



**TUGAS AKHIR - MN 184802**

**ANALISIS TEGANGAN UJUNG BUKAAN PALKAH  
DENGAN VARIASI DIMENSI LEBAR BUKAAN PALKAH  
PADA KAPAL *BULK CARRIER***

**Sabrina Alifia Prinasari  
NRP 0411154000044**

**Dosen Pembimbing  
Totok Yulianto, S.T., M.T.  
Muhammad Nurul Misbah, S.T., M.T.**

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



**TUGAS AKHIR - MN 184802**

**ANALISIS TEGANGAN UJUNG BUKAAN PALKAH  
DENGAN VARIASI DIMENSI LEBAR BUKAAN PALKAH  
PADA KAPAL *BULK CARRIER***

**Sabrina Alifia Prinasari  
NRP 0411154000044**

**Dosen Pembimbing  
Totok Yulianto, S.T., M.T.  
Muhammad Nurul Misbah, S.T., M.T.**

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



---

**FINAL PROJECT - MN 184802**

**STRESS ANALYSIS OF HATCH COAMING  
WITH VARIATION OF WIDTH HATCH COAMING ON  
BULK CARRIER SHIP**

**Sabrina Alifia Prinasari  
NRP 0411154000044**

**Supervisor  
Totok Yulianto, S.T., M.T.  
Muhammad Nurul Misbah, S.T., M.T.**

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

# LEMBAR PENGESAHAN

## ANALISIS TEGANGAN UJUNG BUKAAN PALKAH DENGAN VARIASI DIMENSI LEBAR BUKAAN PALKAH PADA KAPAL *BULK CARRIER*

### TUGAS AKHIR

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

Oleh:

**SABRINA ALIFIA PRINASARI**  
NRP 0411094000044

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing II



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

Dosen Pembimbing I



Totok Yulianto, S.T., M.T.  
NIP 19700731 199512 1 001

Mengetahui,  
Ketua Departemen Teknik Perkapalan



H. Wasil Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.  
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 20 JANUARI 2020

## LEMBAR REVISI

# ANALISIS TEGANGAN UJUNG BUKAAN PALKAH DENGAN VARIASI DIMENSI LEBAR BUKAAN PALKAH PADA KAPAL *BULK CARRIER*

### TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir  
Tanggal 9 Januari 2020

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

Oleh:

**SABRINA ALIFIA PRINASARI**  
NRP 0411094000044

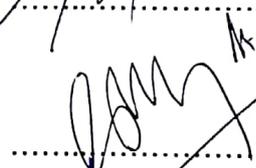
Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Danu Utama, S.T., M.T.



.....

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



.....

3. Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.



.....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Totok Yulianto, S.T., M.T.



.....

2. Muhammad Nurul Misbah, S.T., M.T.



.....

SURABAYA, 20 JANUARI 2020

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya  
“siapapun yang berdoa, berusaha dan berjuang tanpa mengenal kata menyerah, sabarlah..  
karna semuanya tidak akan berakhir sia-sia, Allah Maha Tau dan Allah tidak tidur.”

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

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

1. Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T. dan Bapak Muhammad Nurul Misbah, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Bapak Danu Utama, S.T., M.T., Bapak Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D. dan Bapak Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
3. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M. Sc., Ph.D. selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas izin pemakaian fasilitas laboratorium;
4. Kedua Orang Tua dan keluarga penulis, Leksono Eko dan Maya Ratnasari yang terus memberikan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini;
5. Audia Naomi Putri Nababan selaku teman sekamar penulis yang telah banyak membantu, menyemangati serta menemani penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini;
6. M. Alif Budiman yang selalu menghibur dan mendorong penulis untuk segera menyelesaikan pengerjaan Tugas Akhir;
7. Sangsaka Wira dan Ahmad Muslim yang memfasilitasi penulis untuk menyelesaikan proses *running* Tugas Akhir penulis ini;
8. Teman-teman angkatan P55 Samudra Raksa, terutama Vivi dan Beardito yang banyak menemangati penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini;
9. Seluruh anggota keluarga UKM Perisai Diri ITS yang selalu menghibur dan menyemangati penulis tanpa henti agar segera menyelesaikan kuliah penulis;

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

Surabaya, 20 Januari 2020

Sabrina Alifia Prinasari

# ANALISIS TEGANGAN UJUNG BUKAAN PALKAH DENGAN VARIASI DIMENSI LEBAR BUKAAN PALKAH PADA KAPAL *BULK CARRIER*

Nama Mahasiswa : Sabrina Alifia Prinasari  
NRP : 4115100044  
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : 1. Totok Yulianto, S.T., M.T.  
2. Muhammad Nurul Misbah, S. T., M.T.

