksi membujur yaitu dengan adanya balok-balok pembujur yang menerus, akan memperbesar modulus penampang melintang. Balok-balok pembujur pada pelat dasar memberikan kekakuan pada konstruksi tersebut. Kekurangan sistem konstruksi membujur yaitu kesulitan dalam pembangunan (Dinaryana dan Soemartojo; 2011).

### 2.1.3 Sistem Kontruksi Campuran/ kombinasi (*Mixed/ Combined Framing System*)

Sistem konstruksi campuran/ kombinasi ini merupakan sistem konstruksi gabungan dari sistem melintang dan sistem membujur. Dalam sistem ini geladak dan alas dibuat menurut sistem membujur sedangkan sisinya menurut sistem melintang. Jadi, sisi-sisinya diperkuat dengan gading-gading melintang dengan jarak antara yang rapat seperti halnya dalam sistem melintang, sedangkan alas dan geladaknya diperkuat dengan pembujur-pembujur. Dengan demikian maka dalam mengikuti peraturan klasifikasi sisi-sisi kapal mengacu pada ketentuan yang berlaku untuk sistem melintang, sedangkan alas dan geladaknya mengikuti ketentuan yang berlaku untuk sistem membujur, untuk hal-hal yang memang diperlukan secara terpisah.



Gambar 2.5 Konstruksi Campuran Pada Wrang Terbuka



Gambar 2.6 Konstruksi Campuran Pada Wrang Pelat

Jadi dengan demikian daerah yang mendapat pembebanan tarik dan tekan yang paling besar, yakni di alas dan di geladak system kerangka memanjang kapal, sedangkan untuk daerah yang terutama mendapat pembebanan geser yaitu pelat sisi dan sekat digunakan system kerangka melintang kapal. Dilihat dari karakteristik beban yang bekerja pada kapal, dapat dilakukan pengelompokan sebagai berikut:

1. Beban statis yaitu, beban yang bersifat tetap; misalnya beban dari berat kapal dan beban dari gaya tekan ke atas.
2. Beban dinamis dengan frekuensi rendah yaitu beban yang timbul dalam tenggang waktu beberapa saat dengan frekuensi getaran yang cukup rendah dibandingkan dengan frekuensi getaran lambung kapal.

3. Beban dinamis berfrekuensi tinggi yaitu, beban yang berubah-ubah dengan frekuensi yang cukup tinggi dan dapat menimbulkan tegangan pada konstruksi kapal; misalnya beban hidrodinamis yang disebabkan oleh putaran propeller di kapal dan adanya putaran motor penggerak kapal.

## **2.2 Konstruksi Sekat**

Pemasangan sekat melintang dapat dijumpai pada semua tipe kapal dan menjadi persyaratan Biro Klasifikasi, sedangkan untuk memanjang umumnya hanya dijumpai pada kapal-kapal tertentu saja. Misalnya kapal pengangkut muatan cair, dan kapal pengangkut muatan curah.

Sekat-sekat pada bangunan kapal ditinjau dari fungsinya dapat digolongkan menjadi beberapa golongan, yaitu sekat kedap air (tidak tembus air), sekat kedap minyak (tidak tembus minyak), sekat biasa yang hanya digunakan untuk membagi ruang bagi keperluan akomodasi, dan sekat berlubang untuk mengatasi permukaan bebas zat cair. Dari keempat jenis tersebut, sekat kedap air merupakan jenis sekat yang paling penting, kalau ada kapal bermuatan minyak, sekat kedap minyak yang memegang peranan utama.

Sekat kedap air mempunyai tiga fungsi utama, yaitu membagi badan kapal menjadi ruangan-ruangan yang kedap air, menambah kekuatan melintang kapal, dan mencegah menjalarnya api saat terjadi kebakaran.

### **2.2.1 Sekat Melintang Kedap Air (*Transverse Watertight Bulkhead*)**

Sekat melintang kedap air adalah sekat kedap yang membagi kapal menjadi beberapa komponen, pembagiannya dilakukan secara melintang tegak lurus dengan *centerline* kapal. Peraturan tentang jumlah sekat melintang kedap air (*Transverse*

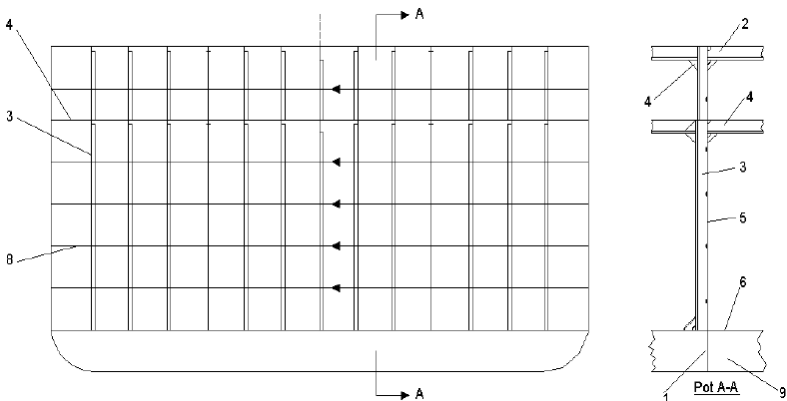
*Watertight Bulkhead*) pada kapal-kapal tercantum dalam buku peraturan Biro Klasifikasi. Pada kapal-kapal paling sedikit harus mempunyai tiga sekat untuk kamar mesin yang terletak di belakang atau empat sekat untuk kamar mesin yang sekat depan kamar mesin, sekat belakang kamar mesin, dan sekat buritan. Untuk kapal dengan kamar mesin di belakang sekat buritan dapat menggantikan sekat belakang kamar mesin. Banyaknya sekat kedap air yang harus dipasang pada kapal tergabung pada panjang ketidaktenggelaman (*floodable leght*) atau peraturan yang diberikan Biro Klasifikasi yang tergantung pada panjang kapal.

Jarak sekat melintang kedap air sedapat mungkin dibuat sama dan tidak perlu kurang dari lebar kapal. Untuk kapal-kapal pengangkut muatan berat (misalnya biji tambang) panjang ruang muat tidak boleh melebihi 30 m eter. Sekat melintang yang membatasi tangki ceruk haluan dan ruang muat disebut sekat ceruk haluan dan pada umumnya disebut sekat tubrukan. Disebut sekat tubrukan karena berfungsi untuk melindungi bagian haluan kapal jika bertubrukan dengan benda lain. Letak sekat ini ditentukan oleh Biro Klasifikasi dan merupakan fungsi panjang kapal.

Tabel 2.1 Jumlah *Watertight Transverse Bulkhead*  
(Sumber: BKI Vol. II Section 11 A.1.2, 2014)

L [m]	<i>Arrangement of machinery space</i>	
	<i>aft</i>	<i>elsewhere</i>
$L \leq 65$	3	4
$65 \leq L \leq 85$	4	4
$85 \leq L \leq 105$	4	5
$105 \leq L \leq 125$	5	6
$125 \leq L \leq 145$	6	7
$145 \leq L \leq 165$	7	8
$165 \leq L \leq 185$	8	9
$L > 185$	<i>to be special considered</i>	

Sekat melintang kedap air yang dipasang pada bagian buritan kapal disebut sekat buritan, karena selain untuk membatasi tangki ceruk buritan dan ruang muat ruang mesin juga berfungsi sebagai pegangan ujung depan tabung poros baling-baling. Sekat tabung buritan umumnya diletakkan paling sedikit pada jarak tiga kali jarak gading, diukur dari ujung dengan boss poros baling-baling. Sekat melintang yang lain adalah sekat yang membatasi kamar mesin dengan ruang muat.



(Sumber: Indra Kusna Djaya, Teknik Konstruksi Kapal Baja, 2008)

Gambar 2.7 Sekat Transverse Watertight

- |                    |                          |
|--------------------|--------------------------|
| 1. Lutut           | 6. Dasar ganda           |
| 2. Penumpu geladak | 7. Wrang kedap air       |
| 3. Penegar sekat   | 8. Sambungan pelat sekat |
| 4. Geladak kedua   | 9. Penumpu samping       |
| 5. Sekat kedap air |                          |

Pada umumnya sekat-sekat dibuat dari beberapa lajur pelat yang disusun secara mendatar sampai geladak lambung timbul. Untuk penguatan pelat sekat dipasang penegar-penegar yang

dipasang secara mendatar. Di samping itu sekat melintang dapat pula dibuat dari pelat bergelombang tanpa penegar (*corrugated watertight bulkhead*). Ukuran ketebalan pelat dan ukuran profil yang ditentukan oleh peraturan Biro Klasifikasi adalah sebagai berikut.

Berdasarkan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) Volume II 2014 Section 11, tebal pelat sekat melintang kedap air tidak boleh kurang dari :

$$t = C_p \cdot a \sqrt{p} + t_k \quad [\text{mm}]$$

$$t_{\min} = 6,0 \cdot \sqrt{f} \quad [\text{mm}]$$

dimana:

$C_p$  = Koefisien pelat yang bergantung pada jenis sekat.

$C_p = 1,1 \sqrt{f}$  untuk sekat tubrukan

$C_p = 0,9 \sqrt{f}$  untuk sekat lainnya

$a$  = Jarak antar penegar [m]

$p$  =  $9,81 \cdot h$  [ $\text{kN/m}^2$ ]

$h$  = Tinggi, dalam m air tawar.

Untuk tinggi tekanan dimaksudkan jarak dari pertengahan panjang penegar yang tidak ditumpu sampai 1,0 m diatas pinggir geladak sekat.

$$f = \frac{235}{R_{eH}}$$

$R_{eH}$  = *Minimum nominal upper yield point* [ $\text{N/mm}^2$ ]

$t_k$  = Faktor korosi yang bergantung pada ketebalan pelat. (Tabel 2.3)

(BKI Vol II, 2014 Section 11)

Tabel 2.2 Faktor material k  
(Sumber: BKI Vol II, 2014 Section 2 B.2.1)

$R_{cH}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	k
315	0,78
355	0,72
390	0,66

Tabel 2.3 Minimum corrosion addition  
(Sumber: BKI Vol II, 2014 Section 3 K.2)

Area	$t_{Kmin}$ [mm]
In ballast tanks where the weather deck forms the tank top, 1,5 m below tank top <sup>1)</sup> .	2,5
In cargo oil tanks where the weather deck forms the tank top, 1,5 m below tank top Horizontal members in cargo oil and fuels oil tanks.	2,0
Deck plating below elastically mounted deckhouses	3,0
Longitudinal bulkhead of ship assigned to the Notation G and exposed to grab operation	2,5
<sup>1)</sup> $t_K = 2,5$ mm for all structure within topside tanks of bulk carriers	

Tabel 2.4 Koefisien  $C_p$  dan  $C_s$   
(Sumber: BKI Vol II, 2014 Section 11 B.1.3)

Coefficient $C_p$ and $C_s$		Collision bulkhead	Other bulkheads
Plating	$C_p$	$1,1 \sqrt{f}$	$0,9 \sqrt{f}$
Stiffeners, corrugated bulkhead elements	$C_s$ ; in case of constraint of both ends	$0,33 \cdot f$	$0,256 \cdot f$
	$C_s$ ; in case of simply support of one end and constraint at the other end	$0,45 \cdot f$	$0,36 \cdot f$
	$C_s$ ; both ends simply supported	$0,66 \cdot f$	$0,53 \cdot f$
For the definition of "constraint" and "simply supported". See Section.3. D.1.			



Untuk kapal-kapal kecil, tebal pelat sekat tidak perlu lebih tebal dari pelat kulit. Hal ini berlaku untuk jarak gading sama dengan jarak penegar. Lebar lajur pelat sekat paling bawah sekurangkurangnya 900 mm dan lajur ini diteruskan ke atas sampai 300 mm di atas alas dalam. Pada sekat tabung buritan harus dilengkapi dengan pelat yang dipertebal padadaerah tabung buritan. Pada bagian lajur sekat paling bawah sebagai tambahan factor korosi, pelat harus 1 mm lebih tebal dari hasil perhitungan.

Ukuran penegar sekat ditentukan berdasarkan perhitungan modulus penampang penegar. Untuk itu, dipakai rumus di bawah ini, dengan modulus penampangnya tidak boleh kurang dari:

$$W = C_s \cdot a \cdot l^2 \cdot p \quad [\text{cm}^3]$$

dimana :

$l$  = Panjang yang tidak ditumpu [m]

$a$  = Jarak antar penegar [m]

$p$  =  $9,81 \cdot h$  [kN/m<sup>2</sup>]

$h$  = Tinggi dalam meter air tawar.

$C_s$  = Besar koefisien yang bergantung pada jenis tumpuan penegar dan jenis sekat (*Stiffener Coeffisien*). (Tabel 2.4)

(BKI Vol II, 2014 Section 11)

Jika sekat ceruk digunakan untuk tangki, modulus penampang penegar tidak boleh kurang dari:

$$W_1 = k \cdot 0,55 \cdot a \cdot l^2 \cdot p \quad [\text{cm}^3]$$

$$W_2 = k \cdot 0,44 \cdot a \cdot l^2 \cdot p \quad [\text{cm}^3]$$

Jika satu atau kedua ujung penegar ditumpu bebas, modulus penampang ditambah 50%. Penegar-penegar pelat sekat

dipasang dengan jarak sekitar 760 mm. Jarak penegar sekat datar dikurangi sampai 610 mm untuk sekat tubrukan dan kedap minyak. Ujung-ujung penegar dapat diikat dengan pelat lutut, dengan mengelaskan langsung pada geladak dan dasar ganda atau membiarkan penegar tanpa pengikatan kecuali penegar yang dihubungkan dengan penumpu geladak dan penumpu samping alas.

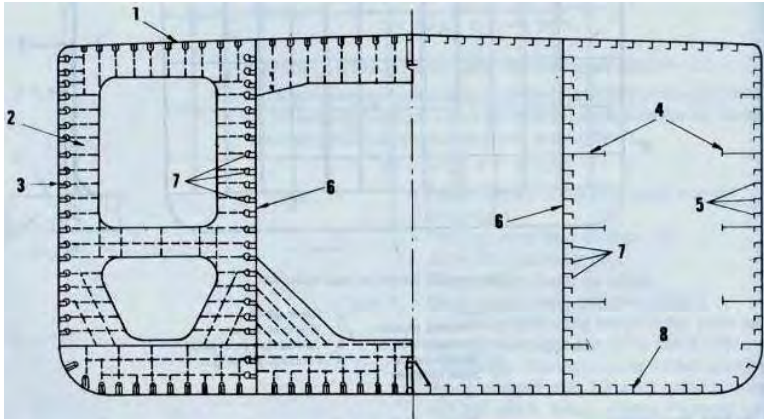
### **2.2.2 Sekat Membujur Kedap Air (*Longitudinal Watertight Bulkhead*)**

Sekat membujur kedap air adalah sekat kedap yang membagi kapal menjadi beberapa komponen, pembagiannya dilakukan secara membujur atau sejajar dengan *centerline* kapal. Dinding sekat membujur/ memanjang hanya dipasang pada jenis kapal-kapal tertentu saja, misalnya kapal tangki minyak, kapal muatan curah, dan kapal pengangkut biji-bijian. Sekat memanjang pada kapal tangki dan muatan curah selain untuk mengurangi luas permukaan bebas juga berfungsi untuk menambah kekuatan memanjang kapal. Luas permukaan bebas muatan cair dan muatan curah perlu diperkecil dengan pemasangan sekat memanjang karena permukaan zat cair atau muatan curah akan berubah dengan kemiringan kapal. Perubahan luas permukaan bebas yang cukup besar akan mengurangi stabilitas kapal tersebut, terutama pada kapal-kapal tanpa sekat memanjang.

Jenis sekat memanjang yang dipasang dapat berupa sekat rata/ sekat berpenegar atau sekat-sekat yang mempunyai konstruksi khusus seperti sekat bergelombang (*corrugated*). Susunan konstruksi pada sekat rata sama dengan susunan konstruksi pada lambung kapal. Jika lambung menggunakan gading-gading tegak, pada sekat memanjang dipasang penegar-penegar tegak.

Pada sistem konstruksi memanjang diperlukan senta sekat memanjang yang dihubungkan dengan senta mendatar untuk sekat melintang dan senta sisi untuk lambung kapal. Diperlukan

pula pelintang sisi pada sekat yang dihubungkan dengan pelintang pada geladak dan pelintang sisi pada lambung kapal. Palang pengikat menghubungkan antara pelintang sisi pada lambung dan pelintang sisi pada sekat.



(Sumber: Indra Kusna Djaya, *Teknik Konstruksi Kapal Baja*, 2008)

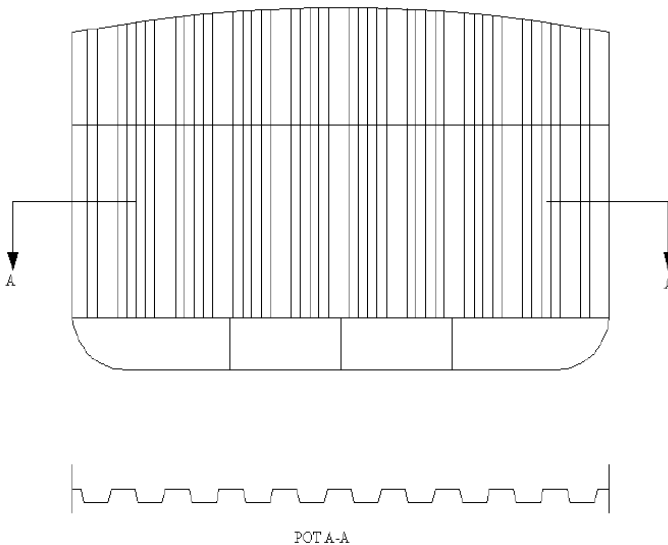
Gambar 2.8 Penampang tengah kapal pada sistem konstruksi membujur

- |                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| 1. Geladak        | 5. Pembujur sisi   |
| 2. Pelintang sisi | 6. Sekat memanjang |
| 3. Pelat sisi     | 7. Pembujur sekat  |
| 4. Senta          | 8. Pembujur alas   |

### 2.2.3 Sekat Bergelombang (*Corrugated Watertight Bulkhead*)

Dengan adanya muatan yang bermacam-macam jenisnya, diperlukan pembagian ruangan kapal yang makin efisien. Muatan minyak memerlukan tangki-tangki yang mudah untuk dibersihkan. Untuk itu dipakai sekat bergelombang (*corrugated bulkhead*), yaitu jenis sekat yang tidak memiliki penegar-penegar.

Sekat ini terdiri dari beberapa bagian elemen pelat yang mempunyai lekukan (gelombang) dan disambung dengan system pengelasan. Sudut-sudut elemen pelat gelombang ( $\alpha$ ) minimum 45°. ketebalan sekat bergelombang tidak boleh kurang dari persyaratan yang ditentukan untuk tebal pelat sekat rata karena pada sekat bergelombang tidak memiliki penegar. Untuk itu, jarak antara penegar  $a$  diambil nilai terbesar dari  $b$  atau  $f$  (dalam meter). Modulus penampang elemen sekat bergelombang ditentukan menurut rumus modulus penampang penegar sekat rata dengan mengganti nilai jarak penegar ( $a$ ) dengan elemen ( $e$ ) (dalam meter).



(Sumber: Indra Kusna Djaya, Teknik Konstruksi Kapal Baja, 2008)

Gambar 2.9 Kontruksi Sekat Bergelombang

Berdasarkan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) Volume II 2014 Section 11, tebal pelat sekat bergelombang tidak boleh kurang dari:

$$t = C_p \cdot a \sqrt{p} + t_k \quad [\text{mm}]$$

$$t_{\min} = 6,0 \cdot \sqrt{f} \quad [\text{mm}]$$

dimana:

$C_p$  = Koefisien pelat yang bergantung pada jenis sekat.

$C_p = 1,1 \sqrt{f}$  untuk sekat tubrukan

$C_p = 0,9 \sqrt{f}$  untuk sekat lainnya

$a$  =  $b$  atau  $s$  (diambil yang terbesar) [m]

$p$  =  $9,81 \cdot h$  [kN/m<sup>2</sup>]

$h$  = Tinggi, dalam m air tawar.

Untuk tinggi tekanan dimaksudkan jarak dari pertengahan panjang penegar yang tidak ditumpu sampai 1,0 m diatas pinggir geladak sekat.

$$f = \frac{235}{R_{eH}}$$

$R_{eH}$  = *Minimum nominal upper yield point* [N/mm<sup>2</sup>]

$t_k$  = Faktor korosi yang bergantung pada ketebalan pelat. (Tabel 2.3)

(BKI Vol II, 2014 Section 11)

Perhitungan modulus penampang sekat bergelombang bisa ditentukan dengan rumus yang sama pada perhitungan sekat melintang kepad air, hanya saja untuk nilai  $a$  merupakan lebar dari elemen sekat bergelombang atau biasa disebut  $e$  dalam meter. Modulus penampang sesungguhnya dari sekat bergelombang dapat juga ditetapkan dengan rumus berikut:

$$W = t \cdot d (b + s/3) \quad [\text{cm}^3]$$

dimana :

$e$  = width of element [cm]

$b$  = breadth of face plate [cm]

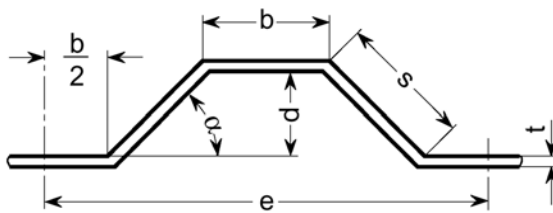
$s$  = breadth of web plate [cm]

$d$  = distance between face plates [cm]

$t$  = plate thickness [cm]

$\alpha \geq 45^\circ$

(BKI Vol II, 2014 Section 11)



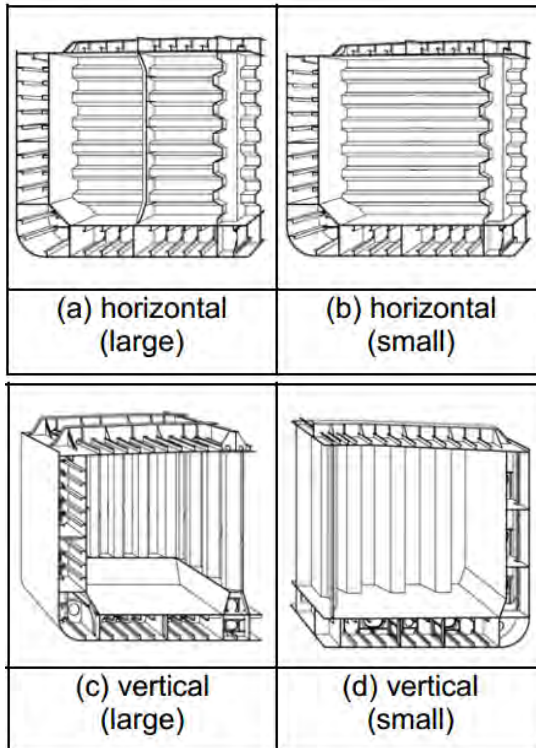
Gambar 2.10 *Element of corrugated bulkhead*

Nilai  $t$ ,  $d$ ,  $b$ ,  $s$  dan  $e$  (dalam meter) seperti ditunjukkan pada gambar sekat bergelombang.

Keuntungan pemakaian sekat bergelombang antara lain adalah:

- Penghematan berat yang relatif besar, bila dibandingkan dengan sekat rata berpenegar,
- Pengelasannya berkurang,
- Mempunyai konstruksi yang lebih sederhana,
- Sekat lebih mudah dibersihkan, terutama pada kapal-kapal tangki,
- Mempermudah pemuatan barang pada kapal-kapal kargo.

Sekat bergelombang dapat dikategorikan menjadi dua jenis utama. Salah satunya adalah sekat horizontal bergelombang atau “*horizontal corrugated bulkhead*” dan yang lainnya adalah sekat vertikal bergelombang atau “*Vertical Corrugated Bulkhead*” seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Macam-macam Sekat Bergelombang

Apabila tekukan sekat di kapal yang lebih besar terlalu panjang, *internal vertical webs* disediakan di sekat horizontal bergelombang. Sementara sekat horizontal bergelombang memungkinkan variasi ketebalan dalam arah kedalaman kapal

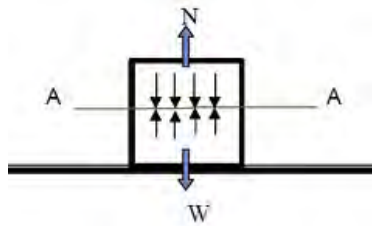
dan memungkinkan kapasitas tangki muatan maksimum, desain ini sering diterapkan untuk kapal *chemical oil tanker* dan *product oil tanker* yang membawa muatan terbatas pada persyaratan yang telah ditentukan. Dalam pengoperasian kapal tersebut, risiko kontaminasi muatan lebih rendah dan beberapa struktur internal dapat diterima. Tentu saja, jika web vertikal internal tidak diperlukan karena rentang tekukan lebih pendek, sekat horizontal bergelombang juga diterapkan pada kapal *chemical tanker* yang diperlukan untuk membawa berbagai macam produk lengkap dengan *cargo tank washing*.

Sementara itu juga tergantung pada fasilitas galangan kapal dan prosedur fabrikasi, sekat vertikal bergelombang cenderung digunakan daripada sekat horizontal. Sebenarnya, dari sekitar 700 kapal tanker yang memiliki sekat bergelombang dan baru terdaftar dengan klasifikasi 20 tahun terakhir (1990-2009), itu menegaskan bahwa sekitar 85% dari desain sekat bergelombang terdiri dari tipe vertikal bergelombang, sedangkan sisanya 15% terdiri dari sekat horizontal bergelombang.

### 2.3 Tegangan

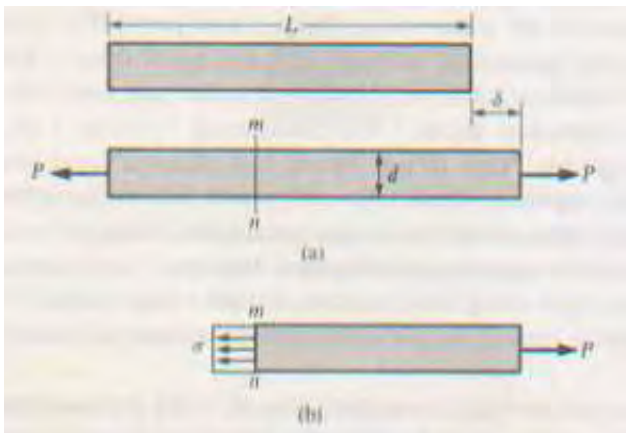
Pada umumnya tegangan adalah gaya dalam yang bekerja pada luasan yang kecil tak berhingga pada sebuah potongan dan terdiri dari bermacam-macam besaran dan arah. Hukum *Newton* pertama tentang aksi dan reaksi, bila sebuah balok terletak di atas lantai, balok akan memberikan aksi pada lantai, demikian pula sebaliknya lantai akan memberikan reaksi yang sama, sehingga benda dalam keadaan setimbang. Gaya aksi sepusat ( $F$  atau  $W$ ) dan gaya reaksi ( $F''$ ) dari bawah akan bekerja pada setiap penampang balok tersebut. Jika kita ambil penampang A-A dari balok, gaya sepusat ( $F$ ) yang arahnya ke bawah, dan di bawah penampang bekerja gaya reaksinya ( $F''$ ) yang arahnya ke atas. Pada bidang penampang tersebut, molekul-molekul di atas dan di bawah bidang penampang A-A saling tekan menekan, maka setiap satuan luas penampang menerima beban sebesar:  $F/A$ .





Gambar 2.12 Tegangan yang Timbul Pada Penampang A-A

Tegangan timbul akibat adanya tekanan, tarikan, bengkokan, dan reaksi. Pada pembebanan tarik terjadi tegangan tarik, pada pembebanan tekan terjadi tegangan tekan, begitu pula pada pembebanan yang lain.



Gambar 2.13 Batang Prismatik yang Dibebani Gaya Aksial

Konsep dasar dari tegangan dan regangan dapat diilustrasikan dengan meninjau sebuah batang prismatik yang dibebani gaya-gaya aksial (*axial forces*)  $P$  pada ujung-ujungnya. Sebuah batang prismatik adalah sebuah batang lurus yang memiliki penampang yang sama pada keseluruhan panjangnya. Untuk menyelidiki tegangan-tegangan internal yang ditimbulkan

gaya-gaya aksial dalam batang, dibuat suatu pemotongan garis khayal pada irisan mn (Gambar 2.13). Irisan ini diambil tegak lurus sumbu longitudinal batang. Karena itu irisan dikenal sebagai suatu penampang (cross section).