## ABSTRAK

Kapal *Bulk Carrier* adalah salah satu jenis transportasi laut atau kapal barang yang dirancang untuk mengangkut kargo atau muatan berupa curah. Muatan tersebut diletakkan di dalam sel-sel atau rongga-rongga kargo yang terpisah. Adapun kapal ini memiliki kelebihan yaitu mempunyai daya angkut yang cukup besar. Dalam sepuluh tahun terakhir, kapal *Bulk Carrier* merupakan salah satu jenis kapal yang cenderung mengalami peningkatan dalam jumlah pembangunannya. Namun, seringkali terjadi kecelakaan kapal terutama di Indonesia. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan hal tersebut terjadi. Salah satu faktor tersebut adalah adanya pengaruh beban gelombang. Oleh karena itu perlunya menganalisis tegangan yang merupakan reaksi akibat pengaruh gelombang, serta mengetahui bahwa kapal memenuhi tegangan izin atau tidak berdasarkan regulasi *Common Structural Rules*. Analisis tersebut dilakukan dengan melakukan beberapa variasi pada bagian geladak. Variasi yang dilakukan berupa penambahan dan perubahan dimensi pembujur geladak, perubahan ukuran lebar bukaan palkah dan penambahan *bracket*. Pada kapal *existing ship*, berat ang dimiliki senilai 1376,71 Ton. Pada variasi 1, total penambahan pembujur sebanyak 8 buah dengan total berat senilai 1364,41 Ton. Pada variasi 2 total pembujur sebanyak 12 dengan total berat senilai 1646,87 Ton. Kemudian membandingkan berat dan nilai tegangan pada variasi tersebut mana yang optimal. Analisis dilakukan dengan metode elemen hingga. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, untuk *existing ship* dihasilkan nilai tegangan maksimal pada saat kondisi *sagging* senilai 139,24 MPa, besar tegangan minimal senilai 8,77 MPa dan kondisi *hogging* menghasilkan tegangan maksimal senilai 119,87 MPa, sedangkan tegangan minimal senilai 2,18 MPa. Pada kapal variasi 1 besar tegangan maksimal yang dihasilkan saat kondisi *sagging* senilai 378,37 MPa dan minimal tegangan yang dihasilkan senilai 12,93 MPa, sedangkan untuk kondisi *hogging* dihasilkan besar tegangan maksimal senilai 320,52 MPa dan tegangan minimal senilai 10,18 MPa. Pada kapal variasi 2 besar tegangan maksimal yang dihasilkan saat kondisi *sagging* senilai 376,8 MPa dan minimal tegangan yang dihasilkan senilai 12,81 MPa, sedangkan untuk kondisi *hogging* dihasilkan besar tegangan maksimal senilai 319,42 MPa dan tegangan minimal senilai 10,48 MPa.

Kata kunci: *variasi, tegangan, bukaan palkah, optimasi.*

# STRESS ANALYSIS OF HATCH COAMING WITH VARIATION OF WIDTH HATCH COAMING ON BULK CARRIER SHIP

Author : Sabrina Alifia Prinasari  
Student Number : 4115100044  
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology  
Supervisor : 1. Totok Yulianto, S.T., M.T.  
2. Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T.

## ABSTRACT

Bulk Carrier Vessels are a type of sea transportation or freighter designed to carry bulk or cargo. The load is placed in separate cargo cells or cavities. The ship has the advantage of having a large enough haulage. In the last ten years, Bulk Carrier ships are one type of ship that tends to experience an increase in the number of its construction. However, ship accidents often occur, especially in Indonesia. There are several factors that cause this to happen. One of these factors is the influence of wave loads. Therefore it is necessary to analyze the stress that is a reaction due to the influence of waves, and to know that the ship meets the permit stress or not based on the Common Structural Rules. The analysis was carried out by doing some variations on the deck. Variations made include the addition and change of deck longitudinal dimensions, changes in the size of the hatch opening and the addition of brackets. On existing ships, the weight is 1376.71 tons. In variation 1, the total addition of as many as 8 pieces with a total weight of 1364.41 tons. In variation 2, total length is 12 with total weight of 1646.87 tons. Then compare the weight and value of the stress at which variation is optimal. Analysis was carried out using the finite element method. Based on the results of calculations and analyzes that have been carried out, for the existing ship the maximum stress value is generated when the sagging condition is 139.24 MPa, the minimum stress is 8.77 MPa and the hogging condition produces a maximum stress of 119.87 MPa, while the minimum stress is 2.18 MPa. On ship 1, the maximum stress magnitude generated during sagging conditions is 378.37 MPa and the minimum stress generated is 12.93 MPa, while for hogging conditions the maximum stress value is 320.52 MPa and the minimum stress is 10.18 MPa. On ships 2 variations of the maximum stress generated during sagging conditions are 376.8 MPa and the minimum stress generated is 12.81 MPa, while for hogging conditions the maximum stress value is 319.42 MPa and the minimum stress is 10.48 MPa.

Keywords: *variation, stress, hatch coaming, optimization.*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	2
1.5. Manfaat .....	2
1.6. Hipotesis .....	2
BAB 2 STUDI LITERATUR.....	3
2.1. Dasar Teori .....	3
2.1.1. <i>Bulk Carrier</i> .....	3
2.1.2. Model Struktur Kapal .....	5
2.1.3. Tegangan.....	5
2.1.4. <i>Finite Element Methode (FEM)</i> .....	8
2.1.5. <i>Meshing</i> .....	10
2.1.6. Kriteria Kegagalan .....	10
2.1.7. Pembebanan .....	11
2.1.8. Tegangan <i>Von Mises</i> .....	13
2.1.9. Deformasi.....	13
2.2. Tinjauan Pustaka.....	14
2.2.1. Analisis Retak di Ujung Bukaan Palkah.....	14
BAB 3 METODOLOGI .....	15
3.1. Bagan Alir.....	15
3.2. Studi Literatur .....	16
3.3. Pengumpulan Data.....	16
3.3.1. Ukuran Utama Kapal .....	16
3.3.2. <i>Midship Section</i> .....	17
3.4. Pembuatan Model Kapal.....	18
3.4.1. Perhitungan <i>Corrosion Factor</i> dan Konversi Pembujur.....	18
3.4.2. Pembuatan <i>Midship Section</i> .....	19
3.4.3. Memodelkan <i>Deck Longitudinal</i> untuk Kapal Variasi 1 dan 2.....	21
3.5. <i>Material Properties</i> .....	23
3.6. <i>Import Data Geometri</i> .....	24
3.7. <i>Connections</i> .....	26
3.8. <i>Meshing</i> .....	27