Intensitas gaya (yakni, gaya per satuan luas) disebut tegangan (*stress*) dan lazimnya ditunjukkan dengan huruf Yunani  $\sigma$  (*sigma*). Dengan menganggap bahwa tegangan terdistribusi secara merata pada seluruh penampang batang, maka resultannya sama dengan intensitas  $\sigma$  kali luas penampang A dari batang. Selanjutnya, dari kesetimbangan benda, besar resultan gayanya sama dengan beban P yang dikenakan, tetapi arahnya berlawanan. Sehingga diperoleh rumus:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

dimana:

$\sigma$  = Tegangan [N/m<sup>2</sup>]

F = Gaya Aksial [N]

A = Luas Penampang [m<sup>2</sup>]

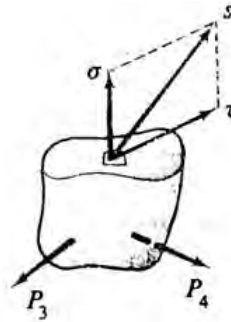
### 2.3.1 Tegangan Normal

Tegangan normal terjadi akibat adanya reaksi yang diberikan pada benda. Gaya yang tegak lurus atau normal terhadap irisan disebut tegangan normal (*normal stress*) pada sebuah titik. Jika gaya dalam diukur dalam N, sedangkan luas penampang dalam m<sup>2</sup>, maka satuan tegangan adalah N/m<sup>2</sup> atau dyne/cm<sup>2</sup>.

Gaya internal yang bekerja pada sebuah potongan dengan luasan yang sangat kecil akan bervariasi baik besarnya maupun arahnya. Pada umumnya gaya-gaya tersebut berubah-ubah dari suatu titik ke titik yang lain, umumnya berarah miring pada bidang perpotongan. Dalam praktek keteknikan intensitas gaya diuraikan menjadi tegak lurus dan sejajar dengan irisan. Tegangan

normal adalah intensitas gaya yang bekerja normal (tegak lurus) terhadap irisan yang mengalami tegangan, dan dilambangkan dengan  $\sigma$  (sigma).

Bila gaya-gaya luar yang bekerja pada suatu batang sejajar terhadap sumbu utamanya dan potongan penampang batang tersebut konstan, tegangan internal yang dihasilkan adalah sejajar terhadap sumbu tersebut. Gaya-gaya seperti itu disebut gaya aksial, dan tegangan yang timbul dikenal sebagai tegangan aksial.

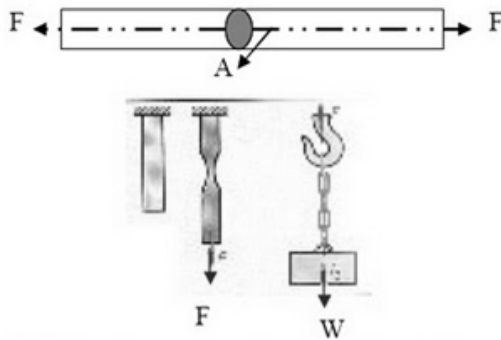


Gambar 2.14 Komponen-Komponen Tegangan Normal dan Geser dari Tegangan

### 2.3.2 Tegangan Tarik

Apabila sepasang gaya tarik aksial menarik suatu batang, dan akibatnya batang ini cenderung menjadi meregang atau bertambah panjang. Maka gaya tarik aksial tersebut menghasilkan tegangan tarik pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya.

Tegangan tarik pada umumnya terjadi pada rantai, tali, paku keling, dan lain-lain. Rantai yang diberi beban  $W$  akan mengalami tegangan tarik yang besarnya tergantung pada beratnya.

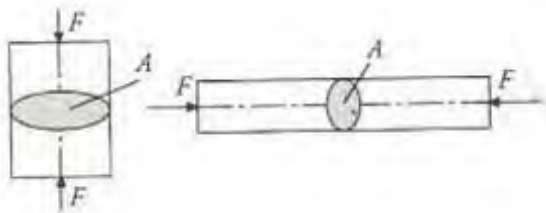


Gambar 2.15 Tegangan Tarik

### 2.3.3 Tegangan Tekan

Apabila sepasang gaya tekan aksial mendorong suatu batang, akibatnya batang ini cenderung untuk memperpendek atau menekan batang tersebut. Maka gaya tarik aksial tersebut menghasilkan tegangan tekan pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya.

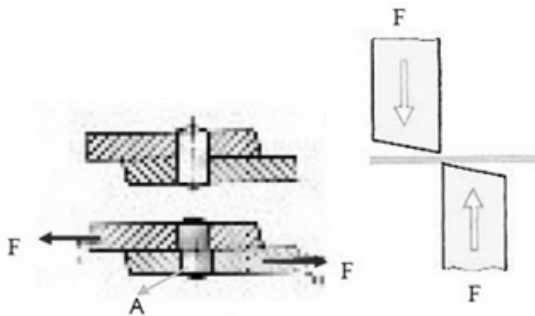
Tegangan tekan terjadi bila suatu batang diberi gaya  $F$  yang saling berlawanan dan terletak dalam satu garis gaya. Misalnya, terjadi pada tiang bangunan yang belum mengalami tekukan, porok sepeda, dan batang torak.



Gambar 2.16 Tegangan Tekan

### 2.3.4 Tegangan Geser

Tegangan geser terjadi jika suatu benda bekerja dengan dua gaya yang berlawanan arah, tegak lurus sumbu batang, tidak segaris gaya namun pada penampangnya tidak terjadi momen. Tegangan ini banyak terjadi pada konstruksi. Misalnya: sambungan keling, gunting, dan sambungan baut.

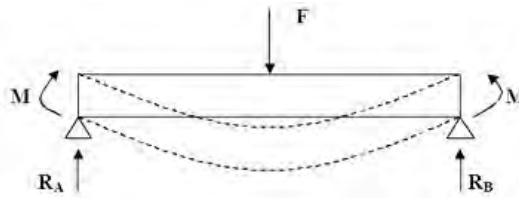


Gambar 2.17 Tegangan Geser

Tegangan geser terjadi karena adanya gaya radial  $F$  yang bekerja pada penampang normal dengan jarak yang relatif kecil, maka pelengkungan benda diabaikan. Untuk hal ini tegangan yang terjadi adalah Apabila pada konstruksi mempunyai  $n$  buah paku keling, maka sesuai dengan persamaan dibawah ini tegangan gesernya adalah

### 2.3.5 Tegangan Lengkung

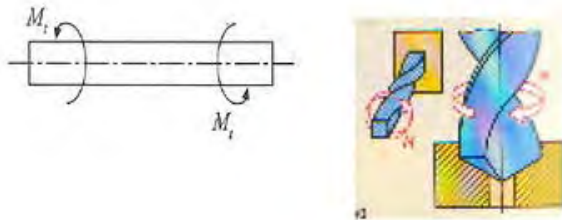
Tegangan lengkung adalah tegangan yang diakibatkan karena adanya gaya yang menumpu pada titik tengah suatu beban sehingga mengakibatkan benda tersebut seolah-olah melengkung. Misalnya, pada poros-poros mesin dan poros roda yang dalam keadaan ditumpu. Jadi, merupakan tegangan tangensial.



Gambar 2.18 Tegangan Lengkung

### 2.3.6 Tegangan Puntir

Tegangan puntir adalah tegangan yang diakibatkan oleh gaya putar. Tegangan puntir sering terjadi pada poros roda gigi dan batang-batang torsi pada mobil, juga saat melakukan pengeboran. Jadi, merupakan tegangan tangensial.



Gambar 2.19 Tegangan Puntir

### 2.4 Regangan

Regangan (*strain*) adalah bagian dari deformasi, yang dideskripsikan sebagai perubahan relatif dari partikel-partikel di dalam benda yang bukan merupakan benda kaku. Definisi lain dari regangan bisa berbeda-beda tergantung pada bidang apa istilah tersebut digunakan atau dari dan ke titik mana regangan terjadi.

Regangan merupakan ukuran mengenai seberapa jauh batang tersebut berubah bentuk. Tegangan diberikan pada materi dari arah luar, sedangkan regangan adalah tanggapan materi terhadap tegangan. Pada daerah elastis, besarnya tegangan berbanding lurus dengan regangan. Perbandingan antara tegangan dan regangan benda tersebut disebut modulus elastisitas atau modulus Young. Pengukuran modulus Young dapat dilakukan dengan menggunakan gelombang akustik, karena kecepatan jalannya bergantung pada modulus Young. Secara matematis dirumuskan:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

dimana:

$\varepsilon$  = Regangan (*strain*)

$L$  = Panjang benda [mm]

$\Delta L$  = Pertambahan panjang (*displacement*) [mm]

## 2.5 Factor of Safety (FoS)

*Factor of Safety (FoS)* atau Faktor keamanan adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik menerima beban dari luar, yaitu beban tekan maupun tarik. Gaya yang diperlukan agar terjadi tingkat optimal bahan di dalam menahan beban dari luar sampai akhirnya menjadi pecah disebut dengan beban *ultimate (ultimate load)*. Dengan membagi beban *ultimate* ini dengan luas penampang, kita akan memperoleh kekuatan *ultimate (ultimate strength)* atau tegangan *ultimate (ultimate stress)* dari suatu bahan. Untuk desain bagian-bagian struktur tingkat tegangan disebut tegangan ijin (*alloweble stress*) dibuat benar-benar lebih rendah daripada kekuatan *ultimate* yang diperoleh dari pengujian “statis”. Hal ini penting untuk berbagai pertimbangan. Besar gaya yang dapat bekerja pada bangunan yang dirancang jarang diketahui secara pasti. Karena tegangan

dikalikan luas sama dengan gaya, maka tegangan ijin dari *ultimate* dapat diubah dalam bentuk gaya atau beban yang diijinkan dan *ultimate* yang dapat ditahan oleh sebuah batang.

Faktor keamanan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain yaitu:

1. Variasi sifat-sifat bahan
2. Pengaruh ukuran dari bahan yang diuji kekuatannya
3. Jenis beban
4. Pengaruh waktu dan lingkungan dimana peralatan tersebut dioperasikan.

Suatu perbandingan (*ratio*) yang penting dapat ditulis:

$$\text{Factor of Safety} = \frac{\text{Material Strength}}{\text{Design Load}}$$

$$\text{FoS} = \frac{\sigma_y}{\sigma_a}$$

dimana:

FoS = *Factor of Safety*

$\sigma_y$  = Tegangan *ultimate*/ *Yield strength material* [N/m<sup>2</sup>]

$\sigma_a$  = Tegangan ijin/ Tegangan yang terjadi [N/m<sup>2</sup>]

## 2.6 Sifat-Sifat Material

Suatu material yang kaku tentunya memiliki fleksibilitas meskipun material tersebut terbuat dari baja. Material baja meskipun dibebani dengan beban yang besar tentunya akan memiliki nilai elastisitas walaupun kecil sehingga dapat merubah bentuknya secara perlahan. Kekakuan suatu material sangat penting dalam perancangan suatu komponen konstruksi, sebab kekakuan tersebut nantinya akan menimbulkan masalah akibat pembebanan yang besar. Untuk mengatasi hal tersebut tiap



material suatu komponen konstruksi memiliki nilai *Modulus Young* yang besarnya berbeda untuk tiap-tiap materialnya.

#### 1. Ketangguhan (*Toughness*)

Ketangguhan (*thoughness*) adalah kemampuan atau kapasitas bahan untuk menyerap energi sampai patah atau penahanan suatu material terhadap pecah menjadi dua, dengan suatu retakan melintang ini disebut "retak" serta menyerap energi. Jumlah energi yang diserap selama retak tergantung pada ukuran komponen yang pecah menjadi dua. Jumlah energi yang diserap setiap satuan luas dari retakan adalah tetap untuk material yang ditentukan dan ini disebut ketangguhan juga.

#### 2. Pemanjangan (*Elongation*)

Pemanjangan (*elongation*) sampai kegagalan (*failure*) adalah suatu ukuran keliatan suatu material, dengan kata lain adalah jumlah regangan yang dapat dialami oleh bahan sebelum terjadi kegagalan dalam pengujian tarik.

#### 3. Kepadatan (*Density*)

Kepadatan (*Density*) adalah suatu ukuran berapa berat suatu benda untuk ukuran yang ditentukan, yaitu massa material setiap satuan volume. Perubahan temperatur tidak secara mantap (signifikan) mempengaruhi kepadatan suatu material walaupun material bertambah luas ketika dipanaskan, perubahan ukuran adalah sangat kecil.

#### 4. Kelentingan (*Resilience*)

Kelentingan (*resilience*) adalah kemampuan material menyerap energi saat material mengalami deformasi *elastic*.

#### 5. Keliatan (*Ductility*)

Keliatan (*ductility*) adalah ukuran derajat deformasi plastis yang telah dialami saat patah. Material yang mengalami deformasi plastis yang tinggi disebut material yang liat (*ductile*). Sedang material yang mengalami sedikit atau tidak mengalami deformasi plastis disebut material getas (*brittle*).

## 2.7 Instalasi Pipa di Kapal

Pipa adalah suatu batang silinder berongga yang dapat berfungsi untuk dilalui atau mengalirkan zat cair, uap, gas ataupun zat padat yang dapat dialirkan yang berjenis serbuk/tepung. Untuk pembuatan pipa baja dapat dibuat dengan beberapa metode antara lain *seamless pipe*, *butt welded pipe* dan *spiral welded pipe*. Pembuatan pipa disesuaikan dengan kebutuhan dan dibedakan dari batas kekuatan tekanan, ketebalan dinding pipa, temperatur zat yang mengalir, jenis material berkaitan dengan korosi dan kekuatan pipa tersebut.

Penamaan pipa sering disebut dari jenis pipa dan ukuran pipa yaitu diameter pipa. Diameter pipa sendiri dibagi dua, yaitu diameter luar dan diameter dalam. Selain itu ada yang menamakan pipa dari ketebalan pipa yaitu ketebalan antara diameter luar dan diameter dalam dan sekarang dikenal dengan istilah *schedule*.

Untuk instalasi pipa di kapal tentu pipa-pipa tersebut tidak hanya pipa lurus melainkan terdapat belokan, cabang, mengecil, naik dan turun. Panjang pipa beraneka ragam, ada yang panjang dan ada yang pendek. Berkaitan dengan hal ini maka dikenal beberapa jenis sambungan pipa seperti sambungan ulir, sambungan *shock*, sambungan dengan las (*butt welded*) dan sambungan dengan menggunakan *flange*. Selain itu dikenal juga istilah belokan atau *elbow*, cabang T atau *tee*, cabang Y dan ada juga pipa yang diameternya mengecil disebut *reducer*.

Pada setiap kapal yang memiliki perlengkapan permesinan yang terdiri dari mesin induk, mesin bantu dan pompa-pompa atau kapal yang tidak dilengkapi mesin penggerak namun memiliki permesinan lain dan pompa-pompa, selalu dilengkapi dengan instalasi perpipaan. Instalasi pipa di kapal digunakan untuk mengalirkan fluida dari satu tangki/ kompartemen ke tangki laian, atau dari satu tangki ke peralatan permesinan di kapal, atau mengalirkan fluida dari kapal keluar kapal atau sebaliknya. Selain itu terdapat instalasi pipa yang lain berfungsi mengalirkan gas

non cair seperti pipa gas buang, pipa sistem CO<sub>2</sub>, atau instalasi pipa yang mengalirkan udara dan uap bertekanan.

Jenis pipa yang terdapat di kapal memiliki beragam jenis ditinjau dari material pipa sesuai dengan kegunaannya. Material pipa di kapal pada umumnya terbuat dari baja galvanis, baja hitam, baja campuran, *stainless steel*, kuningan, tembaga ataupun aluminium. Pada kegunaan tertentu terdapat pula pipa yang terbuat dari bahan non metal seperti *rubber hose*, gelas dan *PVC*.



Gambar 2.20 Persiapan Instalasi Pipa di Galangan PT. DPS

Untuk kapal-kapal yang dibangun mengikuti peraturan klasifikasi maka instalasi pipa harus mendapat pengesahan dari badan klasifikasi. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah sistem pemeliharaan atau sistem reparasi terhadap pipa-pipa di kapal, untuk memudahkan hal tersebut maka sistem penyambungan pipa-pipa di kapal menggunakan sistem baut atau flange.

Sistem instalasi perpipaan di kapal dapat dikelompokkan dalam beberapa kelompok layanan di atas kapal, antara lain:

1. *General service system* (untuk layanan keamanan) adalah sistem instalasi yang akan menjamin keselamatan kapal selama pelayaran meliputi: sistem bilga, sistem ballast untuk stabilitas dan sistem pemadam kebakaran.
2. *Main engine and auxiliary engine system* (untuk layanan Permesinan) yang meliputi sistem-sistem yang akan melayani kebutuhan dari permesinan dikapal (main engine dan auxilliary engine) seperti sistem start, sistem bahan bakar, sistem pelumasan dan sistem pendingin.
3. *Domestic system and accomodation* (untuk layanan penumpang & crew); adalah sistem yang akan melayani kebutuhan bagi seluruh penumpang dan crew dari kapal dalam hal untuk kebutuhan air tawar dan sistem sanitary/drainage.
4. *Cargo oil system for tanker* (untuk layanan kebutuhan muatan kapal), adalah sistem instalasi yang akan menyuplai kebutuhan untuk menjamin stabilitas dan keperluan kapal meliputi sistem ballast dan sistem pipa cargo (untuk kapal tanker).

## 2.8 SolidWorks

*SolidWorks* adalah 3D mekanik CAD (desain dibantu komputer) program yang berjalan pada *Microsoft Windows* dan sedang dikembangkan oleh *Dassault Systèmes SolidWorks Corp*, anak perusahaan dari *Dassault Systèmes, SA (Vélizy, Perancis)*. *SolidWorks* saat ini digunakan oleh lebih dari 1,3 juta insinyur dan desainer di lebih dari 130.000 perusahaan di seluruh dunia. *SolidWorks* merupakan Parasolid berbasis padat modeler dan memanfaatkan fitur berbasis parametrik pendekatan untuk membuat model dan rakitan. Parameter kendala yang nilai-nilainya menentukan bentuk atau geometri dari model atau perakitan. Parameter dapat berupa parameter numerik, seperti panjang garis atau diameter lingkaran, atau parameter geometrik, seperti tangen, paralel, konsentris, horizontal atau vertikal,

parameter dll Numeric dapat dikaitkan satu sama lain melalui penggunaan hubungan, yang memungkinkan mereka untuk menangkap maksud desain. Membangun model di *SolidWorks* biasanya dimulai dengan sketsa 2D (meskipun sketsa 3D tersedia untuk power user). Sketsa terdiri dari geometri seperti titik, garis, busur, *conics* (kecuali hiperbola), dan *splines*. (Wikipedia, 2010).

## 2.9 Sejarah Singkat PT. Dok dan Perkapalan Surabaya

PT Dok dan Perkapalan Surabaya (Persero) adalah sebuah galangan kapal yang mempunyai sejarah panjang dalam dunia perkapalan. Didirikan pada tanggal 22 September 1910 oleh penguasa Belanda di Amsterdam dengan nama *N.V. Droogdok Matschappij Soerabaja* dimana galangan ini dibangun oleh pemerintah Belanda guna sarana penunjang armada kapal laut pihak Belanda yang pada saat itu menjajah Indonesia. Pendirian PT. Dok & Perkapalan Surabaya ini dilakukan didepan notaris J.P Smith. Pemegang saham pada saat itu ada tiga orang yakni :

1. N.V Konjlijke paket vaart maatschappij.
2. N.V Stomiv+art Maatshappij Nederland
3. N.V Roter Sdancsh LCYD.

Pada saat terjadinya perang dunia kedua, Belanda menyerah kepada Jepang. Galangan ini berpindah tangan ke Jepang pada tahun 1942–1945, perusahaan ini berubah nama menjadi *Harima Zoen*. Namun setelah Jepang mengalami kekalahan dalam Perang Dunia II, tepatnya tanggal 17 Agustus 1945, perusahaan ini menjadi milik Pemerintah Republik Indonesia. Namun Pada tahun 1945 sampai dengan tahun 1957 pihak Belanda kembali ke Indonesia dan perusahaan ini kembali direbut oleh Belanda yang namanya kembali diubah menjadi nama awal yaitu *N.V. Droogdok Matschappij Soerabaja*.

Pada waktu terjadi konfrontasi antara pemerintah Indonesia dengan Belanda yang terjadi pada tahun 1958 telah menyebabkan perusahaan ini berpindah tangan ke pemerintahan Indonesia dengan landasan hukum Peraturan Pemerintah No 23, tahun 1958

dibawah pengelolaan B.P.U Maritim. Kemudian Pemerintah mengeluarkan Peraturan Pemerintah lagi yang menyusul Peraturan Pemerintah sebelumnya yaitu Peraturan Pemerintah No 109 Th. 1961, tanggal 17 April 1961 dan akhirnya Perusahaan ini menjadi Perusahaan Negara (PN) dengan nama PN. Dok dan Perkapalan Surabaya.

Kemudian pada tahun 1963 Galangan yang ada di sebelah PN. Dok & Perkapalan Surabaya yang bernama Galanagn kapal Sumber Bhaita digabung dengan PN Dok & Perkapalan Surabaya berdasarkan atas keputusan Menteri Perhubungan Laut. Berdasarkan keputusan ini juga nama-nya diubah menjadi PN. Dok Surabaya.

Perubahan nama PT Dok & Perkapalan Surabaya belum berhenti sampai disitu, Tahun 1975 dengan munculnya kembali Peraturan Pemerintah No. 24 Tahun 1975 PN. Dok Surabaya berganti nama lagi menjadi PT. Dok dan Perkapalan Surabaya.

Tepatnya pada tanggal 8 Januari 1976 Peresmian Perusahaan ini dilakukan oleh Menteri Perhubungan R.I yaitu Prof. DR H Emil Salim, berkedudukan di Jl. Tanjung Perak Barat No. 433 – 435 Surabaya.

Berdasarkan Surat Keputusan Presiden RI No. 10 tahun 1984, tanggal 28 Nopember 1984, PT Dok dan Perkapalan Surabaya yang semula berada dalam pengawasan/ pembinaan Departemen Perhubungan, dialihkan dalam pengawasan/ pembinaan Departemen Perindustrian, yang sekarang dikenal dengan nama Departemen Perindustrian dan Perdagangan (Deperindag). Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.50 tanggal 13 April tahun 1998. Kedudukan Tugas dan Kewenangan Menteri Keuangan selaku Pemegang Saham dan RUPS atas Perseroan Terbatas dialihkan menjadi tanggung jawab Menteri Negara Pendaan Gunaan BUMN.

PT. Dok dan Perkapalan Surabaya sebagai perusahaan galangan kapal melayani kegiatan-kegiatan sebagai berikut:

1. Perbaikan Kapal

PT. Dok dan Perkapalan Surabaya melayani perbaikan kapal besar/kecil, kapal dengan pelayaran samudra atau pantai ntuk segala macam tipe sesuai dengan kapasitas *floating dock* yang dimiliki.

2. *Ship Conversion*

Melakukan modifikasi bentuk maupun fungsi dari kapal.

3. *Running Repair*

PT. Dok dan Perkapalan Surabaya melayani perbaikan kapal yang dilakukan pada saat kapal berlayar atau kapal mengalami kerusakan di pelabuhan lain.

4. New Building (kapal baru)

PT. DPS dapat membuat kapal baru dengan berbagai tipe.

5. *Off Shore Construction*

Selain bergerak dibidang perkapalan, PT. DPS juga menerima pesanan pembangunan bangunan lepas pantai dll.

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Metodologi**

Metodologi yang digunakan dalam skripsi ini adalah dengan menggunakan metode berbasis analisa dengan membuat perancangan permodelan konstruksi *corrugated watertight bulkhead* dan *transverse plane watertight bulkhead* dengan menggunakan software solidwork. Kemudian dilakukan pengujian perhitungan dan analisis pada permodelan tersebut. Metodologi penulisan skripsi ini mencakup semua kegiatan yang akan dilaksanakan untuk memecahkan masalah atau melakukan proses analisa terhadap permasalahan skripsi

### **3.2 Tahapan Pengerjaan Skripsi**

#### **1. Identifikasi dan Perumusan Masalah**

Tahapan awal dalam pengerjaan skripsi ini adalah dengan mengidentifikasi permasalahan yang ada. Kemudian timbul perumusan masalah yang nantinya akan diselesaikan selama pengerjaan skripsi ini. Selain itu, juga terdapat batasan masalah. Hal ini dimaksudkan agar topik bahasan lebih mendetail dan tidak terlalu meluas serta memudahkan penulis dalam melakukan analisa masalah.

#### **2. Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan dengan cara mengumpulkan berbagai referensi guna menunjang penulisan skripsi ini. Referensi yang diperlukan mengenai perancangan model kontruksi *watertight bulkhead* dapat dicari melalui berbagai media, antara lain:

- a) Buku
- b) Jurnal



- c) Artikel
- d) Paper
- e) Tugas akhir
- f) Internet

Untuk pencarian berbagai referensi dan literatur dilakukan di beberapa tempat, yaitu:

- a) Perpustakaan Pusat ITS
- b) Ruang Baca Fakultas Teknologi Kelautan - ITS
- c) Laboratorium Komputer (MMD) Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK.

### **3. Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dilakukan guna menunjang proses pengerjaan skripsi. Pengumpulan data-data penunjang skripsi dilakukan secara langsung ke perusahaan/ galangan. Dalam skripsi ini penulis menggunakan data kapal tanker yang dibangun di PT. Dok dan Perkapalan Surabaya, yaitu kapal Kasim (Oil Tanker 6500 LTDW). Data yang diperlukan untuk merancang permodelan konstruksi *watertight bulkhead* adalah:

- a) Gambar *General Arrangement* Kapal Kasim (Oil Tanker 6500 LTDW)
- b) Gambar *Midship Section* Kapal Kasim (Oil Tanker 6500 LTDW)
- c) Gambar *Section Profile* Kapal Kasim (Oil Tanker 6500 LTDW)
- d) Data modulus konstruksi Kapal Kasim (Oil Tanker 6500 LTDW)

### **4. Perancangan Model**

Dalam tahap ini dilakukan perancangan model konstruksi *corrugated watertight bulkhead* dan *transverse plane watertight bulkhead* menggunakan program solidwork.

## **5. Analisa Data**

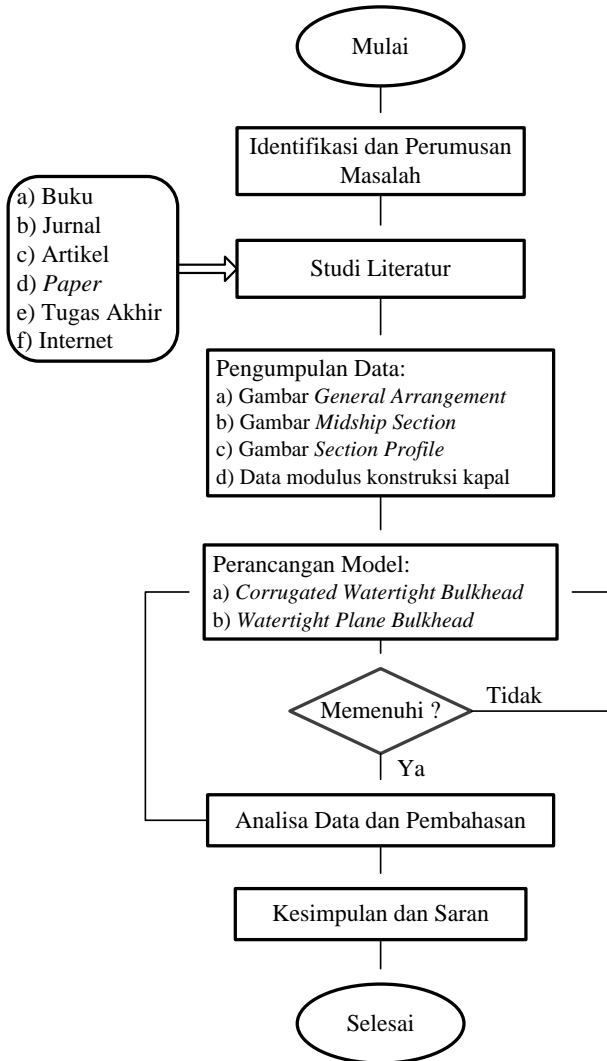
Dalam tahap ini dilakukan analisa hasil model konstruksi dari solidwork yang sudah dirancang. Dilakukan simulasi pengujian kekuatan konstruksi antara kedua model *watertight bulkhead* dan dilakukan perbandingan perhitungan berat konstruksi secara teknis sesuai dengan model. Outputnya adalah membandingkan kedua *watertight bulkhead* dan mencari yang lebih efisien. Pada intinya akan menjawab permasalahan yang ada.