3.9. Konvergensi Elemen.....	28
3.10. Kondisi Batas.....	29
3.11. Pembebanan.....	30
3.11.1. Beban Geladak.....	30
3.11.2. Gaya Akibat Berat Penutup Palkah.....	31
3.11.3. Momen Bending Akibat Pengaruh <i>Sagging</i> dan <i>Hogging</i> .....	32
3.12. Analisis Tegangan pada <i>Ansys</i> .....	34
3.13. Perbandingan Berat Geladak.....	34
<b>BAB 4 ANALISIS DATA.....</b>	<b>35</b>
4.1. Pembebanan Sesuai <i>Common Structural Rules</i> dan Biro Klasifikasi Indonesia ...	35
4.1.1. Perhitungan Faktor Korosi.....	35
4.1.2. Perhitungan Konversi <i>Profile</i> pada Kapal.....	36
4.1.3. Perhitungan Momen Bending.....	38
4.1.4. Perhitungan Beban Geladak.....	40
4.1.5. Perhitungan Tutup Bukaan Palkah.....	41
4.2. Perhitungan Berat Bagian Geladak.....	47
4.3. Hasil Rekapitulasi Perhitungan.....	48
4.3.1. Hasil Analisis pada Kapal tanpa Variasi.....	48
4.3.2. Hasil Analisis pada Kapal Variasi 1.....	49
4.3.3. Hasil Analisis pada Kapal Variasi 2.....	52
<b>BAB 5 Kesimpulan dan saran.....</b>	<b>55</b>
5.1. Kesimpulan.....	55
5.2. Saran.....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>57</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>59</b>
<b>LAMPIRAN A PERHITUNGAN FAKTOR KOROSI.....</b>	<b>61</b>
<b>LAMPIRAN B KONVERSI PROFILE.....</b>	<b>63</b>
<b>LAMPIRAN C MOMEN BENDING.....</b>	<b>67</b>
<b>LAMPIRAN D PERHITUNGAN <i>DECK LONGITUDINAL</i> BARU.....</b>	<b>71</b>
<b>LAMPIRAN E BEBAN PADA GELADAK.....</b>	<b>73</b>
<b>LAMPIRAN F BERAT PADA GELADAK.....</b>	<b>78</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>81</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Jenis Kapal <i>Bulk Carrier</i> Berdasarkan DWT .....	4
Gambar 2. 2 Penampang Melintang .....	4
Gambar 2. 3 Pemodelan 3 Kompartemen Ruang Muat pada Kapal <i>Bulk Carrier</i> .....	5
Gambar 2. 4 Kondisi Kapal akibat Pengaruh Gelombang.....	7
Gambar 2. 5 Komponen Tegangan Normal dan Tegangan Geser.....	7
Gambar 2. 6 Jenis Elemen 1 Dimensi.....	9
Gambar 2. 7 Jenis Elemen 2 Dimensi.....	9
Gambar 2. 8 Jenis Elemen 3 Dimensi.....	9
Gambar 3. 1 Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir .....	15
Gambar 3. 2 Penampang Melintang kapal.....	17
Gambar 3. 3 Konversi <i>Profile</i> dari <i>Bulb</i> Menjadi L.....	19
Gambar 3. 4 Pemodelan 3 Dimensi Ukuran Asli .....	20
Gambar 3. 5 Model Variasi 1 dengan 8 Buah Pembujur Geladak .....	22
Gambar 3. 6 Model Variasi 2 dengan 12 Buah Pembujur Geladak .....	23
Gambar 3. 7 Memasukkan Data Material pada Bagian <i>Engineering Data</i> .....	23
Gambar 3. 8 <i>Import</i> Model Pertama .....	25
Gambar 3. 9 <i>Import</i> Model Kedua.....	25
Gambar 3. 10 <i>Import</i> Model Ketiga .....	26
Gambar 3. 11 Pendefinisian <i>Connection</i> pada Lembar Kerja Geometri .....	27
Gambar 3. 12 Proses <i>Meshing</i> pada Salah Satu Model Variasi.....	28
Gambar 3. 13 Grafik Konvergensi Tegangan.....	29
Gambar 3. 14 Peletakkan <i>Fixed Support</i> .....	30
Gambar 3. 15 Bentuk <i>Sectional Area</i> .....	32
Gambar 4. 1 Bentuk Luasan .....	43
Gambar 4. 2 Hasil Tegangan Maksimal pada Kapal Ukuran Asli Kondisi <i>Hogging</i> .....	48
Gambar 4. 3 Hasil Tegangan Maksimal pada Kapal Ukuran Asli Kondisi <i>Sagging</i> .....	49
Gambar 4. 4 Tegangan Maksimal pada Kapal Variasi 1 Kondisi <i>Hogging</i> .....	50
Gambar 4. 5 Tegangan Maksimal pada Kapal Variasi 1 Kondisi <i>Sagging</i> .....	51
Gambar 4. 6 Hasil Tegangan Maksimal pada Kapal Variasi 2 Kondisi <i>Hogging</i> .....	52
Gambar 4. 7 Hasil Tegangan Maksimal pada Kapal Variasi 2 Kondisi <i>Sagging</i> .....	53