## **6. Penarikan Kesimpulan dan Saran**

Tahap ini merupakan tahapan akhir dimana dilakukan penarikan kesimpulan mengenai keseluruhan proses yang telah dilakukan. Selain itu, juga memberikan saran terkait dengan penelitian selanjutnya.

### 3.3 Flow Chart Pengerjaan Skripsi

Adapun flow chart pengerjaan skripsi yang digunakan untuk mempermudah proses pelaksanaan dan pengerjaan skripsi.



## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 *Principal Dimension*

Tugas akhir ini dikerjakan menggunakan data kapal Kasim, *Oil Tanker 6500 LTDW*. Kapal 6500 LTDW (*Long Ton Dead Weight*) adalah proyek pembangunan kapal yang dilakukan di PT. Dok dan Perkapalan Surabaya dan Pertamina sebagai *Owner* (pemesannya). Kapal ini menggunakan sistem konstruksi membujur dan dalam pembangunannya menggunakan sistem *block*, sistem pembuatan kapal dimana badan kapal terbagi beberapa *block*, dimana tiap-tiap *block* sudah siap pakai. (lengkap dengan sistem perpipaannya). Sekat yang akan dipakai dalam tugas akhir ini adalah sekat diantara COT 3 dan COT 4 yang terletak pada *block 7* dalam pembangunannya. *Block 7* merupakan *block* yang terletak dibagian lambung tepatnya di *parallel middle body* atau di bagian tengah kapal.

Tabel 4.1 Data Kapal Kasim (*Oil Tanker 6500 LTDW*)

Nama Kapal	Kasim	
<i>Type</i>	<i>Oil Tanker</i>	
<i>Lpp (Length Perpendicular)</i>	102.00	meter
<i>Loa (Length Over All)</i>	104.56	meter
<i>Lwl (Length of Water Line)</i>	103.76	meter
<i>B (Breadth)</i>	19.20	meter
<i>T (Draft)</i>	6.00	meter
<i>H (Height)</i>	9.30	meter
<i>Cb (Coeffisien Block)</i>	0.80	
<i>Vs</i>	12.00	knots

## 4.2 Perhitungan *Transverse Plane Watertight Bulkhead*

*Transverse plane watertight bulkhead* atau sekat melintang kedap air ini merupakan sekat pemisah kompartemen satu dengan kompartemen lainnya. Sekat ini terdiri dari pelat dan beberapa penegar atau *stiffener* yang dilas sehingga membentuk konstruksi sekat sebagai salah satu kekuatan melintang kapal. Konstruksi sekat melintang kedap air ini bisa diterapkan dalam berbagai sistem konstruksi baik melintang, membujur maupun campuran atau kombinasi.

Perhitungan *transverse plane watertight bulkhead* dilakukan dengan menggunakan aturan Biro Klasifikasi Indonesia tahun 2014 volume II section 11 adalah sebagai berikut:

### 4.2.1 Perhitungan Tebal Pelat *Transverse Plane Watertight Bulkhead*

Berdasarkan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) *Volume II 2014 Section 11*, tebal pelat sekat melintang kedap air tidak boleh kurang dari :

$$t = C_p \cdot a \sqrt{p} + t_K \quad [\text{mm}]$$

(BKI Vol II, 2014 Section 11)

dimana:

$$f = \frac{235}{R_{eH}} = \frac{235}{315} = 0,746$$

$C_p$  = Koefisien pelat yang bergantung pada jenis sekat.

$$C_p = 1.1 \sqrt{f} \quad \text{untuk sekat tubrukan}$$

$$C_p = 0.9 \sqrt{f} \quad \text{untuk sekat lainnya}$$

$$= 0,9 \sqrt{f}$$

$$= 0,9 \sqrt{0,746}$$

$$= 0,777$$

$$\begin{aligned} a &= \text{Jarak antar penegar} \\ &= 0,6 \text{ m} \end{aligned}$$

h = Tinggi atau jarak dari pertengahan panjang yang tidak ditumpu sampai 1,0 m diatas pinggir geladak sekat.

Pelat untuk sekat kedap melintang direncanakan:

$$\begin{aligned} \text{Pelat 1} &= \text{Lebar} = 1300 \text{ mm} \\ \text{Pelat 2} &= \text{Lebar} = 1800 \text{ mm} \\ \text{Pelat 3} &= \text{Lebar} = 1800 \text{ mm} \\ \text{Pelat 4} &= \text{Lebar} = 1800 \text{ mm} \\ \text{Pelat 5} &= \text{Lebar} = 1800 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H &= \text{Tinggi kapal} \\ &= 9,3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{DB} &= \text{Tinggi } double \text{ bottom} \\ &= B / 15 \\ &= 19,2 / 15 \\ &= 1,28 \\ &= 1,3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_1 &= H + 1 - (h_{DB} + \frac{1}{2} \text{ Lebar Pelat 1}) \\ &= 9,3 + 1 - (1,3 + \frac{1}{2} 1,3) \\ &= 8,35 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= H + 1 - (h_{DB} + \text{Lebar Pelat 1} + \frac{1}{2} \text{ Lebar Pelat 2}) \\ &= 9,3 + 1 - (1,3 + 1,3 + \frac{1}{2} 1,8) \\ &= 6,8 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_3 &= H + 1 - (h_{DB} + \text{Lebar Pelat 1} + \text{Lebar Pelat 2} + \\ &\quad \frac{1}{2} \text{ Lebar Pelat 3}) \\ &= 9,3 + 1 - (1,3 + 1,3 + 1,8 + \frac{1}{2} 1,8) \\ &= 5,0 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_4 &= H + 1 - (\text{hDB} + \text{Lebar Pelat 1} + \text{Lebar Pelat 2} + \text{Lebar} \\
 &\quad \text{Pelat 3} + \frac{1}{2} \text{Lebar Pelat 4}) \\
 &= 9,3 + 1 - (1,3 + 1,3 + 1,8 + 1,8 + \frac{1}{2} 1,8) \\
 &= 3,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_5 &= H + 1 - (\text{hDB} + \text{Lebar Pelat 1} + \text{Lebar Pelat 2} + \text{Lebar} \\
 &\quad \text{Pelat 3} + \text{Lebar Pelat 4} + \frac{1}{2} \text{Lebar Pelat 5}) \\
 &= 9,3 + 1 - (1,3 + 1,3 + 1,8 + 1,8 + 1,8 + \frac{1}{2} 1,8) \\
 &= 1,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_1 &= 9,81 \cdot h_1 \\
 &= 9,81 \cdot 8,35 \\
 &= 81,914 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_2 &= 9,81 \cdot h_2 \\
 &= 9,81 \cdot 6,8 \\
 &= 66,708 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_3 &= 9,81 \cdot h_3 \\
 &= 9,81 \cdot 5,0 \\
 &= 49,050 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_4 &= 9,81 \cdot h_4 \\
 &= 9,81 \cdot 3,2 \\
 &= 31,392 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_5 &= 9,81 \cdot h_5 \\
 &= 9,81 \cdot 1,4 \\
 &= 13,734 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_k &= \text{Faktor korosi yang bergantung pada ketebalan pelat.} \\
 &\quad \text{(Tabel 2.3)} \\
 &= 2,0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 t1 &= C_p \cdot a \sqrt{p1} + t_K \\
 &= 0,777 \cdot 0,6 \sqrt{81,914} + 2,0 \\
 &= 4,221 + 2,0 \\
 &= 6,221 \\
 &= 7,0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t2 &= C_p \cdot a \sqrt{p2} + t_K \\
 &= 0,777 \cdot 0,6 \sqrt{66,708} + 2,0 \\
 &= 3,809 + 2,0 \\
 &= 5,809 \\
 &= 6,0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t3 &= C_p \cdot a \sqrt{p3} + t_K \\
 &= 0,777 \cdot 0,6 \sqrt{49,050} + 2,0 \\
 &= 3,267 + 2,0 \\
 &= 5,267 \\
 &= 6,0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t4 &= C_p \cdot a \sqrt{p4} + t_K \\
 &= 0,777 \cdot 0,6 \sqrt{31,392} + 2,0 \\
 &= 2,613 + 2,0 \\
 &= 4,613 \\
 &= 5,0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t5 &= C_p \cdot a \sqrt{p5} + t_K \\
 &= 0,777 \cdot 0,6 \sqrt{13,734} + 2,0 \\
 &= 1,729 + 2,0 \\
 &= 3,729 \\
 &= 4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Dengan mempertimbangkan:

$$\begin{aligned} t_{\min} &= 6,0 \cdot \sqrt{f} \\ &= 6,0 \cdot \sqrt{0,746} \\ &= 5,182 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi untuk masing-masing ketebalan pelat diambil:

$$\begin{aligned} t_1 &= 7,0 \text{ mm} \\ t_2 &= 7,0 \text{ mm} \\ t_3 &= 7,0 \text{ mm} \\ t_4 &= 7,0 \text{ mm} \\ t_5 &= 7,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi tebal pelat *transverse plane watertight bulkhead* yang digunakan adalah  $t = 7,00 \text{ mm}$ .

#### **4.2.2 Modulus Penampang *Tranverse Plane Watertight Bulkhead***

Ukuran penegar sekat ditentukan berdasarkan perhitungan modulus penampang penegar. Untuk itu, dipakai rumus di bawah ini, dengan modulus penampangnya tidak boleh kurang dari:

$$W = C_s \cdot a \cdot l^2 \cdot p \quad [\text{cm}^3]$$

(*BKI Vol II, 2014 Section 11*)

dimana:

$$\begin{aligned} l &= \text{Panjang yang tidak ditumpu} \\ &= 4,2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \text{Jarak antar penegar} \\ &= 0,6 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p &= p_1 \\ &= 81,914 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$f = \frac{235}{R_{eH}} = \frac{235}{315} = 0,746$$

$$\begin{aligned} C_s &= \text{Besar koefisien yang bergantung pada jenis tumpuan} \\ &\quad \text{penegar dan jenis sekat.} \\ &= 0,256 \cdot f \\ &= 0,256 \cdot 0,746 \\ &= 0,191 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} W &= C_s \cdot a \cdot l^2 \cdot p \\ &= 0,191 \cdot 0,6 \cdot 4,2^2 \cdot 81,914 \\ &= 165,58 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

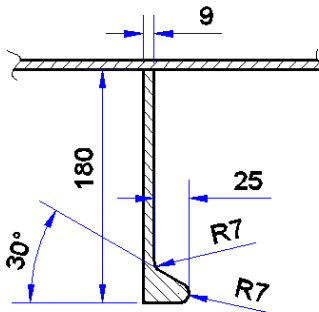
Jadi, modulus penampang *transverse plane watertight bulkhead* yang direncanakan adalah  $W = 165,58 \text{ cm}^3$ .

Dan dengan data modulus di atas maka dapat dipilih ukuran profil/ penegaranya:

Profil : *Bulb Plate*

Ukuran : 180 x 9

Modulus : 166  $\text{cm}^3$



Gambar 4.1 Profil *bulb plate* ukuran 180 x 9

### 4.2.3 Perhitungan Ukuran *Bracket*

#### a) Tebal *bracket*

Berdasarkan BKI Volume II tahun 2014, tebal pelat *bracket* tidak boleh kurang dari:

$$t = c \sqrt[3]{\frac{w}{k_1}} + tk$$

$$t_{\min} = 5 + tk \quad [\text{mm}]$$

(*BKI Vol II, 2014 Section 3 D*)

dimana:

$$c = 1,2 \quad \text{untuk } \textit{bracket} \text{ tanpa } \textit{flange}.$$

$$= 0,95 \quad \text{untuk } \textit{bracket} \text{ yang menggunakan } \textit{flange}.$$

$$k_1 = \text{Faktor material.}$$

$$= 0,78$$

$$tk = \text{Faktor korosi yang bergantung pada ketebalan}$$

$$\text{pelat.}$$

$$= 2,0 \text{ mm}$$

$$w = \text{Modulus penampang yang terkecil antar penegar.}$$

$$\text{Modulus pembujur geladak} = 125 \text{ cm}^3$$

$$\text{Modulus penegar } \textit{bulkhead} = 165,58 \text{ cm}^3$$

$$= 125 \text{ cm}^3 \quad (\text{diambil yang terkecil})$$

Sehingga,

$$t = c \sqrt[3]{\frac{w}{k_1}} + tk$$

$$= 1,2 \sqrt[3]{\frac{125}{0,78}} + 2,0$$

$$= 1,2 \sqrt[3]{160,256} + 2,0$$

$$\begin{aligned}
 &= 6,518 + 2,0 \\
 &= 8,518 \text{ mm} \\
 &= 9,00 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= 5 + tk \\
 &= 5 + 2,0 \\
 &= 7,0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi tebal pelat *bracket* direncanakan = 9,00 mm

b) Lebar *bracket*

Berdasarkan BKI Volume II tahun 2014, panjang lengan kurung *bracket* tidak boleh kurang dari:

$$l = 46,2 \sqrt[3]{\frac{w}{k_1}} + \sqrt{k_2} \cdot C_t$$

$$l_{\min} = 100 \quad [\text{mm}]$$

(BKI Vol II, 2014 Section 3 D)

dimana:

$$C_t = \sqrt{\frac{t}{t_a}} = 1$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \text{“as built” thickness of bracket [mm]} \\
 &\geq t \text{ (tebal bracket)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 w &= \text{Modulus penampang yang terkecil antar penegar.} \\
 &= 125 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

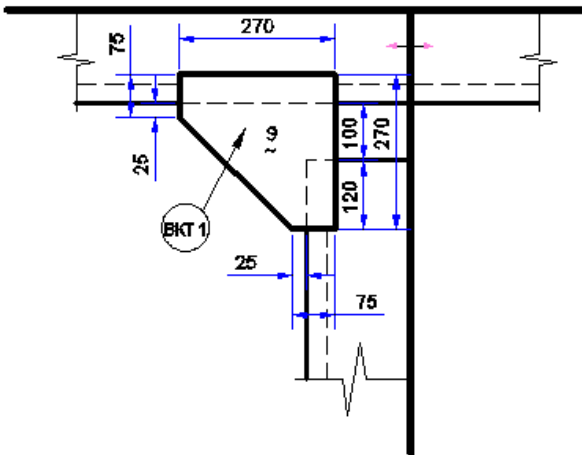
$$\begin{aligned}
 c &= 1,2 \quad \text{untuk bracket tanpa flange.} \\
 &= 0,95 \quad \text{untuk bracket yang menggunakan flange.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_1 &= \text{Faktor material.} \\ &= 0,78 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} l &= 46,2 \sqrt[3]{\frac{W}{k_1} + \sqrt{k_2} \cdot C_t} \\ &= 46,2 \sqrt[3]{\frac{125}{0,78} + \sqrt{0,78} \cdot 1} \\ &= 250,95 + 0,88 \\ &= 251,83 \\ &= 270 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka diambil panjang lengan kurung *bracket* adalah 270 mm.  
Jadi untuk ukuran *bracket* yang direncanakan adalah = 270 x 9.



Gambar 4.2 Perencanaan ukuran *bracket*

#### 4.2.4 Perhitungan *Stringer*

*Stringer* atau senta pada sekat kedap melintang berpenegar dipasang sebagai penguat tambahan konstruksi untuk kapal yang memiliki tinggi ruang muat  $\geq 5$  meter. Pemasangan *stringer* ini berfungsi sebagai penguat konstruksi tambahan karena besarnya ketinggian ruang muat yang melebihi dari yang ditentukan.

Modulus penampang *stringer* ditentukan berdasarkan rumus dari BKI Vol II 2014 Section 9:

$$W = 0,55 \cdot e \cdot l^2 \cdot P_s \cdot n_c \cdot k \quad [\text{cm}^3]$$

$$A_w = 0,05 \cdot e \cdot l_1 \cdot P_s \cdot k \quad [\text{cm}^2]$$

(BKI Vol II, 2014 Section 3 D)

dimana:

$$\begin{aligned} l &= \text{Panjang yang tidak ditumpu.} \\ &= 3,0 \text{ m} \end{aligned}$$

$$l_1 = l$$

$$\begin{aligned} e &= \text{Jarak antar } \textit{stringer} \\ &= 2,4 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_s &= \text{Beban pada sekat} \\ &= 81,914 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= \text{Faktor material.} \\ &= 0,78 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_c &= \text{Coefficient number of cross ties} \\ &= 0,3 \quad (\text{dari Tabel 4.1}) \end{aligned}$$

Tabel 4.2 *Reduction Coefficient  $n_c$* 

Number of cross ties	$n_c$
0	1,0
1	0,5
2	0,3
$\geq 3$	0,2

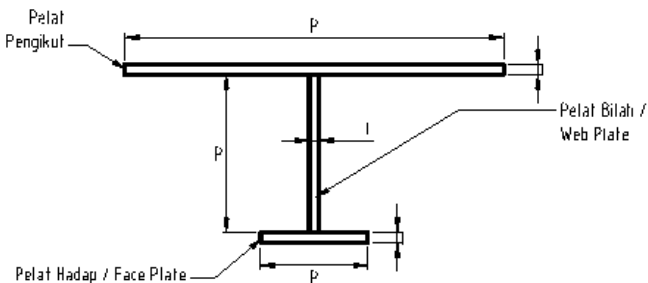
Sehingga,

$$\begin{aligned}
 W &= 0,55 \cdot e \cdot l^2 \cdot P_s \cdot n_c \cdot k \\
 &= 0,55 \cdot 2,4 \cdot 3,0^2 \cdot 81,914 \cdot 0,3 \cdot 0,78 \\
 &= 227,710 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_w &= 0,05 \cdot e \cdot l_1 \cdot P_s \cdot k \\
 &= 0,05 \cdot 2,4 \cdot 3,0 \cdot 81,914 \cdot 0,78 \\
 &= 23,001 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Jadi modulus penampang *stringer* adalah sebesar 227,710 cm<sup>3</sup> dengan luas penampang yang tidak boleh kurang dari 23,001 cm<sup>2</sup>.

Langkah selanjutnya adalah menentukan ukuran profil T yang akan digunakan sebagai *stringer* pada *transverse plane bulkhead* ini.



Gambar 4.3 Profil T

Tabel 4.3 Tabel perhitungan profil T

Nama			Luas	Jarak	Momen	Momen	Momen
			F	d	Luas	Inersia	Inersia
Jenis	p (cm)	l (cm)	cm <sup>2</sup>	cm	F.d cm <sup>3</sup>	F.d <sup>2</sup> cm <sup>4</sup>	1/12.b.b <sup>3</sup> cm <sup>4</sup>
Pelat Hadap (Face Plate)	20	0.9	18.00	0.45	8.10	3.65	1.22
Pelat Bilah (Web Plate)	35	0.9	31.50	18.40	579.60	10664.64	3215.63
			49.50		587.70	10668.29	3216.84

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= \sum F \cdot \sum \text{Momen Luas} \\
 &= 49,50 \cdot 587,70 \\
 &= 11,873 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_2 &= (l_{\text{Pelat Hadap}} + p_{\text{Pelat Bilah}}) - Z_1 \\
 &= (0,9 + 35) - 11,873 \\
 &= 24,027 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{xx} &= \sum \text{Momen Inersia Individu} + \sum \text{Momen Inersia} \\
 &= 3216,84 + 10668,29 \\
 &= 13885,125 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{NA} &= I_{xx} - (\sum F \cdot Z_1^2) \\
 &= 13885,125 - (49,50 \cdot 11,873^2) \\
 &= 6907,523 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

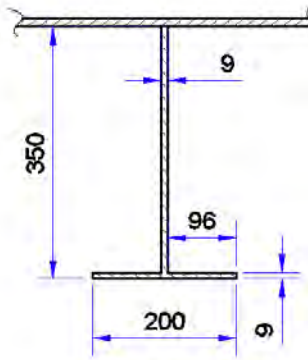
$$W_1 = \frac{I_{NA}}{Z_1}$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{6907,523}{11,873} \\
 &= 581,798 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_2 &= \frac{I_{NA}}{Z_2} \\
 &= \frac{6907,523}{24,027} \\
 &= \mathbf{287,487 \text{ cm}^3}
 \end{aligned}$$

Jadi, dipilih profil T untuk *stringer* dengan ukuran:  
 PL 350x9 + 200x9 FF



Gambar 4.4 Perencanaan ukuran *stringer*

#### 4.2.5 Perhitungan *Bulkhead Girder*

*Bulkhead Girder* digunakan sebagai penguatan dari konstruksi sekat itu sendiri selain profil penegar. Dalam perencanaan *transverse plane watertight bulkhead* ini, *bulkhead girder* dipasang dengan jarak masing-masing setiap 3 meter.

Modulus penampang *Bulkhead Girder* ditentukan berdasarkan rumus dari BKI *Volume II 2014 Section 9*:

$$W = 0,55 \cdot e \cdot l^2 \cdot P_s \cdot n_c \cdot k \quad [\text{cm}^3]$$

$$A_w = 0,05 \cdot e \cdot l_1 \cdot P_s \cdot k \quad [\text{cm}^2]$$

(BK I Vol II, 2014 Section 3 D)

dimana:

$$\begin{aligned} l &= \text{Panjang yang tidak ditumpu.} \\ &= 3,0 \text{ m} \end{aligned}$$

$$l_1 = l$$

$$\begin{aligned} e &= \text{Jarak antar girder} \\ &= 3,0 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_s &= \text{Beban pada sekat} \\ &= 81,914 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= \text{Faktor material.} \\ &= 0,78 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_c &= \text{Coefficient number of cross ties} \\ &= 0,3 \quad (\text{dari Tabel 4.1}) \end{aligned}$$

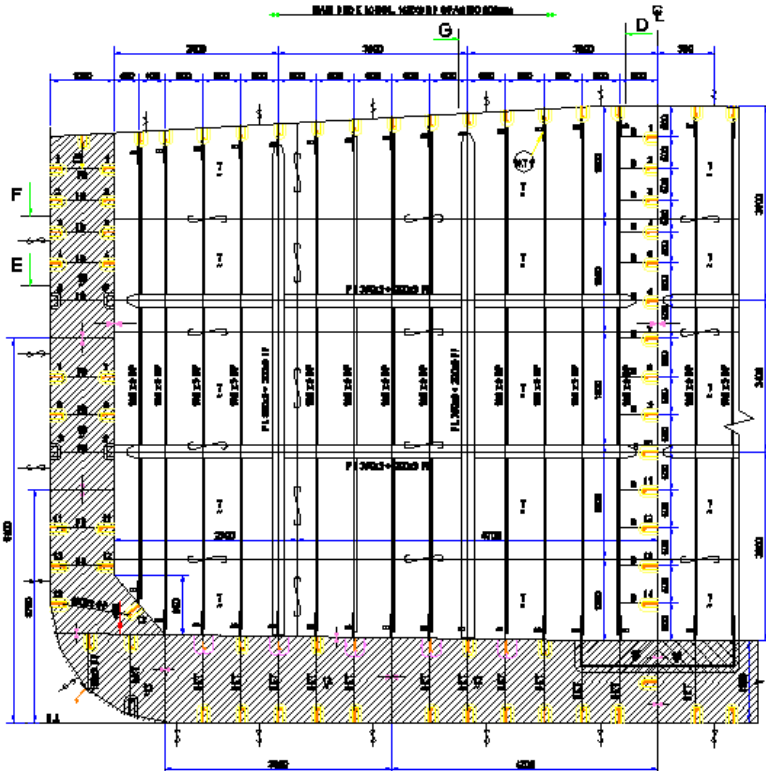
Sehingga,

$$\begin{aligned} W &= 0,55 \cdot e \cdot l^2 \cdot P_s \cdot n_c \cdot k \\ &= 0,55 \cdot 3,0 \cdot 3,0^2 \cdot 81,914 \cdot 0,3 \cdot 0,78 \\ &= 284,640 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_w &= 0,05 \cdot e \cdot l_1 \cdot P_s \cdot k \\ &= 0,05 \cdot 3,0 \cdot 3,0 \cdot 81,914 \cdot 0,78 \\ &= 28,752 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Jadi modulus penampang *girder* adalah sebesar  $284,640 \text{ cm}^3$  dengan luas penampang yang tidak boleh kurang dari  $28,752 \text{ cm}^2$ .

Kemudian dapat dipilih profil T untuk *girder* PL 350x9 + 200x9 FF dengan modulus sebesar  $287,490 \text{ cm}^3$  dan luas penampangnya  $49,50 \text{ cm}^2$ .



Gambar 4.5 Gambar *transverse plane watertight bulkhead* yang direncanakan

### 4.3 Perhitungan *Corrugated Watertight Bulkhead*

*Corrugated watertight bulkhead* adalah sekat kedap air yang bergelombang, kegunaan dari sekat ini adalah sebagai pemisah muatan atau kompartemen satu dengan kompartemen lainnya. Selain berfungsi sebagai sekat pemisah, sekat ini juga berfungsi sebagai salah satu kekuatan melintang kapal.

Perhitungan *corrugated watertight bulkhead* dilakukan dengan menggunakan aturan Biro Klasifikasi Indonesia tahun 2014 volume II section 11 adalah sebagai berikut:

#### 4.3.1 Tebal Pelat *Corrugated Watertight Bulkhead*

Salah satu elemen penting dari konstruksi *corrugated watertight bulkhead* adalah tebal pelat. Tebal pelat sangat berpengaruh terhadap kekakuan atau kemampuan material dalam menerima beban, sehingga dalam perencanaannya tebal pelat harus disesuaikan dengan besarnya beban yang akan diterima. Tebal pelat *corrugated watertight bulkhead* tidak boleh kurang dari:

$$t = C_p \cdot a \sqrt{p} + t_K \quad [\text{mm}]$$

(BKI Vol II, 2014 Section 11)

dimana:

$$f = \frac{235}{R_{eH}} = \frac{235}{315} = 0,746$$

$C_p$  = Koefisien pelat yang bergantung pada jenis sekat.

$$C_p = 1,1 \sqrt{f} \quad \text{untuk sekat tubrukan}$$

$$C_p = 0,9 \sqrt{f} \quad \text{untuk sekat lainnya}$$

$$= 0,9 \sqrt{f}$$

$$= 0,9 \sqrt{0,746}$$

$$= 0,777$$

$$\begin{aligned} a &= b \text{ atau } s \text{ (diambil yang terbesar)} \\ &= 0,75 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h &= \text{Tinggi atau jarak dari pertengahan panjang penegar} \\ &\quad \text{yang tidak ditumpu sampai 1,0 m diatas pinggir} \\ &\quad \text{geladak sekat.} \\ &= 5,25 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p &= p_1 \\ &= 81,914 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_k &= \text{Faktor korosi yang bergantung pada ketebalan} \\ &\quad \text{pelat. (Tabel 2.3)} \\ &= 2,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} t &= C_p \cdot a \cdot \sqrt{p} + t_k \\ &= 0,777 \cdot 0,75 \sqrt{81,914} + 2,0 \\ &= 5,277 + 2,0 \\ &= 7,277 \\ &= 8,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{\min} &= 6,0 \cdot \sqrt{f} \\ &= 6,0 \cdot \sqrt{0,746} \\ &= 5,182 \\ &= 6,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t = 8,0 \text{ mm}$$

Jadi tebal pelat *corrugated watertight bulkhead* yang digunakan adalah  $t = 8,00 \text{ mm}$ .