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai <i>Minimum Yield Stress</i> .....	10
Tabel 2. 2 Variasi Tipe Baja pada Kapal .....	11
Tabel 3. 1 Ukuran Utama Kapal .....	16
Tabel 3. 2 <i>Mechanical Properties</i> Baja AH32 .....	24
Tabel 3. 3 Tabel Konvergensi.....	28
Tabel 4. 1 Rekapitulasi Pengaruh Faktor Korosi.....	35
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Konversi <i>Bulb Profile</i> .....	37
Tabel 4. 3 Hasil Hitung Momen saat <i>Hogging</i> .....	39
Tabel 4. 4 Hasil Hitung Momen saat <i>Sagging</i> .....	40
Tabel 4. 5 Perhitungan Beban Geladak .....	41
Tabel 4. 6 Perhitungan Tebal <i>Top</i> Pelat Tutup Bukan Palkah.....	42
Tabel 4. 7 Perhitungan <i>Web Section</i> dan Tebal <i>Hatch Cover</i> Kapal Asli .....	44
Tabel 4. 8 Perhitungan <i>Web Section</i> dan Tebal <i>Hatch Cover</i> Kapal Variasi 1 .....	45
Tabel 4. 9 Perhitungan <i>Web Section</i> dan Tebal <i>Hatch Cover</i> Kapal Variasi 2 .....	45
Tabel 4. 10 Rekapitulasi Gaya <i>Hatch Cover</i> Kapal Asli.....	46
Tabel 4. 11 Rekapitulasi Gaya <i>Hatch Cover</i> Kapal Variasi 1 .....	46
Tabel 4. 12 Rekapitulasi Gaya <i>Hatch Cover</i> Kapal Variasi 2 .....	46
Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan Berat pada Kapal Asli .....	47
Tabel 4. 14 Hasil Perhitungan Berat pada Kapal Variasi 1 .....	47
Tabel 4. 15 Hasil Perhitungan Berat pada Kapal Variasi 2 .....	47
Tabel 4. 16 Hasil Rekapitan Keseluruhan .....	48

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Menurut Lamb (2003) kapal *Bulk Carrier* merupakan salah satu jenis transportasi laut atau kapal barang yang dirancang untuk mengangkut kargo atau muatan berupa curah seperti batu bara, semen, biji-bijian, bijih logam, tepung dan lain-lain. Berbeda dari jenis kapal lainnya, kapal jenis ini hanya mengangkut satu jenis muatan saja. Kapal *Bulk Carrier* ini pada umumnya didesain *single hull*, namun tidak jarang pula terdapat kapal *Bulk Carrier* dengan *double hull*. Muatan yang diangkut tidak dilakukan dalam bentuk pembawaan kontainer, melainkan muatan tersebut diletakkan di dalam sel-sel atau rongga-rongga kargo yang terpisah. Bagian ruang muat kapal *Bulk Carrier* dengan *single hull* mempunyai *hopper side tank* dan *upper side tank*. Setiap dari ruang muat bersekat terdapat *hatch coaming*. *Hatch* merupakan penutup untuk melindungi muatan atau kargo yang sedang dibawa. Adapun kapal ini memiliki kelebihan yaitu mempunyai daya angkut yang cukup besar.

Dalam sepuluh tahun terakhir, kapal *Bulk Carrier* merupakan jenis kapal yang paling besar populasinya serta cenderung mengalami peningkatan dalam jumlah pembangunannya. Menurut UNCTAD (2018) bahwa kapal untuk jenis *Bulk Carrier* yang dibangun dan *delivered* dari tahun ke tahun selalu mengalami kenaikan sebesar 7 hingga 8 persen setiap tahunnya. Namun, banyaknya permintaan tersebut kurang diimbangi dengan adanya tingkat keselamatan yang mumpuni. Hal ini terbukti seringkali terjadi kecelakaan kapal terutama di Indonesia. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan tingkat keselamatan menurun. Salah satu faktor tersebut adalah adanya pengaruh beban gelombang dan pengangkutan muatan yang tidak sesuai dengan batas diizinkan muatan atau kargo yang harus dibawa.