### 4.3.2 Modulus Penampang *Corrugated Watertight Bulkhead*

Perhitungan modulus penampang sekat kedap bergelombang sama dengan perhitungan pada sekat kedap berpenegar, hanya saja perbedaannya terletak di nilai  $a$ ,  $a$  yang dimaksud bukan jarak gading/ *frame spacing* melainkan lebar dari elemen *corrugated* ( $e$ ). Besarnya modulus penampang tidak boleh lebih dari:

$$W = C_s \cdot a \cdot l^2 \cdot p \quad [\text{cm}^3]$$

(BKI Vol II, 2014 Section 11)

dimana :

$$\begin{aligned} l &= \text{Panjang yang tidak ditumpu} \\ &= 8,6 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= e \text{ (width of element)} \\ &= 1,2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h &= \text{Tinggi atau jarak dari pertengahan panjang penegar} \\ &\quad \text{yang tidak ditumpu sampai 1,0 m diatas pinggir} \\ &\quad \text{geladak sekat.} \\ &= 5,25 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p &= p1 \\ &= 81,914 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$f = \frac{235}{R_{eH}} = \frac{235}{315} = 0,746$$

$$\begin{aligned} C_s &= \text{Besar koefisien yang bergantung pada jenis} \\ &\quad \text{tumpuan penegar dan jenis sekat.} \\ &= 0,53 \cdot f \\ &= 0,53 \cdot 0,746 \\ &= 0,3954 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} W &= C_s \cdot a \cdot l^2 \cdot p \\ &= 0,3954 \cdot 1,2 \cdot 8,6^2 \cdot 81,914 \\ &= 2874 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Modulus penampang sekat bergelombang atau *corrugated watertight bulkhead* dapat juga ditetapkan menurut rumus berikut:

$$W = t \cdot d (b + s/3) \quad [\text{cm}^3]$$

(BKI Vol II, 2014 Section 11)

dimana :

$$\begin{aligned} e &= \text{width of element} \\ &= 120 \text{ cm} \end{aligned}$$

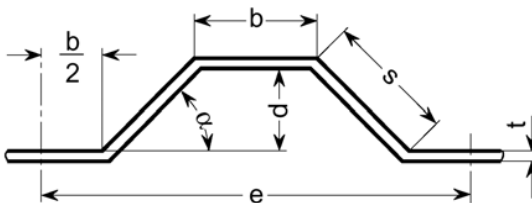
$$\begin{aligned} b &= \text{breadth of face plate} \\ &= 50 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= \text{breadth of web plate} \\ &= 51 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= \text{distance between face plates} \\ &= 50 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t &= \text{plate thickness} \\ &= 0,8 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\alpha = 79^\circ$$

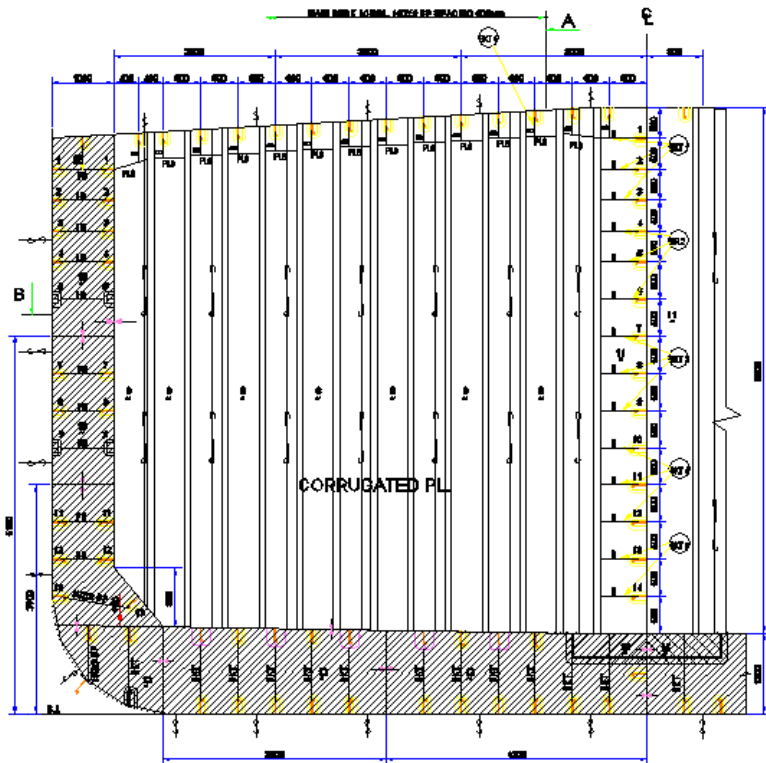


Gambar 4.6 Elemen dari sekat melintang bergelombang

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 W &= t \cdot d (b + s/3) \\
 &= 0,8 \cdot 50 (50 + 51/3) \\
 &= 0,8 \cdot 50 (67) \\
 &= 2680 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Jadi, modulus penampang *corrugated watertight bulkhead* yang direncanakan adalah  $W = 2874 \text{ cm}^3$



Gambar 4.7 Gambar *corrugated watertight bulkhead* yang direncanakan



#### 4.4 Perhitungan Pipa Bongkar Muat

Sistem bongkar muat kapal tanker banyak mengandalkan sistem perpipaan untuk sistem bongkar muatnya. Pada saat pengisian ke kapal (*loading*), minyak dipompa dari darat menggunakan fasilitas yang terdapat di pelabuhan. Sedangkan pada saat dibongkar (*unloading*) menggunakan fasilitas yang ada di kapal. Untuk mengetahui diameter pipa bongkar muat kapal tanker, maka dilakukan perhitungan sebagai berikut:

1. Perhitungan kapasitas pompa

a) Kapasitas pompa utama:

$$Q_e = \frac{V}{t} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

dimana:

$$\begin{aligned} V &= \text{Volume ruang muat} \\ &= 8666,667 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t &= \text{Waktu bongkar muat} \\ &= 10 \text{ jam} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{V}{t} \\ &= \frac{8666,667}{10} \\ &= 866,667 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

b) Kapasitas pompa bantu:

$$\begin{aligned} Q_s &= 25\% \times Q_e \\ &= 25\% \times 866,667 \\ &= 216,667 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

## 2. Perhitungan diameter pipa

## a) Diameter pipa utama

$$d_b = 0,0189 \times \sqrt{\frac{Q_e}{V_c}} \quad [\text{m}]$$

dimana:

$$\begin{aligned} Q_e &= \text{Kapasitas pompa utama} \\ &= 866,667 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \text{Kecepatan aliran jenis muatan} \\ &= 2 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} d_b &= 0,0189 \times \sqrt{\frac{Q_e}{V_c}} \\ &= 0,0189 \times \sqrt{\frac{866,667}{2}} \\ &= 0,393 \text{ m} \\ &= 393,435 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipilih pipa utama dengan diameter:

$$\begin{aligned} \text{\textcircled{O}} \text{ ID} &= 408,940 \text{ mm} \\ t &= 15,240 \text{ mm} \end{aligned}$$

## b) Diameter pipa cabang

$$d_s = 0,0189 \times \sqrt{\frac{Q_s}{V_c}} \quad [\text{m}]$$

dimana:

$$\begin{aligned} Q_s &= \text{Kapasitas pompa bantu} \\ &= 216,667 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \text{Kecepatan aliran jenis muatan} \\ &= 2 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} ds &= 0,0189 \times \sqrt{\frac{Q_s}{V_c}} \\ &= 0,0189 \times \sqrt{\frac{216,667}{2}} \\ &= 0,197 \text{ m} \\ &= 196,718 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipilih pipa cabang dengan diameter:

$$\begin{aligned} \text{Ø ID} &= 234,188 \text{ mm} \\ t &= 12,193 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### 4.5 Perhitungan Beban

Beban yang bekerja pada sekat adalah beban yang berasal dari muatan di dalam tangki muatan tersebut, dimana fluida cair yang diangkut oleh kapal adalah berupa *product oil tanker* yaitu *gasoline* atau bensin. Muatan atau fluida cair tersebut mempunyai tekanan yang akan digunakan sebagai beban pada simulasi pengujian konstruksi sekat. Berdasarkan *BKI Vol II, 2014 Section 24–Oil Tankers*, tekanan dalam tangki muatan bisa dihitung dengan menggunakan rumus untuk  $p_1$  sesuai *Section 4, D.1*:

$$p_1 = 9,81 \cdot h_1 \cdot \rho (1 + a_v) + 100 \cdot p_v \quad [\text{kN/m}^2]$$

atau

$$p_1 = 9,81 \cdot \rho [h_1 \cdot \cos\varphi + (0,3 \cdot b + y) \sin\varphi] + 100 \cdot p_v \quad [\text{kN/m}^2]$$

(*BKI Vol II, 2014 Section 4, D.1*)

dimana :

$$\begin{aligned} h_1 &= \text{jarak pusat beban dari tank top} \\ &= 3,880 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_0 &= \text{kecepatan dinas kapal} \\ &= 12,00 \text{ knots} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= L_{pp} = 102,00 \text{ m} \\ &= 96\% L_{wl} = 0,96 \times 103,76 = 99,61 \text{ m} \\ &= 97\% L_{wl} = 0,97 \times 103,76 = 100,647 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= 0,11 \cdot \frac{V_0}{\sqrt{L}} \\ &= 0,11 \cdot \frac{12}{\sqrt{100,647}} \\ &= 0,132 \end{aligned}$$

$$m = 1,0 \quad \text{untuk daerah } 0,2 \leq \frac{x}{L} \leq 0,7$$

$$\begin{aligned} a_v &= \text{faktor akselerasi} \\ &= F \cdot m \\ &= 0,132 \cdot 1,0 \\ &= 0,132 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{bk} &= 0,5 \quad \text{untuk kapal dengan } bilge \text{ keel} \\ &= 0,6 \quad \text{untuk kapal tanpa bilge keel} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H &= \text{tinggi tangki} \\ &= 8,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= \text{lebar tangki} \\ &= 8,6 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\varphi \geq 20^\circ \text{ for hatch covers of holds carrying liquids}$$

$$\begin{aligned}
 \varphi &= \text{desain sudut kemiringan untuk tangki} \\
 &= \left( f_{bk} \cdot \frac{H}{B} \right) \\
 &= \left( 0,5 \cdot \frac{8,5}{8,6} \right) \\
 &= 26,288^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b &= \text{lebar paling atas tangki} \\
 &= 8,6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y &= \text{jarak pusat beban dari bidang tengah membujur} \\
 &\quad \text{vertikal tangki} \\
 &= 0,216 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta z &= \text{jarak dari } \textit{top overflow} \text{ ke } \textit{tank top} \\
 &= 9,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta p_v &= \textit{pressure losses in the overflow line} \\
 \Delta p_{vmin} &= 0,2 \text{ bar} \quad \textit{for cargo tanks of tankers}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_v &= \frac{\Delta z - 2,5}{10} + \Delta p_v \\
 &= \frac{9,5 - 2,5}{10} + 0,2 \\
 &= 0,9 \text{ bar}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \text{berat jenis muatan} \\
 &= 0,750 \text{ ton/m}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 p_1 &= 9,81 \cdot h_1 \cdot \rho (1 + a_v) + 100 \cdot p_v \\
 &= 9,81 \cdot 3,880 \cdot 0,750 (1 + 0,132) + 100 \cdot 0,9
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 32,303 + 90 \\
 &= 122,303 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

atau

$$\begin{aligned}
 p_1 &= 9,81 \cdot \rho [h_1 \cdot \cos\phi + (0,3 \cdot b + y) \sin\phi] + 100 \cdot p_v \\
 &= 9,81 \cdot 0,750 [3,880 \cdot \cos 26,288 + (0,3 \cdot 8,6 + 0,216) \sin 26,288] \\
 &\quad + 100 \cdot 0,9 \\
 &= 30,346 + 90 \\
 &= 120,346 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Maka diambil  $P_1$  yang terbesar, yaitu:  $P_1 = 122,303 \text{ kN/m}^2$ .

$P_1$  adalah besarnya tekanan fluida yang bekerja dalam tangki ruang muat nomor 3. Tentunya masing-masing sekat pemisah tersebut mendapatkan tekanan total sebesar  $P_1$ . Setelah diketahui besarnya  $P_1$ , maka dapat diketahui distribusi beban tekanan pada masing-masing adalah:

Tabel 4.4 Distribusi beban tekanan

No.	Komponen	P	L	Area	Tekanan
		m	m	m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
1	Deck (U)	12,60	8,613	108,524	23,743
2	Sekat membujur (S)	12,60	8,500	107,100	23,431
3	Bottom (D)	12,60	9,042	113,929	24,925
4	Sekat membujur (P)	12,60	7,007	88,288	19,316
5	Sekat melintang 1			70,591	15,444
6	Sekat melintang 2			70,591	15,444
Total				559,024	122,303

Jadi nilai beban tekanan yang diterima sekat melintang adalah sebesar:  $P = 15,444 \text{ kN/m}^2$ .

Beban yang berikutnya adalah beban yang berasal dari berat komponen alat-alat yang berada di atas deck kapal atau lebih tepatnya di atas deck muatan tangki, seperti: pipa utama, pipa cabang, tangga, *manifold* dan lain sebagainya yang berada tepat di atas tangki ruang muat.

Perhitungan berat pipa utama:

$$\text{Ø ID} = 408,940 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal} = 15,240 \text{ mm}$$

$$\text{Berat/m} = 75 \text{ kg/m}$$

$$\text{Panjang} = 62,3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat pipa utama} &= 75 \times 62,3 \times 10 \\ &= 46725 \text{ kg} \\ &= 46,72 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Perhitungan berat pipa cabang:

$$\text{Ø ID} = 234,188 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal} = 12,193 \text{ mm}$$

$$\text{Berat/m} = 37 \text{ kg/m}$$

$$\text{Panjang} = 62,3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat pipa cabang} &= 37 \times 62,3 \times 10 \\ &= 23051 \text{ kg} \\ &= 23,05 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat pipa keseluruhan} &= 46,72 + 23,05 \\ &= 69,77 \text{ Ton} / 8 \text{ sekat} \\ &= 8,721 \text{ Ton/sekat} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dapat ditentukan bahwa berat pipa keseluruhan adalah 8,721 ton/sekat, dengan penambahan komponen yang tidak dihitung, maka dalam hal ini masing-masing sekat melintang diasumsikan menerima beban yang berasal dari berat komponen sebesar 10 Ton. Berdasarkan Hukum III Newton, gaya berat dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$W = m \times g \quad [\text{kN}]$$

dimana:

$$\begin{aligned} m &= \text{massa benda [Ton]} \\ g &= \text{gaya gravitasi [m/s}^2\text{]} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} W &= m \times g \\ &= 10 \text{ ton} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ &= 98 \text{ ton m/s}^2 \\ &= 98 \text{ kN} \end{aligned}$$

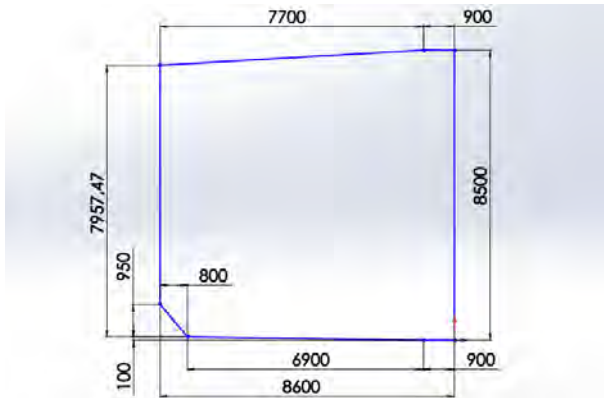
Jadi sekat melintang menerima dua beban yang masing-masing berbeda besarnya, dari samping yang merupakan beban dari muatan itu sendiri yaitu sebesar  $P_x = 15,444 \text{ kN/m}^2$  dan beban dari atas deck yang merupakan beban dari berat komponen peralatan yang berada di atas deck sebesar  $P_y = 98 \text{ kN}$ .

#### 4.6 Pembuatan Model Konstruksi Sekat

Pembuatan sket atau gambar dasar konstruksi sekat melintang dilakukan berdasarkan perhitungan ukuran dimensi pelat dan komponen penunjang yang sudah dihitung dalam sub bab sebelumnya. Penggambaran atau pembuatan model kedua kontruksi sekat melintang ini dilakukan menggunakan program *solidworks*.

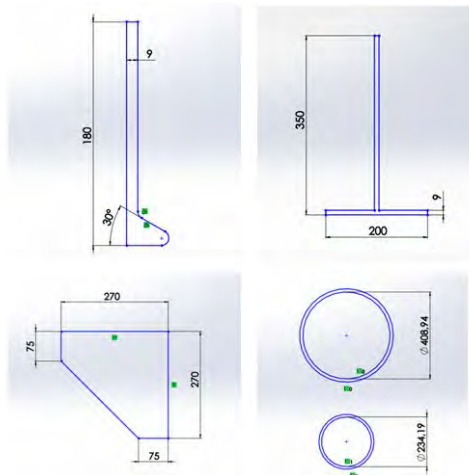
Untuk permodelan konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*, parameter yang digunakan adalah ukuran dimensi pelat, penegar (*bulp plate*), *bracket*, profil T dan pipa. Langkah pertama dimulai dengan pembuatan sket pelat lurus yang mempunyai bentuk dan ukuran sesuai yang telah ditentukan seperti yang terlihat pada Gambar 4.8.





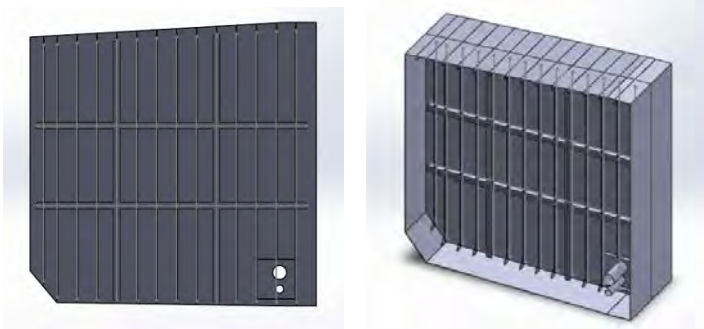
Gambar 4.8 Sket konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*

Kemudian langkah selanjutnya adalah pembuatan sket atau gambar dasar atau gambar 2D dari profil atau penegar, bracket, pipa dan profil T. Setelah gambar dasarnya jadi dan diberi ketebalan sehingga membentuk bentuk 3D.



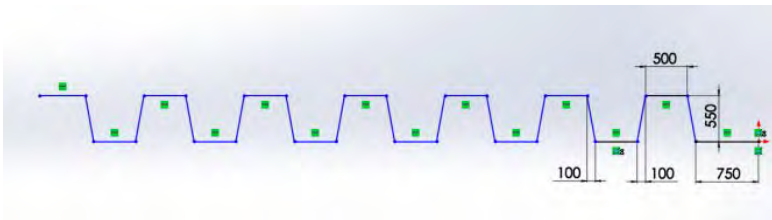
Gambar 4.9 Sket komponen *transverse plane watertight bulkhead*

Setelah dilakukan penggambaran sket komponen dari sekat melintang berpenegar dan sudah membentuk komponen 3D, selanjutnya dilakukan pemasangan masing-masing komponen tersebut ke dinding pelat sekat melintang kedap air berpenegar.



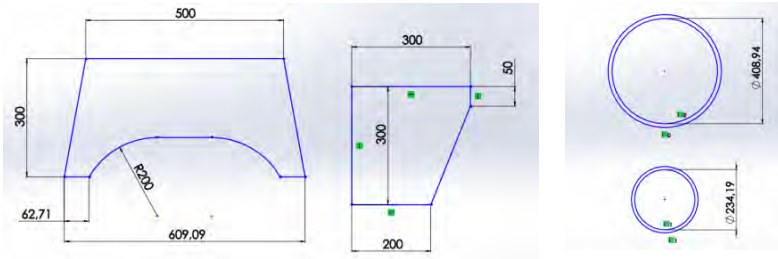
Gambar 4.10 Model *transverse plane watertight bulkhead*

Setelah semua proses tersebut selesai dilakukan, kemudian beralih menggambar sket model konstruksi sekat melintang yang kedua yaitu sekat melintang bergelombang (*corrugated watertight bulkhead*). Parameter yang digunakan adalah ukuran dan dimensi pelat yang dibengkokkan atau ditekuk, *bracket* dan pipa. Penggambaran sket model konstruksi sekat bergelombang seperti pada Gambar 4.11.



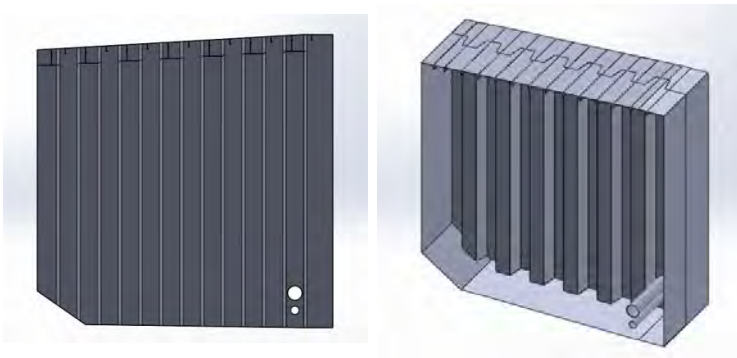
Gambar 4.11 Sket konstruksi *corrugated watertight bulkhead*

Kemudian dilakukan pembuatan sket atau gambar dasar atau gambar 2D dari bracket dan pipa. Setelah gambar dasarnya jadi dan diberi ketebalan sehingga membentuk komponen bentuk 3D.



Gambar 4.12 Sket komponen *corrugated watertight bulkhead*

Setelah dilakukan penggambaran sket komponen dari sekat melintang bergelombang dan sudah membentuk komponen 3D, selanjutnya dilakukan pemasangan masing-masing komponen tersebut ke dinding pelat sekat melintang bergelombang.



Gambar 4.13 Model *corrugated watertight bulkhead*

## 4.7 Simulasi Pengujian Model Konstruksi Sekat

Simulasi pengujian suatu komponen dilakukan dengan menentukan tipe analisis yang akan dilakukan terlebih dahulu. Ada beberapa tipe analisis pada solidworks antara lain yaitu: *static analysis*, *frequency analysis*, *buckling analysis*, *thermal analysis*, *drop test*, *fatigue analysis*, *non linier analysis* dan *pressure vessel design analysis*. Dalam pengujian model konstruksi sekat melintang ini menggunakan *static analysis*. *Static analysis* digunakan untuk menentukan dan menganalisa *stress*, *strain*, *displacement* dan faktor keselamatan benda pada beban statis. Urutan pengerjaan *static analysis* ini meliputi: *part*-yang mana mendefinisikan material bahan yang digunakan, *connection*, *fixtures*, *external loads*, *mesh* dan *run*.

### 4.7.1 Material bahan yang digunakan

Material yang digunakan dalam permodelan sekat melintang ini ada beberapa macam, diantaranya ASTM 36 yang digunakan untuk material pelat sekat, bracket, profil bulp plate dan profil T. Sedangkan untuk material pipa menggunakan material *cast iron steel/ grey cast iron steel*. Kedua material yang digunakan mempunyai detail material sebagai berikut:

Tabel 4.5 Detail material ASTM 36 Steel

<b>Material ASTM 36 Steel</b>		
<b>Property</b>	<b>Value</b>	<b>Units</b>
<i>Elastic modulus</i>	200.000.000.000	N/m <sup>2</sup>
<i>Poisson's ratio</i>	0,26	N/A
<i>Shear modulus</i>	79.300.000.000	N/m <sup>2</sup>
<i>Mass density</i>	7850	kg/m <sup>3</sup>
<i>Tensile strength</i>	40.000.000	N/m <sup>2</sup>
<i>Yield strength</i>	250.000.000	N/m <sup>2</sup>
<i>Thermal conductivity</i>		W/(m-k)
<i>Specific heat</i>		j/(kg-k)

Tabel 4.6 Detail material *Grey Cast Iron Steel*

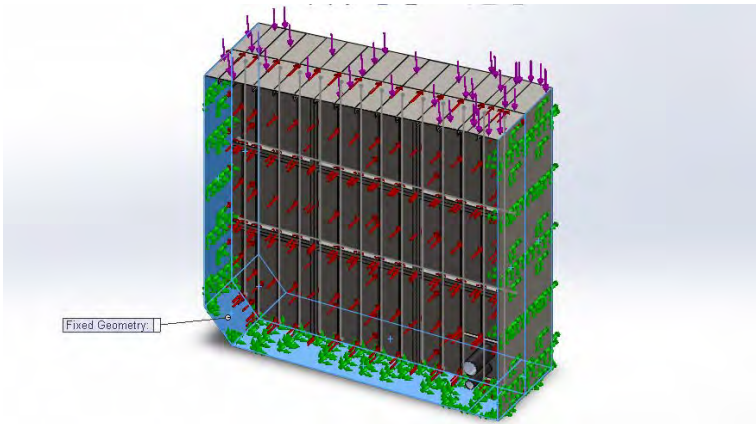
<b>Material Grey Cast Iron</b>		
<b>Property</b>	<b>Value</b>	<b>Units</b>
<i>Elastic modulus</i>	661781	N/m <sup>2</sup>
<i>Poisson's ratio</i>	0,27	N/A
<i>Shear modulus</i>	50.000.000.010	N/m <sup>2</sup>
<i>Mass density</i>	7200	kg/m <sup>3</sup>
<i>Tensile strength</i>	151.658.000	N/m <sup>2</sup>
<i>Yield strength</i>		N/m <sup>2</sup>
<i>Thermal conductivity</i>	45	W/(m-k)
<i>Specific heat</i>	510	J/(kg-k)

#### 4.7.2 Connections

*Connections* berfungsi untuk menghubungkan antara dua elemen yang berbeda yaitu: *Beam*, *Solid*, *joint*, dan *shell*. Ada dua tipe *connections* yang tersedia, yaitu *contact set* dan *component set*. *Contact set* digunakan untuk menggabungkan *face* satu dengan *face* lainnya agar menjadi satu kesatuan. Sedangkan *component set* berfungsi untuk menggabungkan beberapa komponen dalam satu kesatuan yang utuh, misalnya menggabungkan pelat dengan *beam*. Dalam pengujian model kontruksi sekat yang dilakukan, tipe *connections* yang digunakan adalah *component set*, yaitu menggabungkan pelat sekat dengan komponen penunjangnya seperti *bracket* dan profil menjadi satu kesatuan yang utuh.

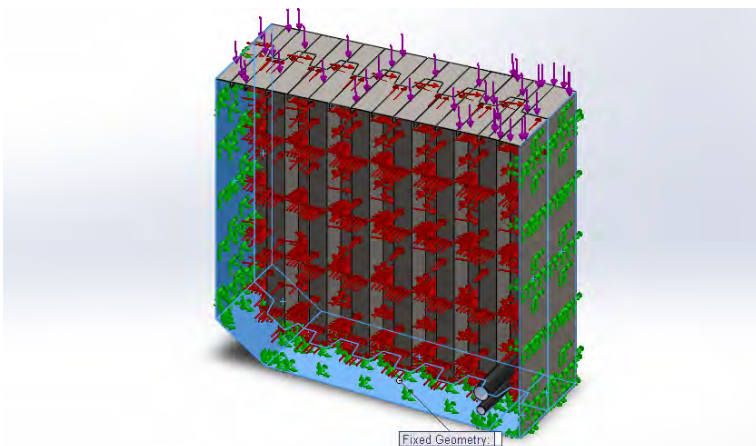
#### 4.7.3 Fixtures

*Fixtures* merupakan salah satu fitur dalam simulasi *solidworks* yang berfungsi untuk menentukan dimana letak tumpuan beban. Pada pemodelan ini, letak tumpuan beban berada di sisi kanan-kiri dan sisi bawah yang menempel pada sekat. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 *Fixtures* pada *transverse plane watertight bulkhead*

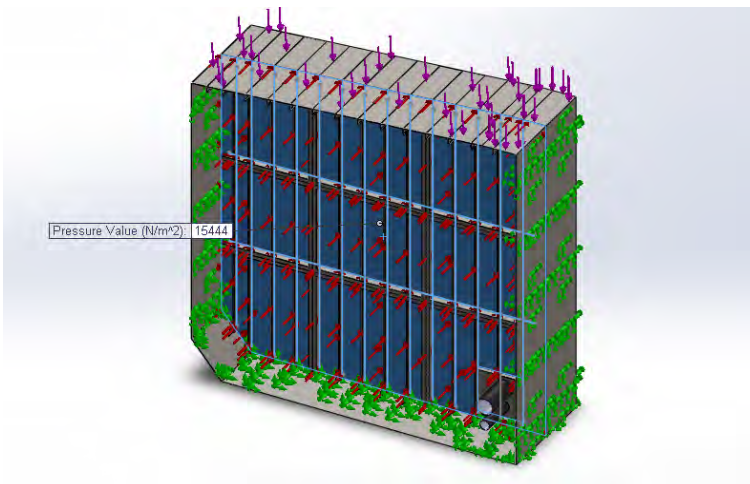
Untuk konstruksi *corrugated watertight bulkhead*, letak *fixtures* nya sama dengan konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.15.