Oleh karena itu, untuk mengetahui reaksi dari kapal *Bulk Carrier* saat terkena beban eksternal gelombang, perlu melakukan analisis tegangan di sekitar bukaan palkah. Daerah tegangan tinggi sering terjadi pada jenis kapal ini. Pengerjaan Tugas Akhir ini dilakukan dengan pembuatan model dan *merunning* permoodelan tersebut dengan beberapa kondisi batas serta pembebanan yang telah ditentukan sebelumnya, hingga mendapatkan dimensi ukuran bukaan palkah yang optimal.

## 1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, berikut beberapa perumusan masalah yang akan diselesaikan:

1. Bagaimana menentukan besar tegangan izin di sekitar bukaan palkah sesuai dengan aturan *CSR (Common Structural Rules)* untuk kapal *Bulk Carrier*?
2. Bagaimana menentukan besar tegangan di sekitar bukaan palkah dengan pengaruh beban gelombang?
3. Bagaimana memodelkan variasi dimensi bukaan palkah pada kapal *Bulk Carrier*?

## 1.3. Tujuan

Tujuan dari dilakukannya Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan besar tegangan izin di sekitar bukaan palkah sesuai dengan aturan *CSR (Common Structural Rules)* untuk kapal *Bulk Carrier*.
2. Menentukan besar tegangan di sekitar bukaan palkah dengan pengaruh beban gelombang.
3. Memodelkan variasi dimensi bukaan palkah pada kapal *Bulk Carrier*.

## 1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang terdapat dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Regulasi yang digunakan dalam menentukan besar tegangan pada daerah sekitar bukaan palkah yaitu *CSR (Common Structure Rules)*.
2. Beban yang mempengaruhi pada beban eksternal yaitu hanya berupa beban statik gelombang saat kondisi *sagging* dan *hogging* pada kondisi air tenang.
3. Hasil perhitungan yang dilakukan hanya untuk daerah sekitar bukaan palkah.
4. Permodelan dimensi ukuran bukaan palkah terdiri dari 3 variasi.

## 1.5. Manfaat

Manfaat dari dibuatnya Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam hal akademis, Tugas Akhir ini diharapkan dapat membantu meningkatkan dan memajukan pengetahuan di bidang Perkapalan.
2. Memahami proses variasi permodelan dengan menggunakan *software*

## 1.6. Hipotesis

Perubahan variasi ukuran bukaan palkah berpengaruh terhadap penambahan atau pengurangan tegangan terutama pada daerah terputus nya pembujur oleh bukaan palkah.

## **BAB 2**

### **STUDI LITERATUR**

#### **2.1. Dasar Teori**

Kapal *Bulk Carrier* merupakan jenis kapal yang memiliki bukaan pada bagian geladak atau sering disebut pula dengan *hatch coaming*. Pada bagian tepi dari lubang palkah ini rawan sekali terjadi adanya robek atau tegangan tinggi. Tegangan tinggi dapat terjadi dikarenakan adanya beban yang mempengaruhi konstruksi dari kapal tersebut. Namun tegangan tersebut dapat dikatakan aman bagi kapal apabila besar dari tegangan tidak melebihi tegangan izin sesuai yang tercantum dalam regulasi. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan tegangan untuk mengetahui apakah besar tegangan yang ditimbulkan oleh beberapa beban yang mempengaruhi kapal tersebut masih dapat dikategorikan dalam konsi aman sesuai ketentuan regulasi atau tidak. Persamaan yang digunakan dalam mengetahui besar tegangan diambil dari regulasi Biro Klasifikasi Volume II, *Rules for Hull* (2014) dan regulasi *Common Structural Rules* (2015).