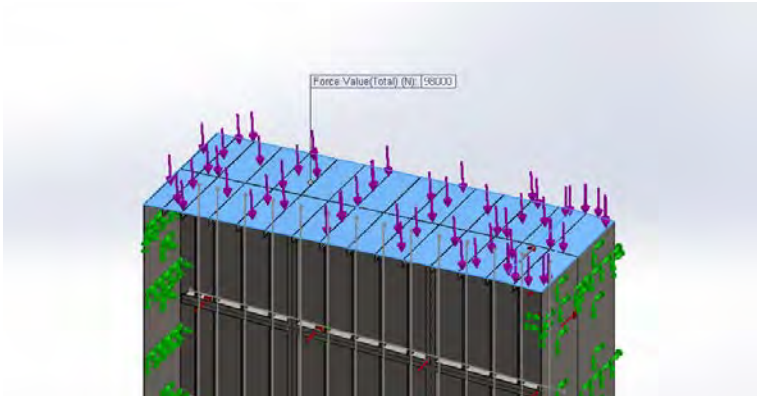
Gambar 4.15 *Fixtures* pada *transverse plane watertight bulkhead*

#### 4.7.4 External Loads

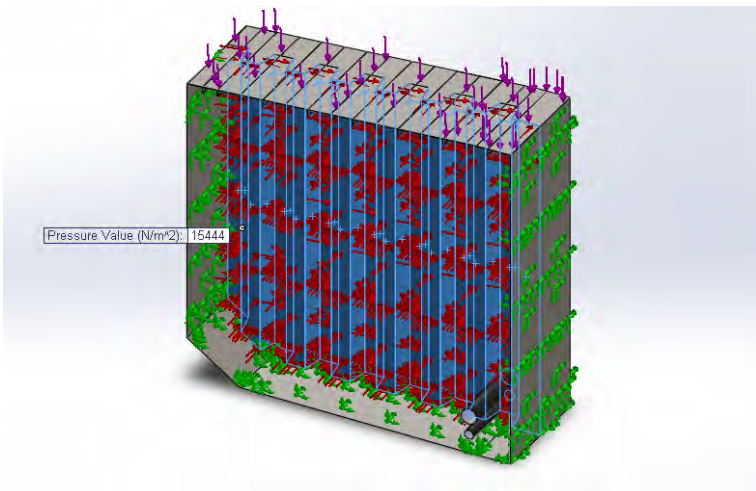
*External Loads* atau pembebanan adalah pemberian gaya seperti *Pressure*, *Force*, torsi, gravitasi, dan lain-lain. Analisa yang akan dilakukan adalah *Static analysis* yaitu digunakan untuk menentukan dan menganalisa *stress*, *strain*, *displacement* dan faktor keselamatan benda pada beban statis. Untuk simulasi pemodelan ini beban yang digunakan adalah beban *pressure* dari muatan fluida yang berada di dalam tangki dan gaya berat dari komponen perlengkapan diatas deck yang ditumpu oleh sekat melintang kecap air. Besar beban yang diterima sekat melintang kecap air dari samping yang merupakan beban dari muatan itu sendiri sebesar  $P_x = 15,444 \text{ kN/m}^2$  dan beban dari atas deck yang merupakan beban dari berat komponen peralatan yang berada di atas deck sebesar  $P_y = 98 \text{ kN}$ . Simulasi dilakukan menggunakan pembebanan yang sama untuk dua buah model sekat kecap melintang yang berbeda.



Gambar 4.16 Letak beban pressure ( $P_x$ ) pada *transverse plane watertight bulkhead*

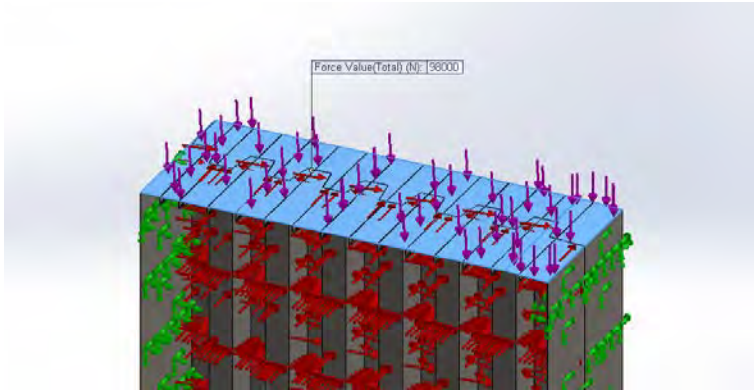


Gambar 4.17 Letak beban  $P_y$  pada *transverse plane watertight bulkhead*



Gambar 4.18 Letak beban pressure ( $P_x$ ) pada *corrugated watertight bulkhead*





Gambar 4.19 Letak beban  $P_y$  pada *corrugated watertight bulkhead*

#### 4.8 Analisa Simulasi Permodelan Konstruksi Sekat

Setelah penggambaran sket model konstruksi sekat, pengaplikasian materi bahan konstruksi sekat, menentukan letak tumpuan beban dan pemberian beban, langkah selanjutnya adalah *mesh and run*, dimana model yang telah dibuat bisa dilakukan simulasi pengujian. Dari hasil simulasi pengujian, didapatkan hasil sebagai berikut:

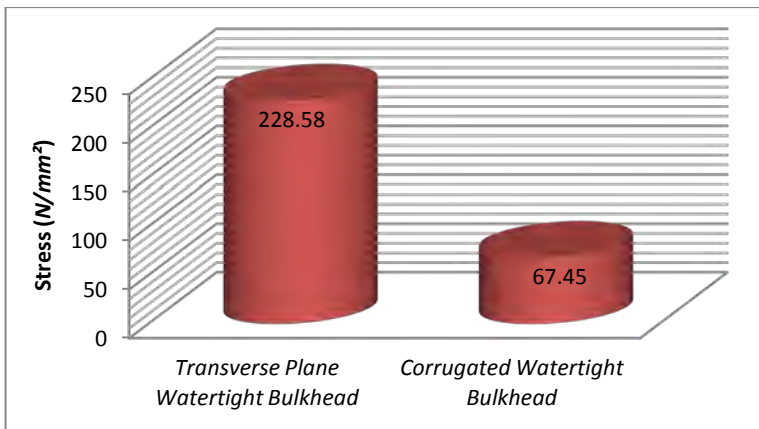
Tabel 4.7 Tabel Hasil Simulasi Pengujian

No	Hasil Analisa	<i>Transverse Plane Watertight Bulkhead</i>	<i>Corrugated Watertight Bulkhead</i>
1	<i>Stress (N/mm<sup>2</sup>)</i>	228.58	67.45
2	<i>Displacement (mm)</i>	12.833	2.815
3	<i>Strain</i>	0.0012730	0.00023737
4	<i>Factor of Safety</i>	1.094	3.71

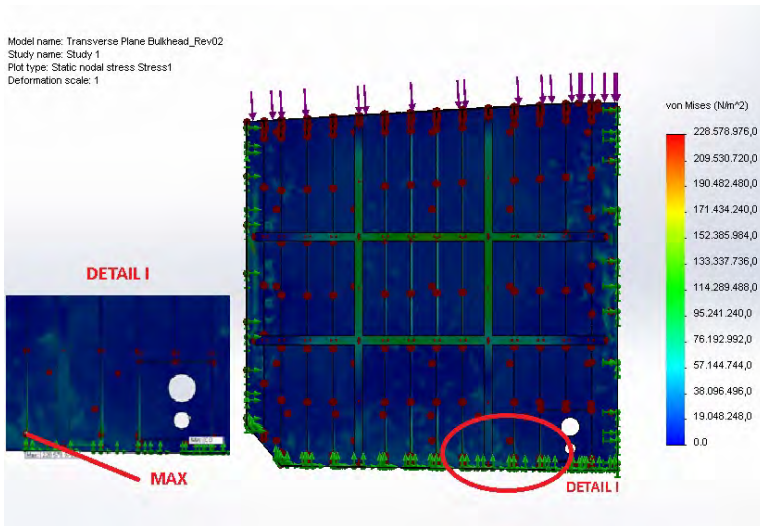
#### 4.8.1 Tegangan (*stress*)

Tegangan (*stress*) adalah gaya yang bekerja pada suatu luasan, terdiri dari macam-macam besaran dan arah. Semakin sempit luasan permukaan namun gaya tetap, maka tegangan semakin besar. Tegangan terbesar ditunjukkan pada gradiasi warna paling merah, kemudian kuning, hijau, biru muda, dan yang terkecil adalah biru tua. Gradiasi warna kuning-hijau-biru muda merupakan area dengan tegangan sedang.

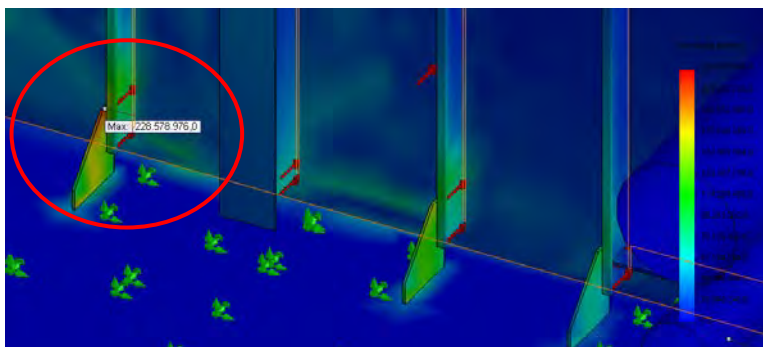
Pada konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*, tegangan terbesar senilai 228,58 N/mm<sup>2</sup> terjadi pada bagian bawah *bulp plate* nomor 6 yaitu lebih tepatnya pada sambungan *bracket* yang terhubung pada pelat sekat dan pelat *double bottom*. Sedangkan konstruksi *corrugated watertight bulkhead* mempunyai tegangan terbesar sebesar 67,45 N/mm<sup>2</sup> yang terletak di daerah pemasangan pipa yang menembus sekat *corrugated*, tepatnya pada lubang pipa nomor 2 yaitu pipa cabang.



Gambar 4.20 Grafik perbedaan nilai tegangan

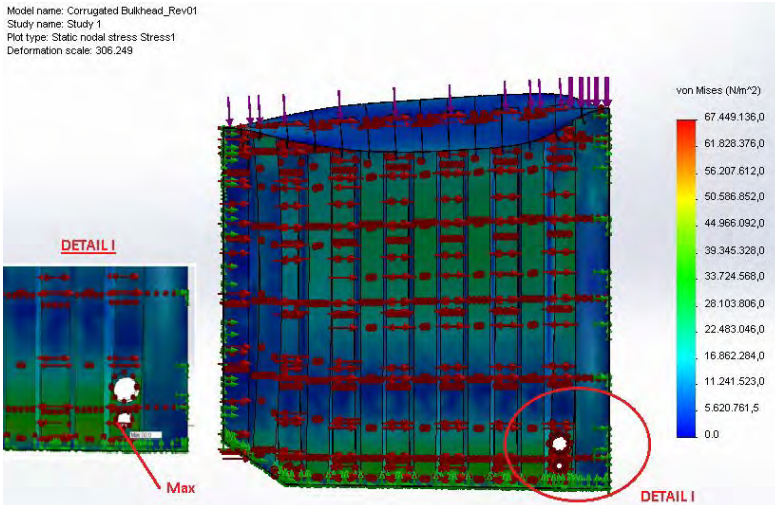


Gambar 4.21 Analisa tegangan pada konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*



Gambar 4.22 Detail daerah dengan tegangan maksimum *transverse plane watertight bulkhead*

Detail tegangan maksimum dapat dilihat pada Gambar 4.22 yang mempunyai gradiensi warna kemerahan yang menunjukkan bahwa daerah tersebut merupakan daerah paling kritis.



Gambar 4.23 Analisa tegangan pada konstruksi *corrugated watertight bulkhead*



Gambar 4.24 Detail daerah dengan tegangan maksimum *corrugated watertight bulkhead*

Detail daerah paling kritis pada konstruksi *corrugated watertight bulkhead* terletak pada daerah disekitar pipa yang menembus sekat *corrugated watertight* (warna merah).

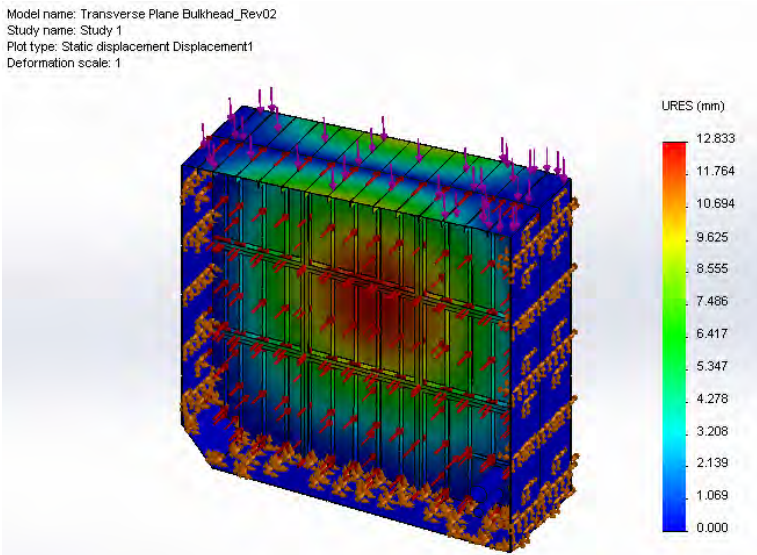
Dari Gambar 4.21 dan Gambar 4.23 terlihat bahwa perbedaan tegangan yang terjadi diantara kedua sekat sangat *significant*. Tegangan yang dihasilkan oleh konstruksi *transverse plane watertight bulkhead* lebih besar atau 3 kali lipat dari tegangan yang dihasilkan oleh konstruksi *corrugated watertight bulkhead*. Semakin besar gaya yang bekerja dalam suatu benda maka semakin besar pula tegangan yang terjadi.

#### 4.8.2 Displacement

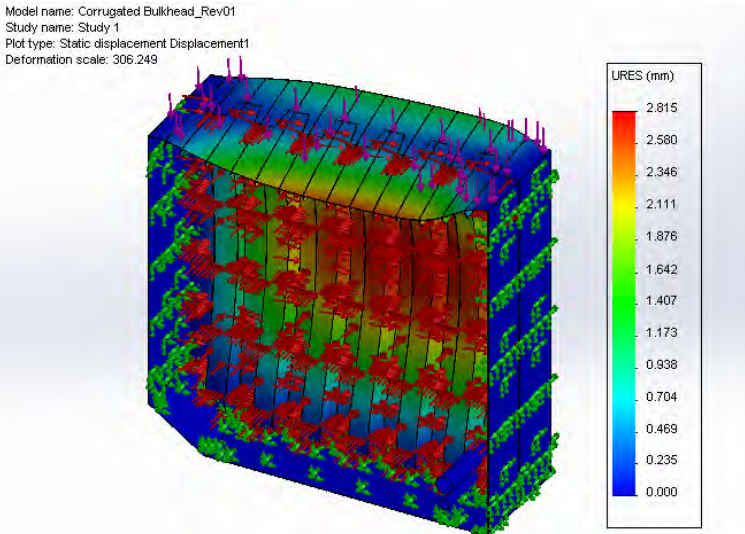
*Displacement* adalah perubahan bentuk pada benda yang dikenai gaya. Dalam hal ini melengkung, atau mengalami deformasi. Deformasi terjadi bila bahan mengalami gaya. Pada waktu deformasi, bahan menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja. Apabila gaya bekerja, mau sekecil apapun itu maka benda akan mengalami perubahan bentuk dan ukuran. Perubahan ukuran secara fisik ini disebut sebagai deformasi. Deformasi elastis adalah deformasi yang terjadi akibat adanya beban, jika bebannya dihilangkan maka material akan kembali seperti bentuk dan ukuran yang semula, sedangkan deformasi plastis adalah deformasi yang bersifat permanen jika bebannya dihilangkan atau dilepas. Bagian yang mengalami deformasi dari konstruksi sekat ini adalah daerah yang berwarna merah. *Displacement* sebesar 12,833 mm terjadi pada konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*, pada daerah tengah-tengah sekat. Karena pembebanan yang dilakukan, maka *displacement* sebesar 12,833 mm dimungkinkan terjadi.

Pada analisa konstruksi *corrugated watertight bulkhead*, *displacement* yang terjadi adalah sebesar 2,815 mm. Dengan pembebanan yang sama, yaitu beban *pressure* dan beban gaya, deformasi yang terjadi lebih kecil dibandingkan deformasi yang terjadi pada sekat *transverse plane watertight bulkhead*. Hal ini dimungkinkan karena pada sekat bergelombang, beban yang diterima oleh sekat didistribusikan menyeluruh melalui lekukan-lekukan sekat gelombang tersebut sehingga deformasi yang

terjadi bisa lebih kecil. Berbeda dengan konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*, karena hanya menggunakan pelat dasar lurus yang di beri penegar sebagai penguatan konstruksinya, pelat sekat ini tidak cukup mampu menahan beban yang diterima sehingga deformasi yang terjadi lebih besar angkanya dari sekat bergelombang, meskipun gaya yang diterima oleh penegar sekat diteruskan ke penegar dek (*deck longitudinal*) melalui *bracket* yang dipasang diantara kedua penegar tersebut. Ketebalan pelat sekat juga salah satu penyebab perbedaan nilai deformasi diantara kedua konstruksi sekat.



Gambar 4.25 Analisa *displacement* pada konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*

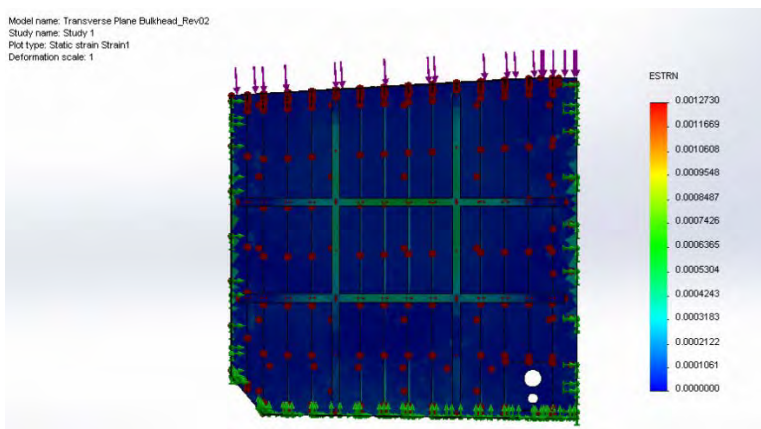


Gambar 4.26 Analisa *displacement* pada konstruksi *corrugated watertight bulkhead*

### 4.8.3 Regangan (*strain*)

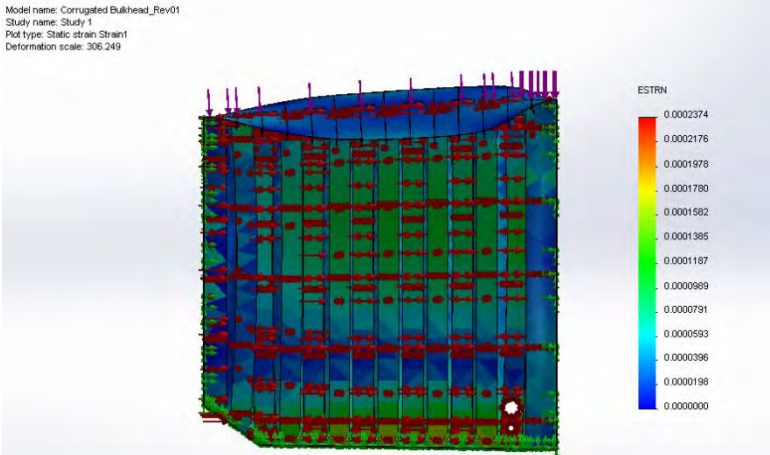
Regangan (*strain*) adalah perbandingan antara pertambahan panjang atau displacement ( $\Delta L$ ) terhadap panjang mula-mula ( $L_0$ ). Regangan biasanya mempunyai simbol ( $\epsilon$ ) dan tidak mempunyai satuan. Dalam analisa regangan yang dilakukan, hasilnya seperti yang terlihat pada Gambar 4.27. Regangan pada konstruksi *transverse plane watertight bulkhead* adalah sebesar 0,00127301. Sedangkan regangan pada konstruksi *corrugated watertight bulkhead* adalah sebesar 0,000237371 lebih kecil dari regangan konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*. Hal ini dapat terjadi karena besarnya *displacement* dari masing-masing sekat. Karena regangan merupakan bagian dari deformasi. Regangan sekat *corrugated* lebih kecil karena *displacement*-nya mempunyai nilai yang rendah pula. Regangan merupakan ukuran

mengenai seberapa jauh benda tersebut berubah bentuk. Pada daerah elastis, tegangan berbanding lurus dengan regangan. Semakin besar tegangan yang terjadi, semakin besar pula regangan. Sebaliknya, semakin rendah tegangan yang terjadi semakin rendah pula regangannya. Hukum hooke menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang linear atau proporsional antara tegangan dan regangan suatu material. Perbandingan antara tegangan dan regangan suatu benda disebut modulus elastisitas atau *modulus young*. Besarnya pertambahan panjang yang terjadi tergantung pada elastisitas bahannya dan seberapa besar gaya yang bekerja terhadapnya. Semakin elastis sebuah benda, maka semakin mudah benda tersebut untuk dipanjangkan atau dipendekkan. Semakin besar gaya yang bekerja pada suatu benda, semakin besar pula tegangan dan regangan yang terjadi pada benda tersebut. Jika gaya yang bekerja berupa gaya tekan, maka benda akan mengalami pemendekan, sedangkan jika gaya yang bekerja berupa beban tarik, maka benda akan mengalami perpanjangan.

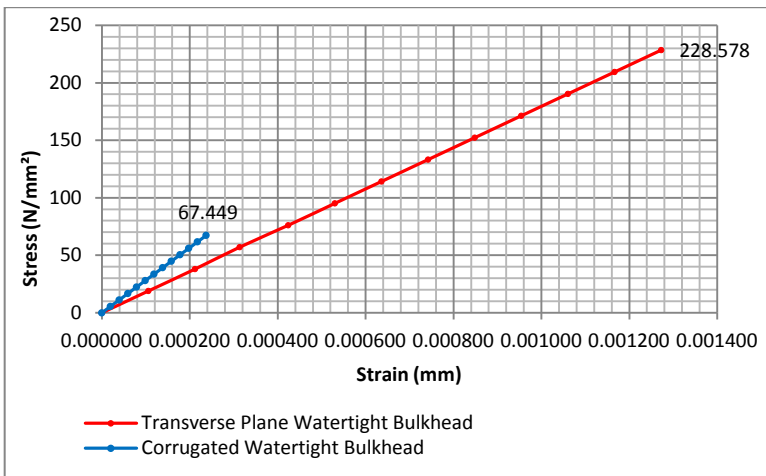


Gambar 4.27 Analisa regangan (*strain*) pada konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*





Gambar 4.28 Analisa regangan (*strain*) pada konstruksi *corrugated watertight bulkhead*

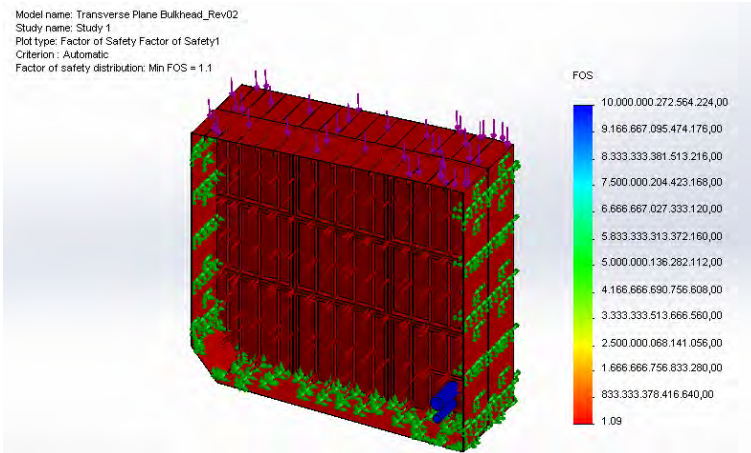


Gambar 4.29 Grafik tegangan-regangan kedua konstruksi sekat

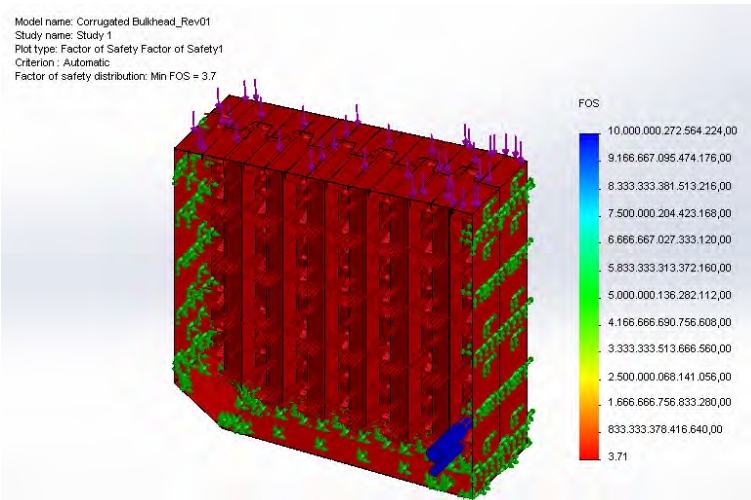
#### 4.8.4 Faktor Keselamatan (FOS)

Faktor keselamatan atau *Factor of Safety* (FOS) adalah tolok ukur yang digunakan dalam menentukan kualitas suatu benda. Secara perhitungan, faktor keselamatan adalah perbandingan antara besarnya beban batas kekuatan material dengan beban yang terjadi pada desain suatu benda. Jika FOS minimal kurang dari 1, maka benda tersebut kualitasnya kurang baik, tidak aman untuk digunakan, cenderung membahayakan. Sebaliknya, jika benda tersebut mempunyai FOS lebih besar dari 1, maka benda tersebut dinyatakan mempunyai kualitas yang baik, aman dan layak untuk digunakan. Namun apabila suatu benda mempunyai nilai dari FOS lebih dari 100 atau lebih, maka benda tersebut berkualitas baik, aman untuk digunakan namun harganya relatif mahal dan lebih cenderung memiliki berat yang lebih besar karena material yang digunakan sangat banyak.

Dalam buku *The Mechanical Design Process, Second Edition*, dinyatakan bahwa faktor *safety* yang diijinkan adalah antara 1 sampai dengan 1,1 untuk pembebanan yang diketahui yaitu beban statis. Dari hasil analisa *factor of safety*, konstruksi *transverse plane watertight bulkhead* mempunyai faktor keamanan sebesar 1,1. Sedangkan konstruksi *corrugated watertight bulkhead* mempunyai faktor keamanan sebesar 3,7. Hal ini berarti kedua konstruksi sekat ini masih dalam kategori aman untuk digunakan karena dalam pengujian simulasi, perhitungan beban yang dimasukkan adalah perhitungan beban pada beban maksimal. Hanya saja akan berpengaruh pada *life time* benda tersebut, semakin besar *factor of safety* nya maka semakin panjang pula masa pakainya. Harus juga diperhitungkan bahwa semakin besar *factor of safety* menjadikan biaya bahan baku menjadi lebih mahal karena akan menjadi semakin besar dan berat.



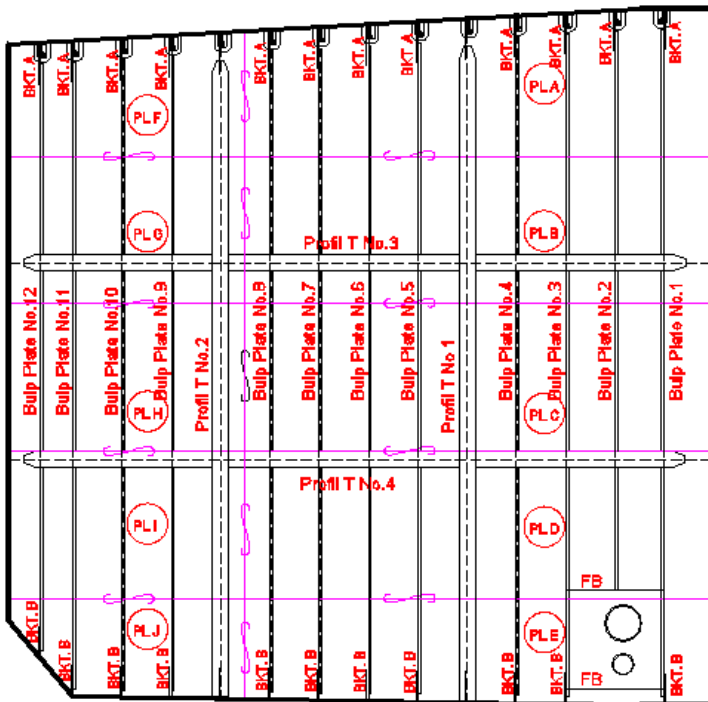
Gambar 4.30 Analisa *factor of safety* pada konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*



Gambar 4.31 Analisa *factor of safety* pada konstruksi *corrugated watertight bulkhead*

#### 4.9 Analisa Perbandingan Berat Konstruksi Sekat

Setelah ditentukan ukuran dan dimensi masing-masing komponen konstruksi sekat, maka perhitungan berat konstruksi sekat dapat diketahui. Perhitungan total berat konstruksi yang dilakukan adalah perhitungan model konstruksi sekat dengan komponen penunjangnya (penegar dan *bracket*) saja. Komponen yang ada pada sekat membujur, *deck*, *bottom*, dan *double hull* tidak dihitung karena perhitungan hanya fokus pada komponen sekat melintang. Gambar 4.30 menunjukkan komponen (yang berwarna merah) yang akan dilakukan perhitungan berat pada konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*.



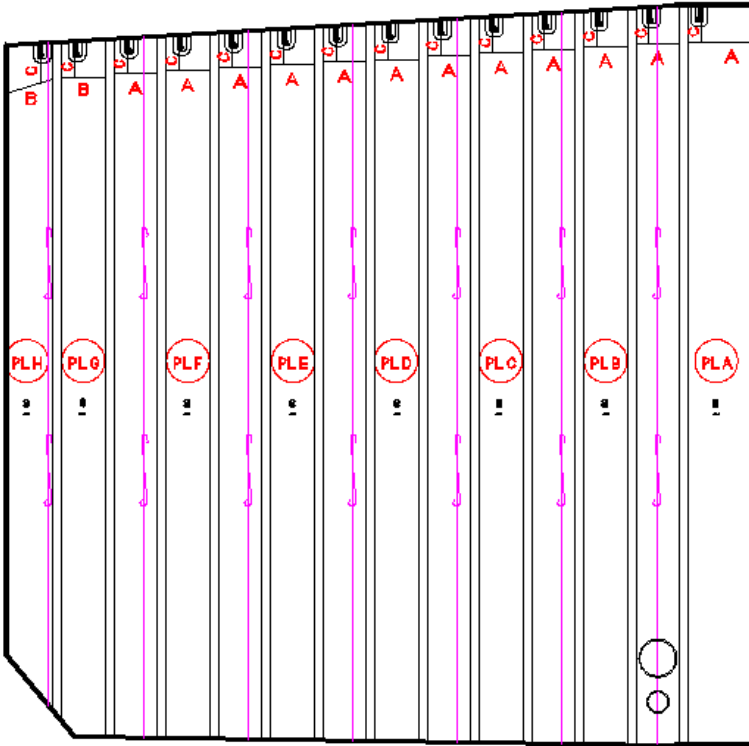
Gambar 4.32 Pemberian nama komponen konstruksi sekat kedap berpenegar

Tabel 4.8 Tabel perhitungan berat total konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*

No	Nama Komponen	Ukuran (mm)			Area (m <sup>2</sup> )	Panjang (m)	Berat satuan		Jumlah	Berat (kg)
		Panjang	Lebar	Tebal			(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m)		
1	Pelat sekat A	5700	1800	7	9.598		7850		1	527.406
2	Pelat sekat B	5700	1800	7	10.260		7850		1	563.787
3	Pelat sekat C	5700	1800	7	10.260		7850		1	563.787
4	Pelat sekat D	5700	1800	7	10.260		7850		1	563.787
5	Pelat sekat E	5700	1300	7	7.243		7850		1	398.005
6	Pelat sekat F	2900	1524	7	4.178		7850		1	229.599
7	Pelat sekat G	2900	1800	7	5.220		7850		1	286.839
8	Pelat sekat H	2900	1800	7	5.220		7850		1	286.839
9	Pelat sekat I	2900	1800	7	5.220		7850		1	286.839
10	Pelat sekat J	2900	1230	7	3.132		7850		1	172.101
11	Profil T No 1	200	350	9	0.005	7.988	7850		1	305.315
12	Profil T No 2	200	350	9	0.005	7.772	7850		1	297.059
13	Profil T No 3	200	350	9	0.005	8.065	7850		1	308.258
14	Profil T No 4	200	350	9	0.005	8.065	7850		1	308.258
15	Bracket tipe A	270	270	9	0.054		7850		12	45.686

No	Nama Komponen	Ukuran (mm)			Area (m <sup>2</sup> )	Panjang (m)	Berat satuan		Jumlah	Berat (kg)
		Panjang	Lebar	Tebal			(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m)		
16	<i>Bracket tipe B</i>	270	270	9	0.054		7850		11	41.879
17	<i>Flat Bar</i>	1182	150	9	0.177		7850		2	25.052
18	<i>Bulp Plate No 1</i>		180	9	0.002	8.140		16.2	1	131.868
19	<i>Bulp Plate No 2</i>		180	9	0.002	6.283		16.2	1	101.785
20	<i>Bulp Plate No 3</i>		180	9	0.002	8.080		16.2	1	130.896
21	<i>Bulp Plate No 4</i>		180	9	0.002	8.036		16.2	1	130.183
22	<i>Bulp Plate No 6</i>		180	9	0.002	7.950		16.2	1	128.790
23	<i>Bulp Plate No 7</i>		180	9	0.002	7.907		16.2	1	128.093
24	<i>Bulp Plate No 8</i>		180	9	0.002	7.864		16.2	1	127.397
25	<i>Bulp Plate No 9</i>		180	9	0.002	7.821		16.2	1	126.700
26	<i>Bulp Plate No 11</i>		180	9	0.002	7.734		16.2	1	125.291
27	<i>Bulp Plate No 12</i>		180	9	0.002	7.691		16.2	1	124.594
28	<i>Bulp Plate No 13</i>		180	9	0.002	7.648		16.2	1	123.898
29	<i>Bulp Plate No 14</i>		180	9	0.002	7.150		16.2	1	115.830
<b>Total</b>									<b>51</b>	<b>6705.820</b>

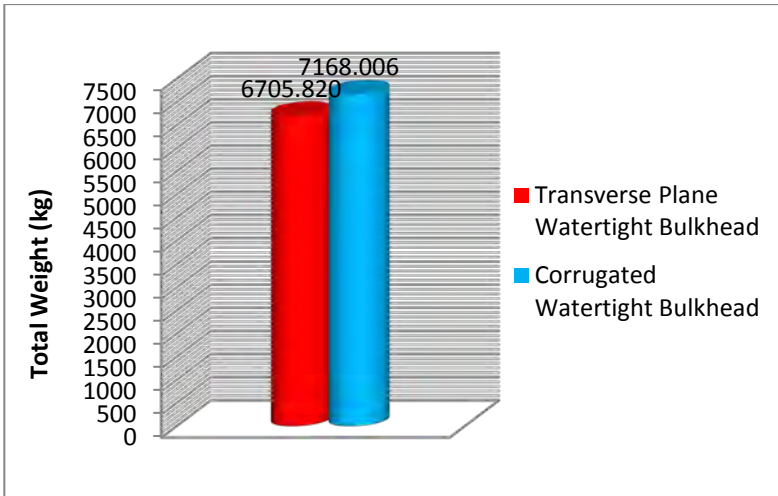
Gambar 4.33 menunjukkan komponen (yang berwarna merah) yang akan dilakukan perhitungan berat pada konstruksi *corrugated watertight bulkhead*. Komponen-komponen tersebut terdiri dari pelat sekat yaitu Pelat A, B, C, D, E, F, G, H, *Bracket* tipe A, *Bracket* tipe B dan *Bracket* tipe C.



Gambar 4.33 Pemberian nama komponen konstruksi sekat kedap bergelombang







Gambar 4.34 Total berat masing-masing konstruksi sekat

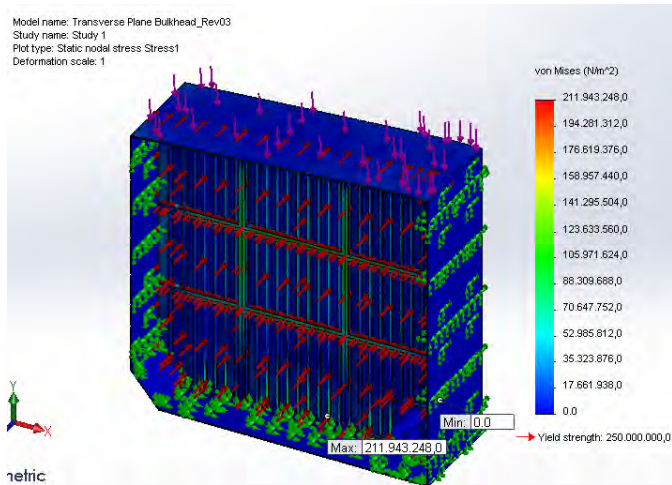
Dari hasil perhitungan berat total kedua konstruksi sekat, maka bisa diperoleh berat total konstruksi *transverse plane watertight bulkhead* adalah sebesar 6705,820 kg atau 6,7 Ton. Sedangkan untuk konstruksi *corrugated watertight bulkhead* berat total yang didapatkan adalah sebesar 7168,006 kg atau 7,1 Ton. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa konstruksi *corrugated watertight bulkhead* memiliki berat lebih besar 6,45% dari berat konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*. selisih sebesar 6,45% ini baru selisih antar satu sekat belum sekat lainnya, sedangkan ada 8 sekat melintang dalam 1 kapal tentunya sangat berpengaruh. Hal ini disebabkan karena semakin besar luasan penampang, maka akan mempengaruhi berat penampang tersebut (semakin berat). Meskipun komponen dari konstruksi *corrugated watertight bulkhead* lebih sedikit dari komponen konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*, namun perbedaan berat yang lumayan jauh disebabkan oleh perbedaan tebal pelat sekatnya. Berdasarkan perhitungan tebal pelat sekat

masing-masing dari sub bab sebelumnya diperoleh tebal pelat sekat berpenegar adalah 7 mm dan tebal pelat sekat bergelombang adalah 8 mm.

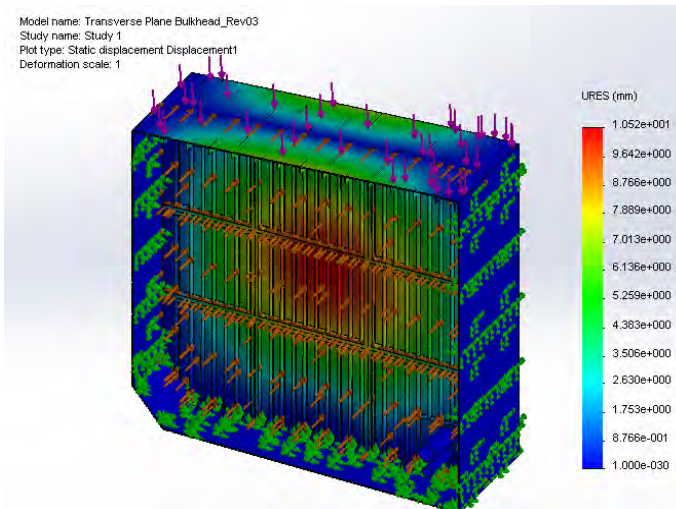
Untuk lebih dapat mengetahui efisiensi kedua sekat kedap melintang, maka dilakukan perubahan atau perbaikan desain. Faktor safety yang dihasilkan oleh *transverse plane watertight bulkhead* mencapai 1,1, sedangkan *factor of safety* dari *corrugated watertight bulkhead* mencapai hingga angka 3,7. Dalam hal ini, maka dilakukan perubahan desain pada konstruksi *transverse plane watertight bulkhead* agar mencapai *factor of safety* yang sama dengan *corrugated watertight bulkhead*.

Percobaan pertama adalah merubah desain yang sudah ada dengan penambahan komponen-komponen Pada perhitungan yang dilakukan pada sub bab sebelumnya, didapatkan ukuran dan dimensi penegar yang akan digunakan. Untuk mendapatkan *factor of safety* yang lebih besar dari yang sudah dihasilkan, maka dilakukan penambahan tebal pelat sebesar 25 mm dengan penambahan penegar sebanyak 12 buah pada konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*. Dengan cara dan langkah-langkah yang sama model konstruksi sekat berpenegar yang diberi tambahan penegar dapat di *meshing* dan *running* menggunakan program *solidworks*.

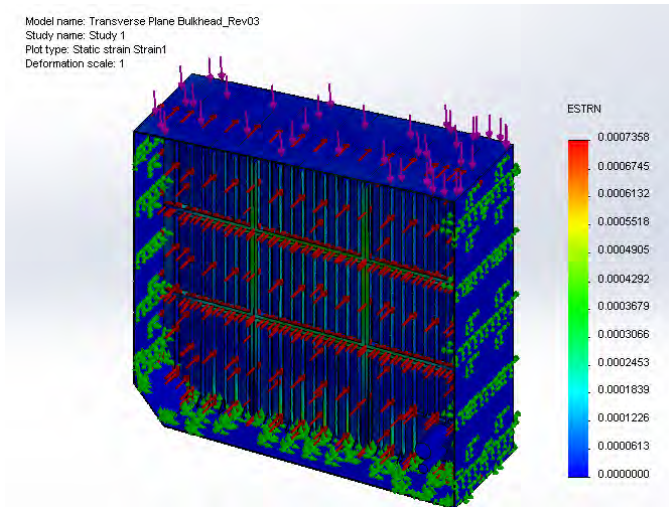
Setelah dilakukan perubahan desain pada *transverse plane watertight bulkhead* dengan menambah jumlah stiffener dan penebalan tebal pelat. Tegangan yang dihasilkan sebesar 211,943, regangan sebesar 0,0007358, *displacement* sebesar 10,52 dan *factor of safety* sebesar 1,2. Perbedaan yang dihasilkan pada desain sebelumnya tidak terlalu signifikan, *factor of safety* yang dihasilkan hanya selisih lebih dari 0,1 dari desain sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *stiffener* hanya berpengaruh sedikit dalam faktor keamanan yang dihasilkan oleh konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*. Hasil dari perubahan desain pada percobaan 1 ini menghasilkan berat konstruksi sebesar 30942,531 kg.



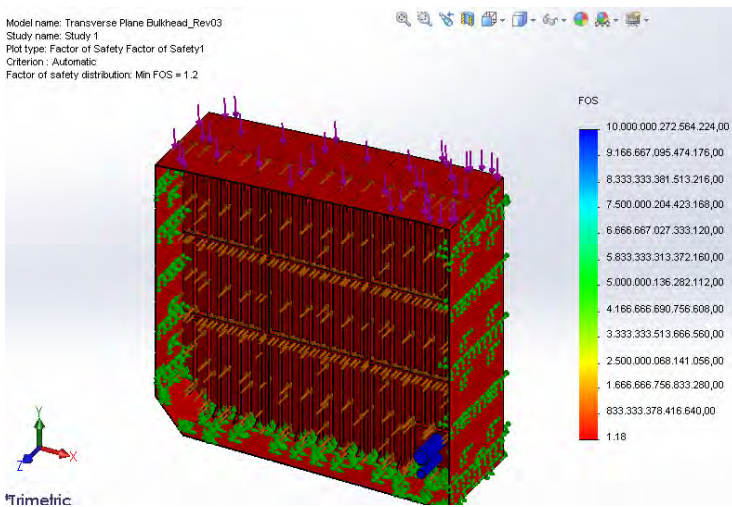
Gambar 4.35 Tegangan konstruksi dengan penambahan *stiffener*



Gambar 4.36 *Displacement* pada konstruksi dengan penambahan *stiffener*



Gambar 4.37 Regangan pada konstruksi dengan penambahan *stiffener*

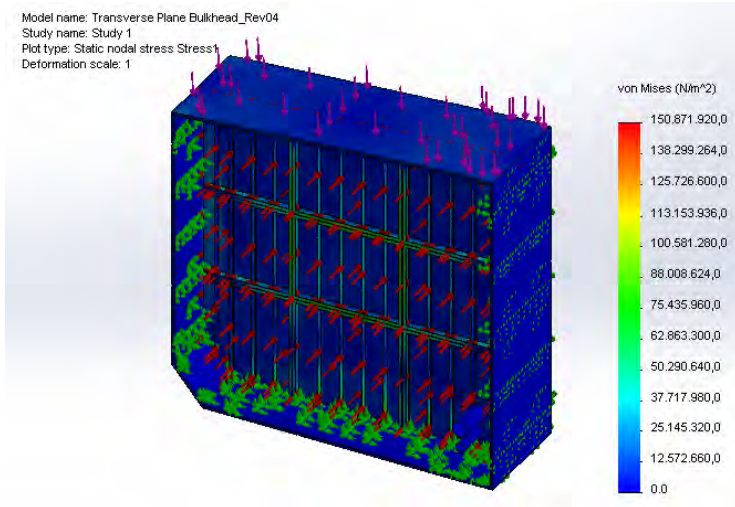


Gambar 4.38 FOS pada konstruksi dengan penambahan *stiffener*

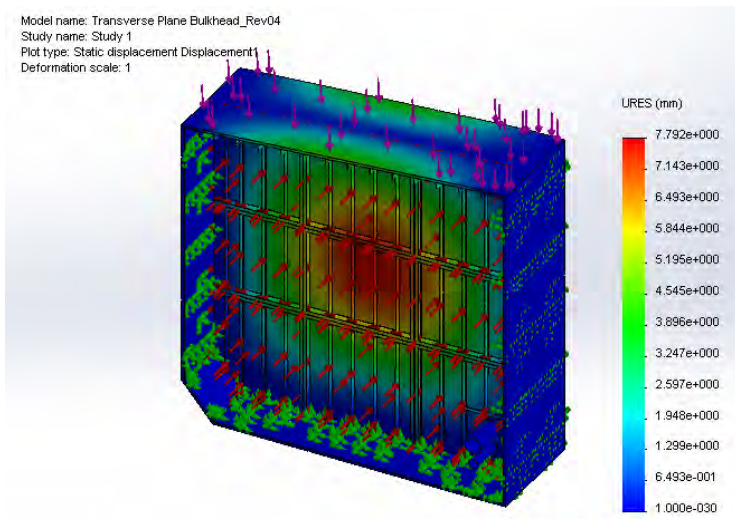
Percobaan kedua adalah menambah ketebalan pelat sekat, bracket dan perubahan ukuran *stiffener* tanpa menambah jumlah *stiffener*. Penambahan tebal pelat sekat dan *bracket* sesuai dengan ketentuan dari perhitungan yang dilakukan pada sub bab berikutnya. Tebal pelat sekat yang direncanakan tidak boleh kurang dari 7 mm sesuai perhitungan, sehingga apabila tebal pelat yang direncanakan lebih dari 7 mm masih diperbolehkan. Pada perencanaan percobaan kedua ini, tebal pelat sekat yang digunakan adalah sebesar 50 mm. Sedangkan untuk penambahan tebal pelat pada *bracket* direncanakan sebesar 5 mm, jadi tebal *bracket* yang semula sebesar 9 mm menjadi 14 mm. Penebalan pelat pada *bracket* bertujuan untuk memperkecil tegangan yang terjadi, sebagaimana diketahui bahwa tegangan terbesar atau daerah kritis terjadi pada sambungan *bracket* dengan *stiffenernya*. Ukuran profil atau penegar atau *stiffener* yang digunakan adalah BP 200x10 dengan modulus penampang sebesar  $237 \text{ cm}^3$ .

Setelah dilakukan perubahan desain pada *transverse plane watertight bulkhead* dengan menambah ketebalan pelat sekat, bracket dan penggantian ukuran *stiffener*, didapatkan hasil sebagai berikut: Tegangan yang dihasilkan sebesar 150,871, regangan sebesar 0,0005615, *displacement* sebesar 7,792 dan *factor of safety* sebesar 1,7.

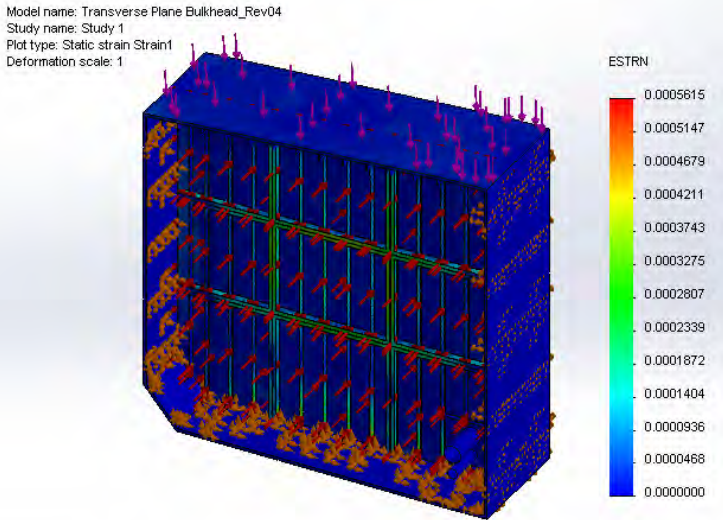
Perhitungan berat yang dihasilkan pada percobaan 2 ini dengan penambahan tebal pelat sekat, pelat *bracket* dan perubahan *stiffener* menghasilkan berat konstruksi sebesar 30942,531 kg. Dengan kenaikan faktor *safety* sebesar 1,7, berat konstruksi yang dihasilkan adalah sebesar 30942,531 kg. Hal ini sangat berpengaruh, semakin besar faktor *safety* konstruksinya semakin besar pula berat konstruksinya.



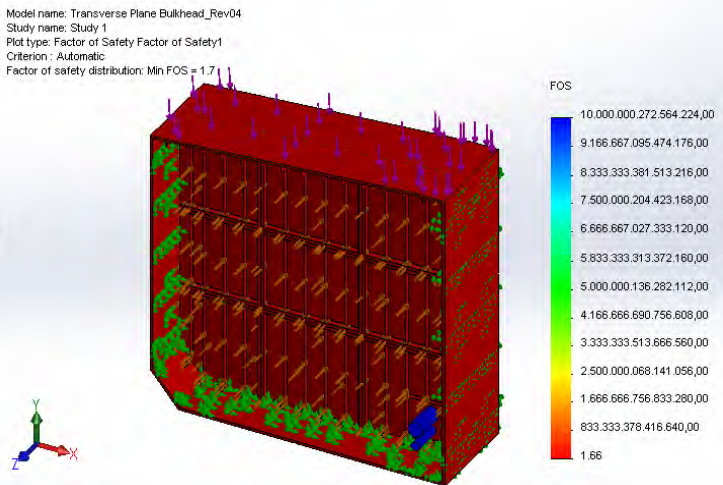
Gambar 4.39 Tegangan konstruksi dengan penebalan pelat



Gambar 4.40 *Displacement* konstruksi dengan penebalan pelat



Gambar 4.41 Regangan konstruksi dengan penebalan pelat



Gambar 4.42 FOS konstruksi dengan penebalan pelat

Tabel 4.10 Perbandingan hasil FOS dengan berat konstruksi

Nama Komponen	FOS	Total Weight (kg)
Transverse Plane Watertight Bulkhead	1.1	6705.820
Corrugated Watertight Bulkhead	3.7	7168.006
Transverse Plane Watertight Bulkhead Percobaan 1	1.2	18235.564
Transverse Plane Watertight Bulkhead Percobaan 2	1.7	30942.531

Tabel 4.10 menunjukkan perbandingan hasil *Factor of Safety* (FOS) dengan berat konstruksi yang dihasilkan oleh kedua konstruksi sekat. Hasil simulasi awal (sesuai perhitungan) pada konstruksi *transverse plane watertight bulkhead* menunjukkan bahwa berat konstruksinya jauh di bawah berat konstruksi *corrugated* dengan faktor safety 1,1. Setelah dilakukan percobaan kembali, dengan 2 kali percobaan yang berbeda, yang pertama dengan menambah jumlah *stiffener* dan yang kedua adalah dengan menambah tebal pelat dan mengganti ukuran *stiffener* tanpa menambah jumlah *stiffener* yang dipasang. Percobaan ini bertujuan untuk mendapatkan faktor safety yang lebih besar atau bahkan sama dengan konstruksi *corrugated watertight bulkhead*. Pada percobaan pertama terlihat kenaikan faktor safety yaitu 1,2 disertai dengan kenaikan berat konstruksi sebesar 18235,564 kg. Pada percobaan kedua juga menghasilkan kenaikan yang sama, yaitu kenaikan faktor safety 1,7 di sertai dengan kenaikan berat konstruksi sebesar 30942.531 kg. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar faktor safety nya semakin besar pula berat konstruksinya. Dengan faktor safety paling tinggi yaitu 1,7, konstruksi *transverse plane watertight bulkhead* mempunyai berat konstruksi jauh lebih besar yaitu 30942,531 kg. Sedangkan pada konstruksi *corrugated watertight bulkhead*, faktor safety



terbesar adalah 3,7 dengan berat konstruksi jauh di bawah konstruksi *transverse plane watertight bulkhead* yaitu sebesar 7168,006 kg, hampir 4 kali lipat lebih kecil. Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa konstruksi *corrugated watertight bulkhead* lebih efisien dari segi berat konstruksi dibandingkan konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*.

#### 4.10 Analisa Keuntungan dan Kerugian Konstruksi Sekat

Keuntungan *corrugated watertight bulkhead* dibandingkan dengan *transverse plane watertight bulkhead* adalah dalam hal kekuatan konstruksi. Seperti yang dibahas dalam sub bab sebelumnya, konstruksi *transverse plane watertight bulkhead* memiliki faktor keselamatan sebesar 1,1. Sedangkan pembandingnya yaitu *corrugated watertight bulkhead* memiliki faktor keselamatan lebih besar yaitu 3,71. Hal ini menunjukkan kedua sekat memiliki *factor of safety* yang tergolong aman dan masih layak untuk digunakan, tapi konstruksi *transverse plane watertight bulkhead* memiliki *factor of safety* yang mendekati tapi melampaui batas aman analisa beban statis, yang dianjurkan mempunyai faktor safety lebih dari 1,00. Masih bisa digunakan tapi lebih beresiko bila dibandingkan dengan konstruksi *corrugated watertight bulkhead* yang memiliki faktor safety diatas 3,00. Dikhawatirkan, masa pakai atau *life time* konstruksi *transverse plane watertight bulkhead* lebih pendek dari *corrugated watertight bulkhead*. Bisa jadi konstruksi sekat bergelombang bisa bertahan selama 10 tahun tanpa repair, konstruksi sekat berpenegar hanya 5-7 tahun sudah mengalami berbagai macam kondisi yang membuat masuk docking, misalnya pelatnya keropos, mengikis, deformasi, bahkan bocor.

Keuntungan lain dari konstruksi *corrugated watertight bulkhead* dibandingkan dengan *transverse plane watertight bulkhead* adalah dari segi berat konstruksi, konstruksi sekat bergelombang memiliki berat yang lebih ringan dari konstruksi sekat berpenegar (setelah dilakukan dua percobaan peningkatan

*factor of safety*). Seperti yang kita tahu bahwa semakin ringan berat konstruksi kapal, akan mempengaruhi LWT, sehingga DWT juga akan berpengaruh. Dengan *displacement* yang sama, LWT lebih kecil (ringan), otomatis DWT bertambah sehingga muatan yang dibawa oleh kapal juga bisa semakin banyak. Dengan membawa jumlah muatan yang bertambah akibat pertambahan jumlah muatan karena berkurangnya LWT, maka pengangkutan muatan dalam satu kali pelayaran bisa bertambah sehingga dapat meminimasi waktu dan biaya bongkar muat muatan.

Kemudian dari segi pembersihan muatan. Untuk kapal tanker atau kapal lain yang bermuatan cair, konstruksi *corrugated watertight bulkhead* ini menguntungkan karena sisa-sisa cairan atau muatan tidak bisa mengendap bagian-bagian tekukan profil maupun *bracket*. Bentuknya yang bergelombang memudahkan cairan tidak tersumbat atau tergenang sehingga memudahkan dalam proses pembersihan tangki-tangki muatan.

Kerugian dari konstruksi *corrugated watertight bulkhead* adalah tentu dari segi biaya. Semakin berat konstruksi, semakin besar biaya produksinya. Karena konstruksi *corrugated watertight bulkhead* ini menggunakan pelat lebih tebal dari konstruksi sekat berpenegar (apabila dilakukan berdasarkan hasil ketentuan perhitungan BKI), maka biayanya juga akan sangat tinggi. Proses pembendingan untuk bentuk yang bergelombang juga memiliki banyak kendala dalam pembuatannya. Disamping sudut tekukan atau bendingnya harus sesuai dengan desain, membending atau membengkokkan pelat dengan ketebalan tertentu juga dibutuhkan mesin bending khusus yang sesuai. Hal ini berkebalikan dengan konstruksi *transverse plane watertight bulkhead* yang hanya terdiri dari sambungan pelat pelat datar yang kemudian diberi penegar sebagai penguatan konstruksinya. Tentunya juga tidak banyak pengelasan yang dilakukan bila dibandingkan konstruksi *transverse plane watertight bulkhead* yang memiliki banyak detail komponen.

Dari segi pemasangan pipa yang menembus sekat kedap, konstruksi *transverse plane watertight bulkhead* lebih

diuntungkan karena di daerah bagian yang tertembus pipa, konsentrasi tegangannya tidak seberapa besar karena luas penampang disekitar daerah pipa tersebut masih lebar, sehingga gaya yang diterima sekat karena adanya pipa masih bisa didistribusikan secara langsung ke pelatnya yang datar. Sedangkan konstruksi *corrugated watertight bulkhead* memiliki kelemahan apabila sekatnya ditembus oleh pipa. Seperti yang dilakukan dalam sub bab sebelumnya, konsentrasi tegangan yang terjadi bahkan terbesar ada di daerah sekitar pipa yang menembus sekat. Harus ada perlakuan khusus dalam hal penembusan pipa tersebut, jarak dan letak penembusan pipa harus lebih diperhitungkan. Dalam kasus ini, penebalan pelat disekitar daerah yang tertembus pipa lebih dianjurkan untuk mengurangi besarnya tegangan yang terjadi didaerah tersebut.

Untuk kapal-kapal model dan tipe lama, masih konsisten dengan menggunakan konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*. Sedangkan untuk kapal-kapal pembangunan baru dengan tahun pembangunan di atas 1990-an sudah menggunakan konstruksi *corrugated watertight bulkhead*. Bahkan tidak hanya kapal yang mengangkut muatan cair yang menggunakan sekat bergelombang, baru-baru ini juga banyak dijumpai kapal-kapal *cargo* dan *barge* yang menggunakan konstruksi *corrugated watertight bulkhead*.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa yang dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*, tegangan terbesar senilai 228,58 N/mm<sup>2</sup> terjadi pada bagian bawah *bulp plate* nomor 6. Sedangkan konstruksi *corrugated watertight bulkhead* mempunyai tegangan terbesar sebesar 67,45 N/mm<sup>2</sup> yang terletak di daerah pemasangan pipa yang menembus sekat *corrugated*.
2. *Displacement* yang dihasilkan oleh konstruksi *transverse plane watertight bulkhead* adalah sebesar 12,833 mm, dan *corrugated watertight bulkhead* sebesar 2,815 mm. Regangan (*strain*) pada konstruksi *transverse plane watertight bulkhead* adalah sebesar 0,00127301. Sedangkan regangan pada konstruksi *corrugated watertight bulkhead* adalah sebesar 0,000237371 lebih kecil dari regangan konstruksi *transverse plane watertight bulkhead*. Dari hasil analisa *factor of safety*, konstruksi *transverse plane watertight bulkhead* mempunyai faktor keamanan sebesar 1,1. Sedangkan konstruksi *corrugated watertight bulkhead* mempunyai faktor keamanan sebesar 3,7.
3. Dari hasil perhitungan berat total kedua konstruksi sekat, maka bisa diperoleh berat total konstruksi *transverse plane watertight bulkhead* adalah sebesar 6705,820 kg atau 6,7 Ton. Sedangkan untuk konstruksi *corrugated watertight bulkhead* berat total yang didapatkan adalah sebesar 7168,006 kg atau 7,1 Ton.
4. Keuntungan *corrugated watertight bulkhead* dibandingkan dengan *transverse plane watertight bulkhead* adalah dari segi kekuatan konstruksi yang terlihat dari faktor keamanannya,

berat konstruksinya apabila mengacu pada perhitungan faktor safety yang berimbang, pembersihan pada tangki muatan, pengelasan lebih sedikit karena model lebih sederhana. Kerugiannya adalah daerah yang ditembus pipa sangat rawan atau merupakan daerah terlemah sehingga dibutuhkan penebalan pelat.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan sehubungan dengan penulisan skripsi ini adalah penulis menyarankan kepada para pembaca atau ada yang mengangkat tema ini lebih mendetail, dengan penambahan bahasan dan analisa seperti menguji kekuatan kedua konstruksinya menggunakan beban *sloshing*.

Penulis menyarankan kepada desainer dan perusahaan galangan yang akan merencanakan produksi pembangunan kapal baru agar memperhatikan detail pemilihan material yang akan digunakan untuk pembangunan kapal baru sehingga nantinya bisa menghasilkan keuntungan produksi dengan kualitas maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

1. PT. Biro Klasifikasi Indonesia. **Rules for The Classification and Construction of Sea Going Steel Ship Volume II: Rules for Hull**. 2014. Jakarta: Indonesia.
2. PT. Biro Klasifikasi Indonesia. **Rules for The Classification and Construction of Sea Going Steel Ship Volume III: Rules for Machinery Installation**. 2014. Jakarta: Indonesia.
3. Kusna Djaya, Indra. 2008. **Teknik Konstruksi Kapal Baja**. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Departemen Pendidikan Nasional.
4. Pujo Mulyatno, Imam & Amanda, Iqbal. **Analisa Kekuatan Konstruksi Transverse Bulkhead Ruang Muat No.1 Pada 18500 DWT Dry Cargo Vessel Berbasis Metode Elemen Hingga**. hal 16-22.
5. Dinariyana, A. A. B. Dan W. A. Soemartojo. 2011. **Kontruksi Kapal (Ship Constructions)**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
6. Dinariyana, A. A. B. Dan W. A. Soemartojo. 2011. **Sistem Kontruksi Kapal (Ship Framing System)**. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
7. Wahyu Purnomo, Rudy. 2010. **Efisiensi perbandingan konstruksi transverse corrugated watertight bulkhead dibandingkan transverse plane watertight bulkhead pada pembangunan kapal Tanker 6500 LTDW di PT Dok Dan Perkapalan Surabaya**. Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Surabaya.
8. Suga, Hayato; Hayashi, Tastuya & Hirano, Koki, **Corrugated Bulkhead Design of Tanker**, Nippon Kaiji Kyokai (Class NK), Tokyo, Japan.
9. The Inexa profil. **Catalogue INEXA PROFIL**. Gmbh. Lindnerstrasse 533, D-W4200 Oberhausen 11, Germany.
10. Pujo, Imam. **Strength Analysis of Container Deck Construction MV. Sinar Demak Effect of Carges**

**Container Using Finite Element Methode.** Department of Naval Engineering, Engineering Faculty Diponegoro University Semarang.

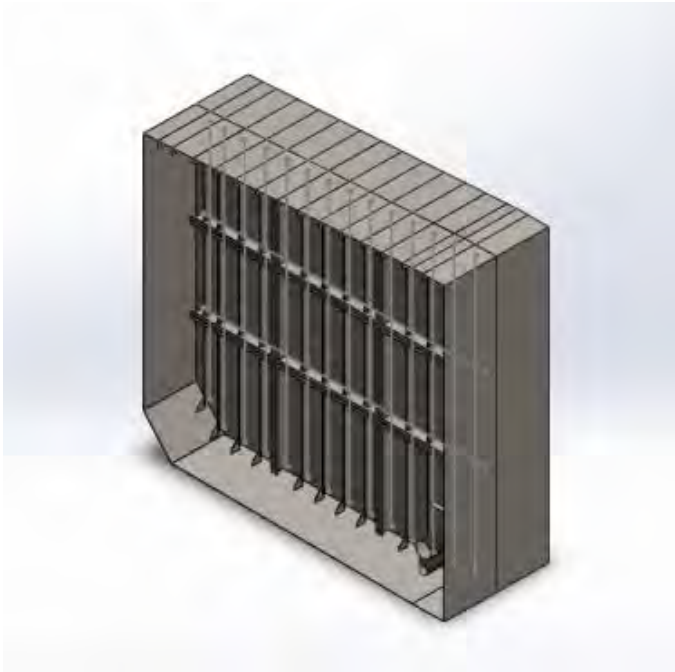
11. Pratama, Anggriawan. 2010. **Analisa Kekuatan Konstruksi Car Deck Pada Kapal KM. Dharma Ferry 3 Dengan Metode Elemen Hingga.** Universitas Diponegoro. Semarang.
12. Libratama Group. Oktober. 2012. **Faktor Keamanan (Safety Factor) dalam Perancangan elemen Mesin.** URL: <http://libratama.com/faktor-keamanansafety-factor-dalam-perancangan-elemen-mesin/>>.

## **BIODATA PENULIS**



Stevan Manuky Putra merupakan anak kedua dari tiga bersaudara yang lahir di Surabaya pada tanggal 8 Januari 1991. Saat ini penulis tinggal di kota Surabaya bersama keluarganya. Penulis telah menyelesaikan pendidikannya di SD Negeri Rangkah VII Surabaya, SMP Negeri 8 Surabaya, SMA Ta'miriyah Surabaya dan pada tahun 2008 menempuh pendidikan Diploma 3 (D3) di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS-ITS) jurusan Teknik Bangunan Kapal program studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal pada. Kemudian melanjutkan studi Lintas Jalur S1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS pada tahun 2012. Penulis menulis Tugas Akhir bidang Marine Manufacturing & Design (MMD).





## Simulation of Transverse Plane Bulkhead

**Date:** 10 Juli 2014  
**Designer:** Stevan Manuky Putra  
**Study name:** Study 1  
**Analysis type:** Static

### Table of Contents

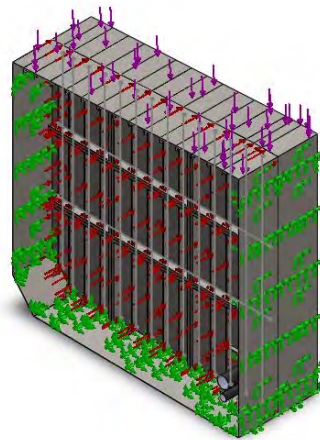
Description.....	1
Assumptions.....	2
Model Information .....	2
Study Properties .....	3
Units .....	4
Material Properties .....	4
Loads and Fixtures.....	5
Connector Definitions.....	5
Contact Information.....	6
Mesh Information .....	7
Sensor Details .....	7
Resultant Forces .....	8
Beams.....	8
Study Results .....	9
Conclusion .....	11

### Description

No Data

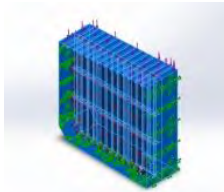
## Assumptions

## Model Information

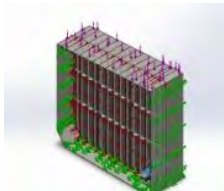


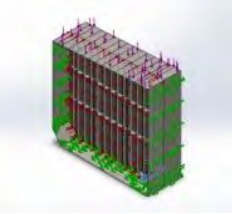
Model name: Transverse Plane Bulkhead\_Rev02  
Current Configuration: Default

### Solid Bodies

Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Boss-Extrude11 	Solid Body	Mass: 15038.9 kg Volume: 1.91578 m <sup>3</sup> Density: 7850 kg/m <sup>3</sup> Weight: 147381 N	C:\Users\Vaio\Documents \EVAN DOC\SOLID EVAN\Transverse Plane Bulkhead_Rev02.SLDPRT Jul 01 23:09:11 2014

### Shell Bodies

Document Name and Reference	Formulation	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Shell-2 	Thin	Thickness: 15.24 mm Weight: 2968.95 N Volume: 0.042077 m <sup>3</sup> Mass: 302.954 kg Density: 7200kg/m <sup>3</sup>	C:\Users\Vaio\Documents \EVAN DOC\SOLID EVAN\Transverse Plane Bulkhead_Rev02.SLDPRT Jul 01 23:09:11 2014

<p>Shell-3</p> 	<p>Thin</p>	<p>Thickness:12.193 mm Weight:1397.76 N Volume:0.0198096 m<sup>3</sup> Mass:142.629 kg Density:7200kg/m<sup>3</sup></p>	<p>C:\Users\Vaio\Documents \EVAN DOC\SOLID EVAN\Transverse Plane Bulkhead_Rev02.SLDPRT Jul 01 23:09:11 2014</p>
--	-------------	---	---

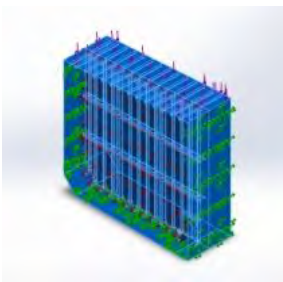
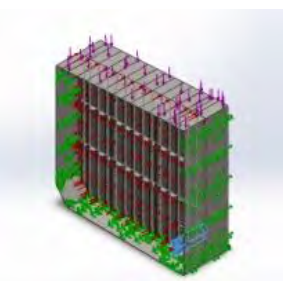
## Study Properties

Study name	Study 1
Analysis type	Static
Mesh type	Mixed Mesh
Thermal Effect:	On
Thermal option	Include temperature loads
Zero strain temperature	298 Kelvin
Include fluid pressure effects from SolidWorks Flow Simulation	Off
Solver type	FFEPlus
Inplane Effect:	Off
Soft Spring:	Off
Inertial Relief:	Off
Incompatible bonding options	Automatic
Large displacement	Off
Compute free body forces	On
Friction	Off
Use Adaptive Method:	Off
Result folder	SolidWorks document (C:\Users\Vaio\Documents\EVAN DOC\SOLID EVAN)

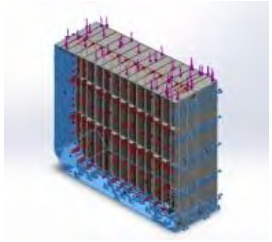
## Units

Unit system:	SI (MKS)
Length/Displacement	mm
Temperature	Kelvin
Angular velocity	Rad/sec
Pressure/Stress	N/m <sup>2</sup>

## Material Properties

Model Reference	Properties	Components
	<p><b>Name:</b> ASTM A36 Steel  <b>Model type:</b> Linear Elastic Isotropic  <b>Default failure criterion:</b> Max von Mises Stress  <b>Yield strength:</b> 2.5e+008 N/m<sup>2</sup>  <b>Tensile strength:</b> 4e+008 N/m<sup>2</sup>  <b>Elastic modulus:</b> 2e+011 N/m<sup>2</sup>  <b>Poisson's ratio:</b> 0.26  <b>Mass density:</b> 7850 kg/m<sup>3</sup>  <b>Shear modulus:</b> 7.93e+010 N/m<sup>2</sup></p>	SolidBody 7(Boss-Extrude11)(Transverse Plane Bulkhead_Rev0)
Curve Data:N/A		
	<p><b>Name:</b> Gray Cast Iron  <b>Model type:</b> Linear Elastic Isotropic  <b>Default failure criterion:</b> Mohr-Coulomb Stress  <b>Tensile strength:</b> 1.51658e+008 N/m<sup>2</sup>  <b>Compressive strength:</b> 5.72165e+008 N/m<sup>2</sup>  <b>Elastic modulus:</b> 6.61781e+010 N/m<sup>2</sup>  <b>Poisson's ratio:</b> 0.27  <b>Mass density:</b> 7200 kg/m<sup>3</sup>  <b>Shear modulus:</b> 5e+010 N/m<sup>2</sup>  <b>Thermal expansion coefficient:</b> 1.2e-005 /Kelvin</p>	SolidBody 10(Body-Move/Copy62[2])(Transverse Plane Bulkhead_Rev0), SolidBody 11(Body-Move/Copy62[1])(Transverse Plane Bulkhead_Rev0), Shell-2(SolidBody 11(Body-Move/Copy62[1]))(Transverse Plane Bulkhead_Rev0), Shell-3(SolidBody 10(Body-Move/Copy62[2]))(Transverse Plane Bulkhead_Rev0)
Curve Data:N/A		

## Loads and Fixtures

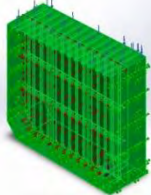
Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
Fixed-2		<b>Entities:</b> 10 face(s) <b>Type:</b> Fixed Geometry		
<b>Resultant Forces</b>				
<b>Components</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultant</b>
Reaction force(N)	-4429.94	97166.9	1.05325e+006	1.05774e+006
Reaction Moment(N-m)	0	0	0	1e-033

Load name	Load Image	Load Details
Pressure-1		<b>Entities:</b> 1 face(s) <b>Type:</b> Normal to selected face <b>Value:</b> 15444 <b>Units:</b> N/m <sup>2</sup>
Force-2		<b>Entities:</b> 2 face(s) <b>Type:</b> Apply normal force <b>Value:</b> 98000 N

## Connector Definitions

No Data

## Contact Information

Contact	Contact Image	Contact Properties
Component Contact-2		<b>Type:</b> Bonded <b>Components:</b> 3 Solid Body (s) <b>Options:</b> Compatible mesh

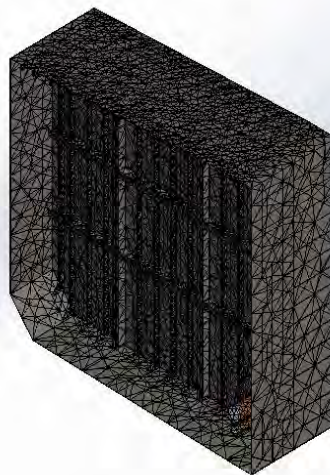
## Mesh Information

Mesh type	Mixed Mesh
Mesher Used:	Curvature based mesh
Jacobian points	4 Points
Jacobian check for shell	On
Maximum element size	561.372 mm
Minimum element size	112.274 mm
Mesh Quality	High

## Mesh Information - Details

Total Nodes	110435
Total Elements	55720
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:03:05
Computer name:	VAIO-PC

Model name: Transverse Plane Bulkhead\_Rev02  
Study name: Study 1  
Mesh type: Mixed mesh



## Sensor Details

No Data

## Resultant Forces

### Reaction Forces

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N	-4429.94	97166.9	1.05325e+006	1.05774e+006

### Reaction Moments

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N-m	0	0	0	1e-033

## Beams

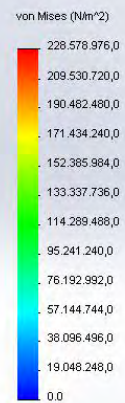
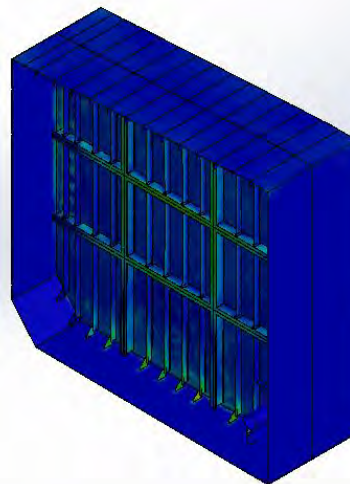
No Data



## Study Results

Name	Type	Min	Max
Stress1	VON: von Mises Stress	0 N/m <sup>2</sup> Node: 109266	2.28579e+008 N/m <sup>2</sup> Node: 26027

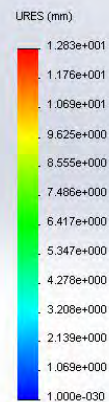
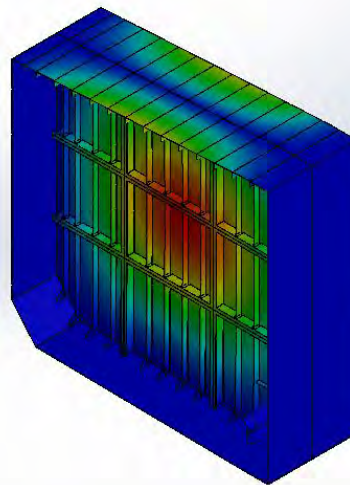
Model name: Transverse Plane Bulkhead\_Rev02  
Study name: Study 1  
Plot type: Static nodal stress Stress1  
Deformation scale: 1



Transverse Plane Bulkhead\_Rev02-Study 1-Stress-Stress1

Name	Type	Min	Max
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 47	12.833 mm Node: 11319

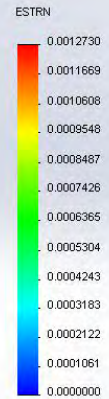
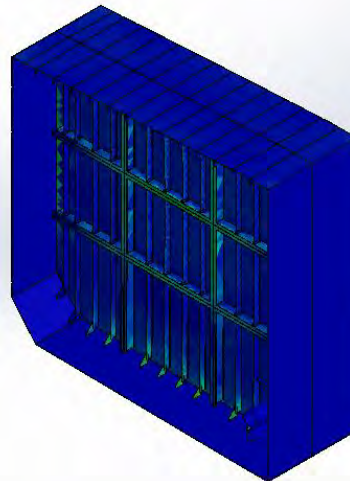
Model name: Transverse Plane Bulkhead\_Rev02  
Study name: Study 1  
Plot type: Static displacement Displacement1  
Deformation scale: 1



Transverse Plane Bulkhead\_Rev02-Study 1-Displacement-Displacement1

Name	Type	Min	Max
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	0 Element: 55153	0.00127301 Element: 3929

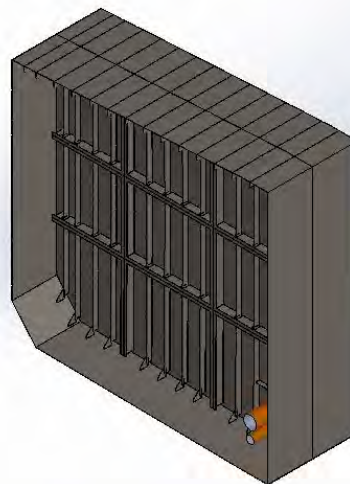
Model name: Transverse Plane Bulkhead\_Rev02  
Study name: Study 1  
Plot type: Static strain Strain1  
Deformation scale: 1



Transverse Plane Bulkhead\_Rev02-Study 1-Strain-Strain1

Name	Type
Displacement1{1}	Deformed Shape

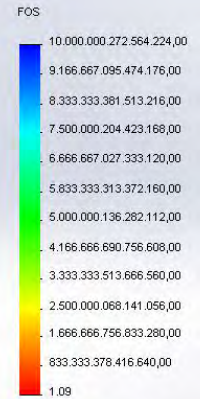
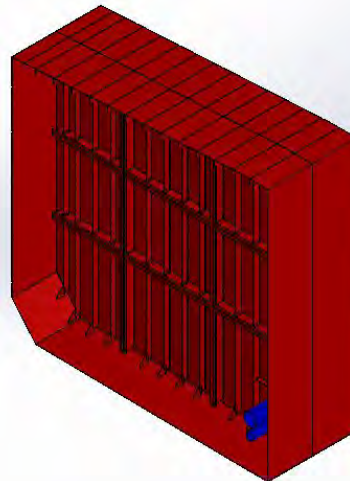
Model name: Transverse Plane Bulkhead\_Rev02  
Study name: Study 1  
Plot type: Deformed Shape Displacement1{1}  
Deformation scale: 1



Transverse Plane Bulkhead\_Rev02-Study 1-Displacement-Displacement1{1}

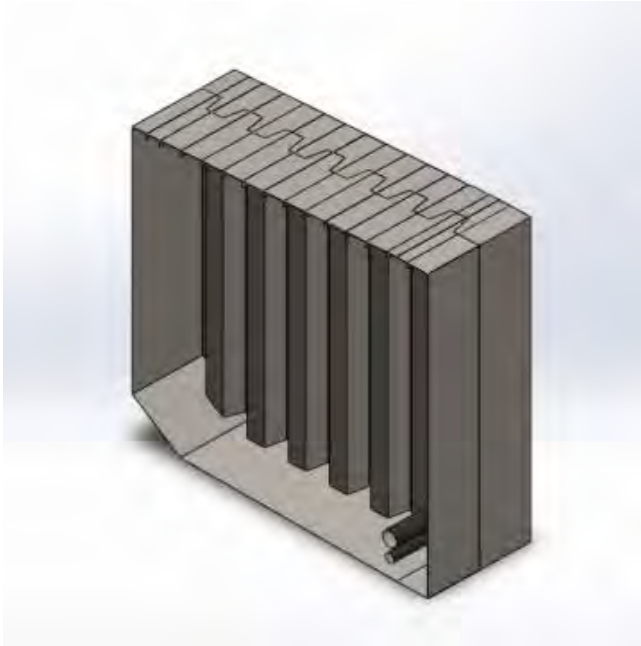
Name	Type	Min	Max
Factor of Safety1	Automatic	1.09371 Node: 26027	1e+016 Node: 109266

Model name: Transverse Plane Bulkhead\_Rev02  
Study name: Study 1  
Plot type: Factor of Safety Factor of Safety1  
Criterion : Automatic  
Factor of safety distribution: Min FOS = 1.1



Transverse Plane Bulkhead\_Rev02-Study 1-Factor of Safety-Factor of Safety1

## Conclusion



## Simulation of Corrugated Bulkhead

Date: 10 Juli 2014  
Designer: Stevan Manuky Putra  
Study name: Study 1  
Analysis type: Static

### Table of Contents

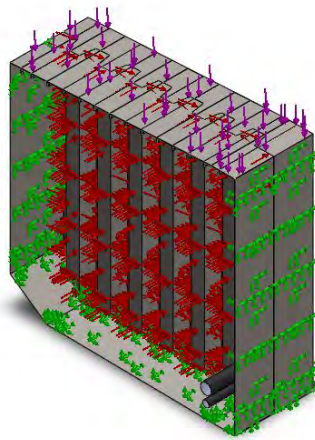
Description.....	1
Assumptions.....	2
Model Information .....	2
Study Properties .....	3
Units .....	4
Material Properties .....	4
Loads and Fixtures.....	5
Connector Definitions.....	5
Contact Information.....	6
Mesh Information .....	7
Sensor Details .....	7
Resultant Forces .....	8
Beams.....	8
Study Results .....	9
Conclusion .....	11

### Description

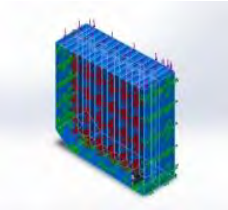
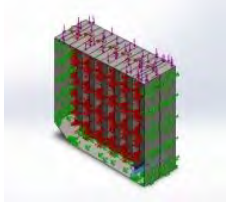
No Data

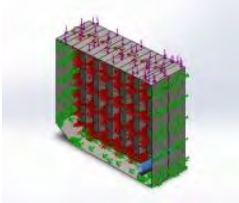
## Assumptions

## Model Information



Model name: Corrugated Bulkhead\_Rev01  
Current Configuration: Default

Solid Bodies			
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Cut-Extrude2 	Solid Body	Mass:16007.9 kg Volume:2.03922 m <sup>3</sup> Density:7850 kg/m <sup>3</sup> Weight:156877 N	C:\Users\Vaio\Document s\EVAN DOC\SOLID EVAN\Corrugated Bulkhead_Rev01.SLDPRT Jul 01 23:25:04 2014
Shell Bodies			
Document Name and Reference	Formulation	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Shell-2 	Thin	Thickness:12.193 mm Weight:2096.65 N Volume:0.0297144 m <sup>3</sup> Mass:213.943 kg Density:7200kg/m <sup>3</sup>	C:\Users\Vaio\Document s\EVAN DOC\SOLID EVAN\Corrugated Bulkhead_Rev01.SLDPRT Jul 01 23:25:04 2014

<p>Shell-3</p> 	<p>Thin</p>	<p>Thickness:15.24 mm Weight:4453.43 N Volume:0.0631155 m<sup>3</sup> Mass:454.431 kg Density:7200kg/m<sup>3</sup></p>	<p>C:\Users\Vaio\Documents\EVAN DOC\SOLID EVAN\Corrugated Bulkhead_Rev01.SLDPRT Jul 01 23:25:04 2014</p>
--	-------------	--	--

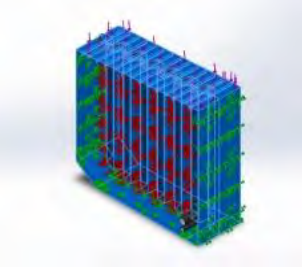
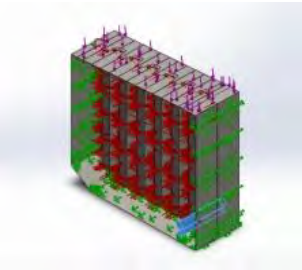
## Study Properties

Study name	Study 1
Analysis type	Static
Mesh type	Mixed Mesh
Thermal Effect:	On
Thermal option	Include temperature loads
Zero strain temperature	298 Kelvin
Include fluid pressure effects from SolidWorks Flow Simulation	Off
Solver type	FFEPlus
Inplane Effect:	Off
Soft Spring:	Off
Inertial Relief:	Off
Incompatible bonding options	Automatic
Large displacement	Off
Compute free body forces	On
Friction	Off
Use Adaptive Method:	Off
Result folder	SolidWorks document (C:\Users\Vaio\Documents\EVAN DOC\SOLID EVAN)

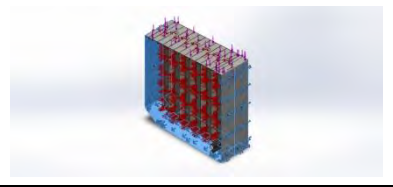
## Units

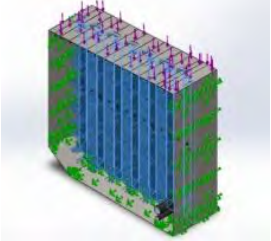
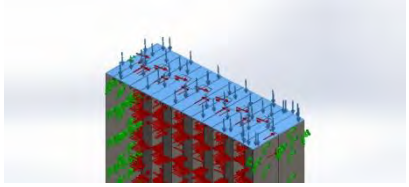
Unit system:	SI (MKS)
Length/Displacement	mm
Temperature	Kelvin
Angular velocity	Rad/sec
Pressure/Stress	N/m <sup>2</sup>

## Material Properties

Model Reference	Properties	Components
	<p><b>Name:</b> ASTM A36 Steel  <b>Model type:</b> Linear Elastic Isotropic  <b>Default failure criterion:</b> Max von Mises Stress  <b>Yield strength:</b> 2.5e+008 N/m<sup>2</sup>  <b>Tensile strength:</b> 4e+008 N/m<sup>2</sup>  <b>Elastic modulus:</b> 2e+011 N/m<sup>2</sup>  <b>Poisson's ratio:</b> 0.26  <b>Mass density:</b> 7850 kg/m<sup>3</sup>  <b>Shear modulus:</b> 7.93e+010 N/m<sup>2</sup></p>	SolidBody 28(Cut-Extrude2)(Corrugated Bulkhead_No_1)
Curve Data:N/A		
	<p><b>Name:</b> Gray Cast Iron  <b>Model type:</b> Linear Elastic Isotropic  <b>Default failure criterion:</b> Mohr-Coulomb Stress  <b>Tensile strength:</b> 1.51658e+008 N/m<sup>2</sup>  <b>Compressive strength:</b> 5.72165e+008 N/m<sup>2</sup>  <b>Elastic modulus:</b> 6.61781e+010 N/m<sup>2</sup>  <b>Poisson's ratio:</b> 0.27  <b>Mass density:</b> 7200 kg/m<sup>3</sup>  <b>Shear modulus:</b> 5e+010 N/m<sup>2</sup>  <b>Thermal expansion coefficient:</b> 1.2e-005 /Kelvin</p>	SolidBody 30(Body-Move/Copy30[2])(Corrugated Bulkhead_No_1), SolidBody 31(Body-Move/Copy30[1])(Corrugated Bulkhead_No_1), Shell-2(SolidBody 30(Body-Move/Copy30[2]))(Corrugated Bulkhead_Rev0), Shell-3(SolidBody 31(Body-Move/Copy30[1]))(Corrugated Bulkhead_Rev0)
Curve Data:N/A		

## Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
Fixed-1		<b>Entities:</b> 10 face(s) <b>Type:</b> Fixed Geometry		
<b>Resultant Forces</b>				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	-57613	93086.3	1.06595e+006	1.07156e+006
Reaction Moment(N-m)	0	0	0	1e-033

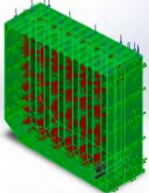
Load name	Load Image	Load Details
Pressure-1		<b>Entities:</b> 27 face(s) <b>Type:</b> Normal to selected face <b>Value:</b> 15444 <b>Units:</b> N/m <sup>2</sup>
Force-2		<b>Entities:</b> 2 face(s) <b>Type:</b> Apply normal force <b>Value:</b> 98000 N

## Connector Definitions

No Data



## Contact Information

Contact	Contact Image	Contact Properties
Component Contact-3		<b>Type:</b> Bonded <b>Components:</b> 3 Solid Body (s) <b>Options:</b> Compatible mesh

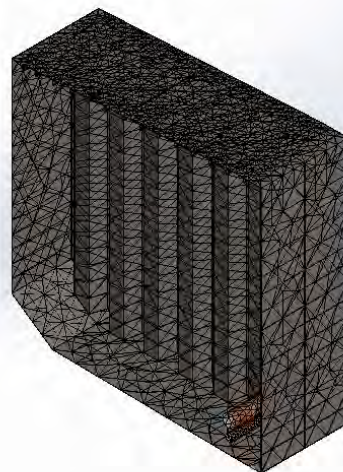
## Mesh Information

Mesh type	Mixed Mesh
Mesher Used:	Curvature based mesh
Jacobian points	4 Points
Jacobian check for shell	On
Maximum element size	595.686 mm
Minimum element size	119.137 mm
Mesh Quality	High

## Mesh Information - Details

Total Nodes	51674
Total Elements	26414
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:01:31
Computer name:	VAIO-PC

Model name: Corrugated Bulkhead\_Rev01  
Study name: Study 1  
Mesh type: Mixed mesh



## Sensor Details

No Data

## Resultant Forces

### Reaction Forces

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N	-57613	93086.3	1.06595e+006	1.07156e+006

### Reaction Moments

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N-m	0	0	0	1e-033

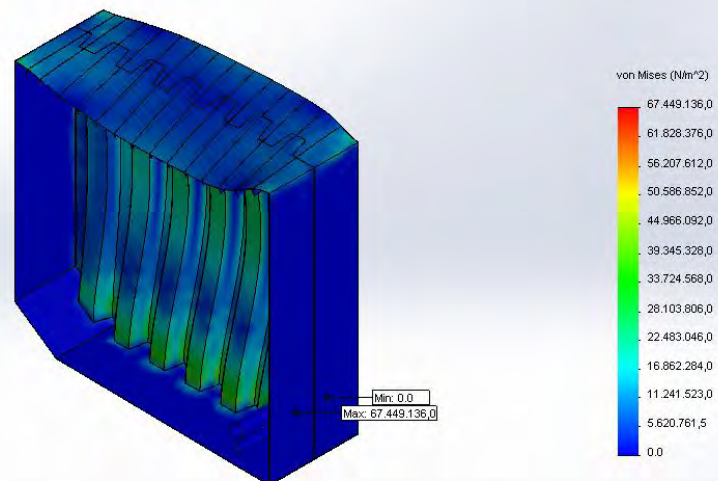
## Beams

No Data

## Study Results

Name	Type	Min	Max
Stress1	VON: von Mises Stress	0 N/m <sup>2</sup> Node: 49864	6.74491e+007 N/m <sup>2</sup> Node: 31709

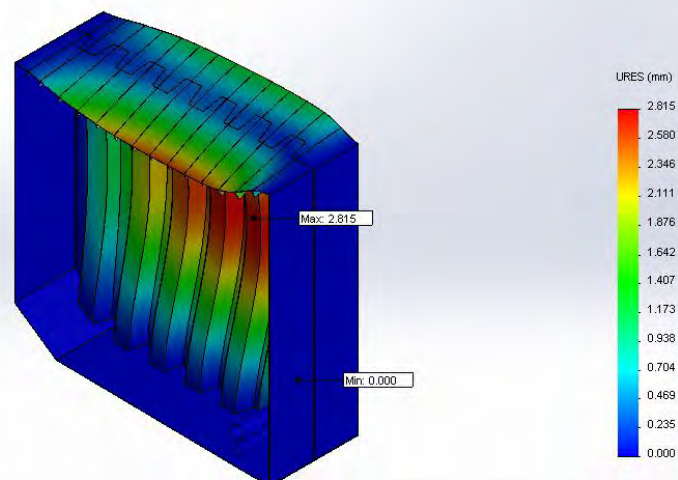
Model name: Corrugated Bulkhead\_Rev01  
Study name: Study 1  
Plot type: Static nodal stress: Stress1  
Deformation scale: 306.249



Corrugated Bulkhead\_Rev01-Study 1-Stress-Stress1

Name	Type	Min	Max
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 63	2.81474 mm Node: 38543

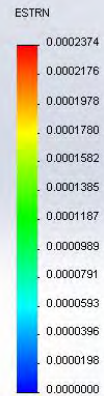
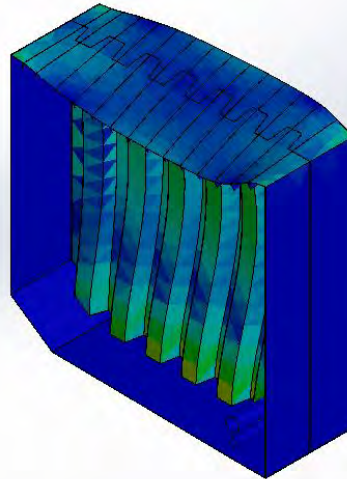
Model name: Corrugated Bulkhead\_Rev01  
Study name: Study 1  
Plot type: Static displacement: Displacement1  
Deformation scale: 306.249



Corrugated Bulkhead\_Rev01-Study 1-Displacement-Displacement1

Name	Type	Min	Max
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	0 Element: 25528	0.000237371 Element: 9964

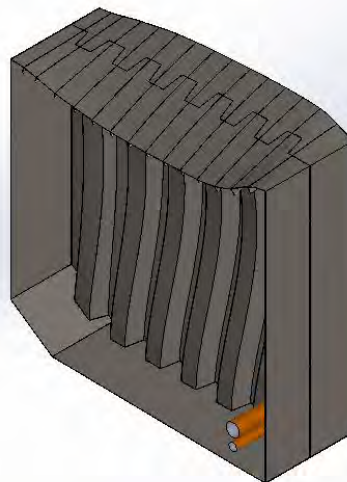
Model name: Corrugated Bulkhead\_Rev01  
Study name: Study 1  
Plot type: Static strain Strain1  
Deformation scale: 306.249



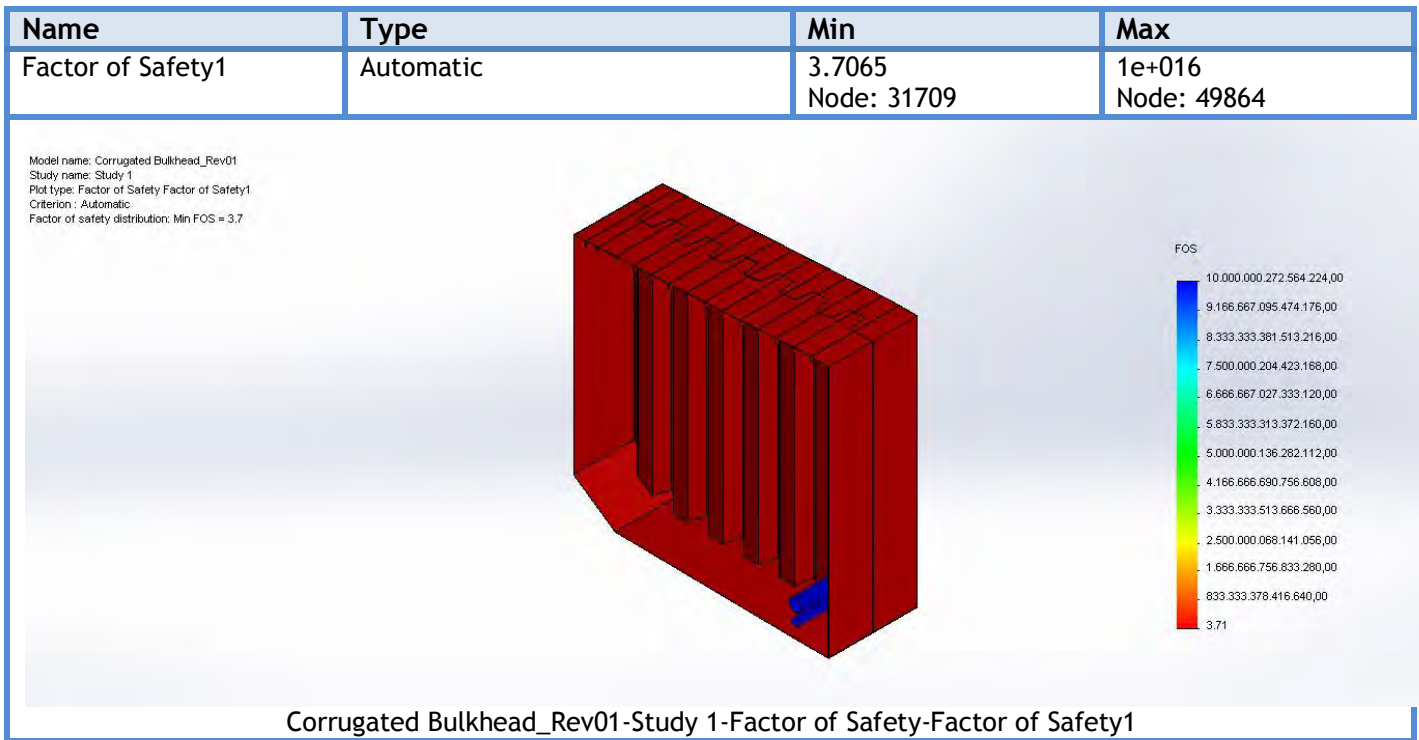
Corrugated Bulkhead\_Rev01-Study 1-Strain-Strain1

Name	Type
Displacement1{1}	Deformed Shape

Model name: Corrugated Bulkhead\_Rev01  
Study name: Study 1  
Plot type: Deformed Shape Displacement1(1)  
Deformation scale: 306.249



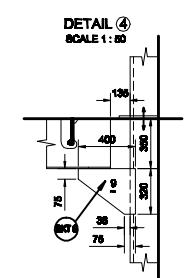
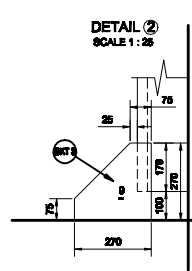
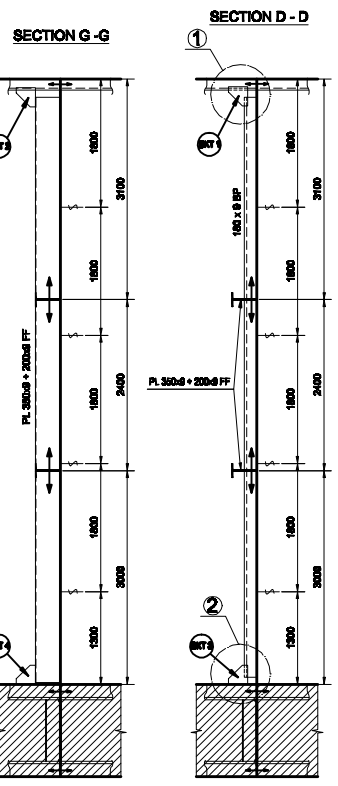
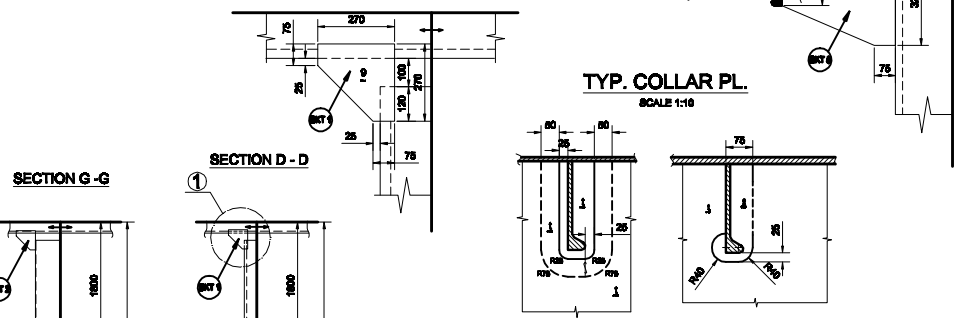
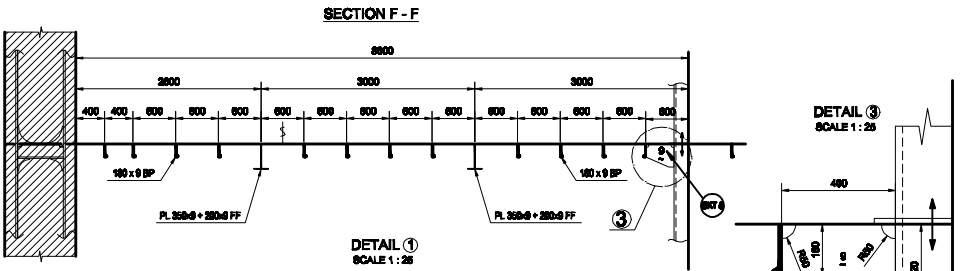
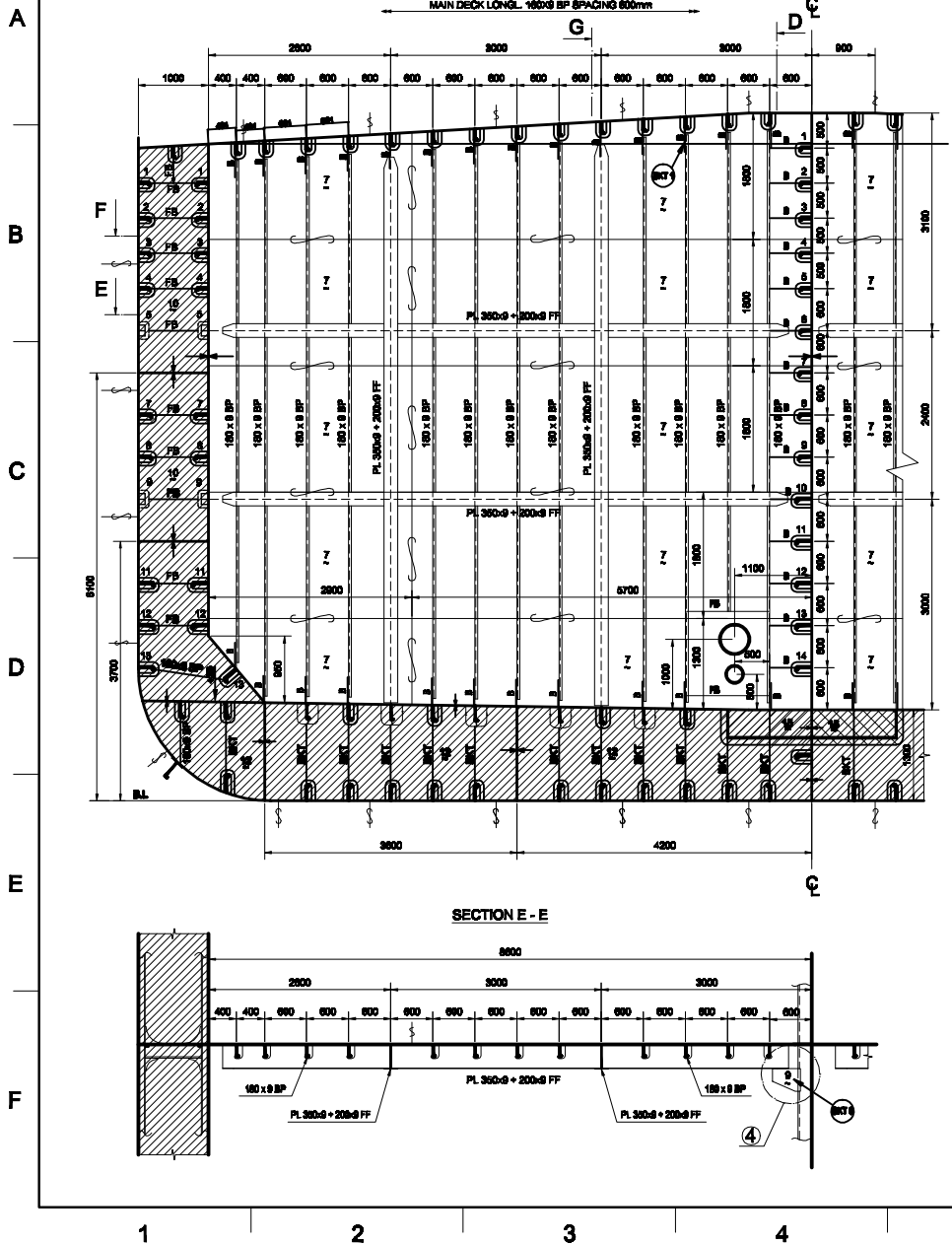
Corrugated Bulkhead\_Rev01-Study 1-Displacement-Displacement1{1}



## Conclusion

# TRANSVERSE PLANE WATERTIGHT BULKHEAD

MAIN DECK LONGL. 160x8 BP SPACING 800mm



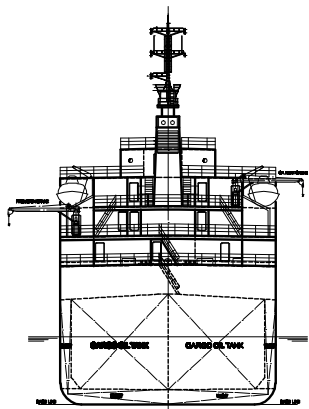
PRINCIPAL DIMENSION	
Lpp :	102.00 m
B :	10.20 m
H :	9.30 m
T :	6.00 m
Ve :	12.00 Knode
Cb :	0.80
Type :	Oil Tanker

NOTES:  
This drawing and the information contained here are supplied on the understanding that those are for educational purpose only and shall not be used for industrial purpose.

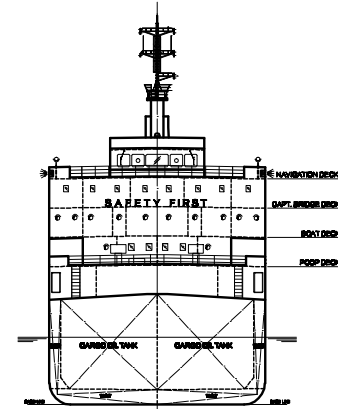
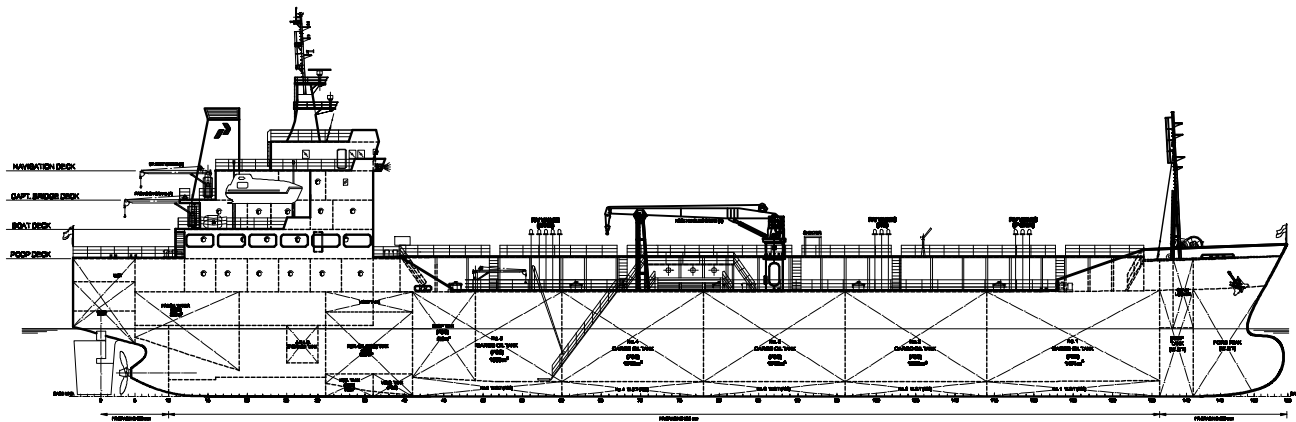
		THE DEPT. OF MARINE ENGINEERING - ITS SKRIPSI (ME091329) EVEN SEMESTER 2014/2015	
KM. KASIM OIL TANKER		CLASS : B1 1 01 HULL (SEARCH & SEIZURE UNRESTRICTED MANUVAR)	
TRANSVERSE PLANE WATERTIGHT BULKHEAD		DRAWN BY : Steven Anandya Putra 4212 103 021	SIGNED :
APPROVED BY : Ir. Arneli M. A., M.Sc.		APPROVED BY : Ir. Arneli M. A., M.Sc.	SIGNED :
DATE :	SCALE : 1 : 100	DRAWING NO. : 02 - 42 12 01 - TA	REV :



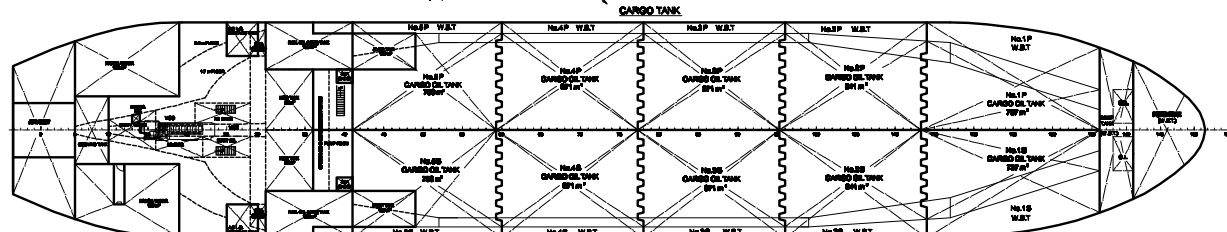
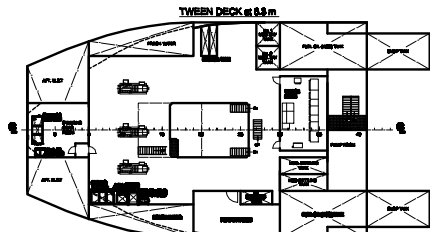
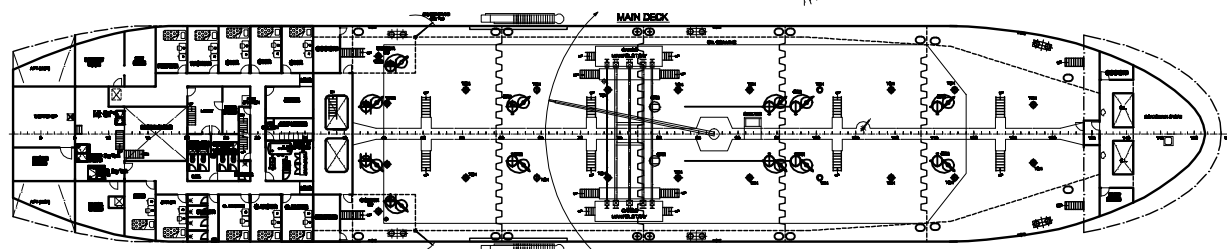
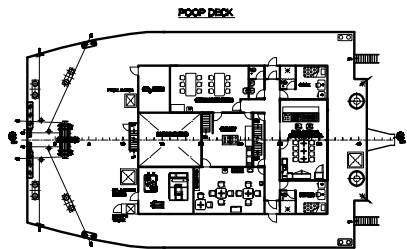
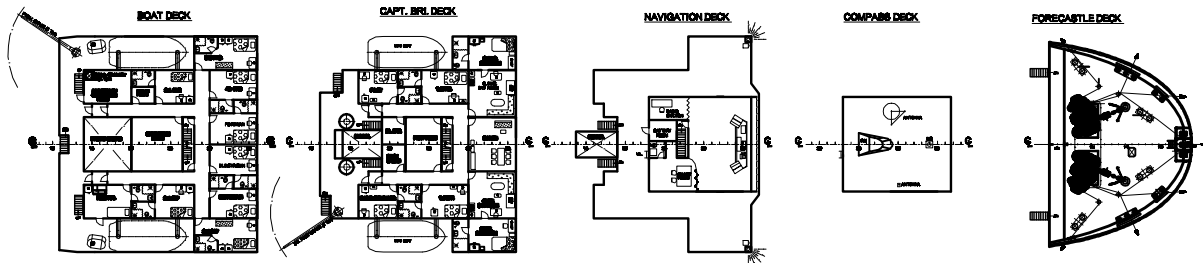




STERN ELEVATION  
(LXL PMD)



FRONT ELEVATION OF SUPERSTRUCTURE  
(LXL AFT)



SYMBOLS	REMARKS
□	STANDARD
△	REMARKS

**PRINCIPAL DIMENSIONS**

LENGTH OVERALL	: 108.00 m
LENGTH OF WATERLINE	: 102.00 m
LENGTH, BP	: 102.00 m
BREADTH MLD	: 18.20 m
DEPTH MLD	: 9.30 m
DRAUGHT DESIGN	: 8.50 m
SERVICE SPEED	: 13.00 KNOTS
COMPLEMENT	: 28 Persons

**PT. PERKASA PERKALAN (PERSADA) SHIPPING**  
 PT. PERKASA PERKALAN (PERSADA) SHIPPING  
 PT. PERKASA PERKALAN (PERSADA) SHIPPING

**GENERAL ARRANGEMENT**  
 600 LTMS PASANGI 01.10000

SHIPNAME	No. BAHAN/NO. BANGUNAN	REVISI
PT. PERKASA PERKALAN (PERSADA) SHIPPING	PL. 0000	1/1
DESIGNED BY	DATE	BY
	24 Nov 2016	
G.0363		