##### **2.1.1. Bulk Carrier**

Kapal *Bulk Carrier* merupakan salah satu jenis kapal yang digunakan untuk mengangkut muatan berupa curah. Sehingga beban muatan terdistribusi secara langsung kedalam ruang muat tanpa adanya peti kemas atau dilapisi oleh kemasan. Jenis muatan yang seringkali diangkut oleh kapal jenis ini adalah biji besi, biji bauksit, biji alumunium dan lain-lain. Pada umumnya seringkali digunakan oleh perusahaan perusahaan untuk mengangkut pupuk atau semen serta jenis muatan curah yang serupa. Kapal jenis ini biasanya memiliki ukuran yang cukup besar dengan panjang kapal rata-rata lebih dari 100 meter. Selain itu, kapal *Bulk Carrier* memiliki konstruksi lambung campuran. Pada bagian sisi lambung, kapal *Bulk Carrier* mempunyai konstruksi melintang, sedangkan pada bagian geladak serta *bottom* konstruksi yang digunakan adalah konstruksi memanjang. Pada kapal *Bulk Carrier* umumnya jarang sekali memiliki *double hull*. Kapal *Bulk Carrier* biasanya menggunakan *single hull*, pada kondisi tersebut terdapat *hopper* dan *upper side tank* pada bagian ruang muatnya (Lamb, 2003).

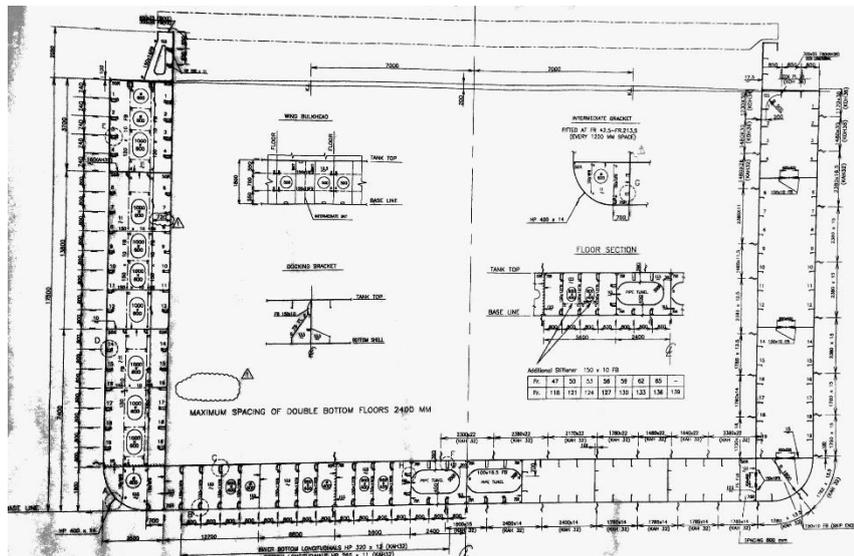
Dewasa ini, kapal *Bulk Carrier* dikelompokkan menjadi beberapa kategori standart. Gambar 2.1 merupakan pengelompokkan kapal *Bulk Carrier* berdasarkan seberapa besar muatan yang mampu ditampung oleh kapal atau besar *DWT*.

Handymax:-	Up to 60,000 DWT
Panamax:-	About 65,000 DWT
Neopanamax:-	About 120,000 DWT
Capesize:-	150,000 DWT upwards
Valemax:-	380,000 DWT upwards

Gambar 2. 1 Jenis Kapal *Bulk Carrier* Berdasarkan DWT  
(Sumber: *akademiasuransi.org*)

Model kapal yang digunakan adalah *Box Shape Bulk Carrier*, merupakan jenis kapal *Panamax Bulk Carrier*. Beberapa ciri dari jenis kapal ini adalah desain kapal dengan panjang maksimum *LoA* sebesar 294,13 meter, lebar maksimum 32,31 meter, sarat muatan bekisar 12,04 meter dan memiliki bobot mati bekisar 50.000 ~ 100.000 ton. Kapal jenis ini umumnya digunakan untuk mengangkut muatan curah dengan jarak pelayaran yang jauh (Autoridad, 2005).

Seluruh profil yang digunakan dalam kapal ini merupakan jenis *bulb profile*. Bobot mati kapal ini sebesar 50.000 DWT. Gambar 2.2 berikut memperlihatkan tampak melintang kapal serta menunjukkan susunan bentuk konstruksi kapal yang digunakan pada bagian ruang muat.



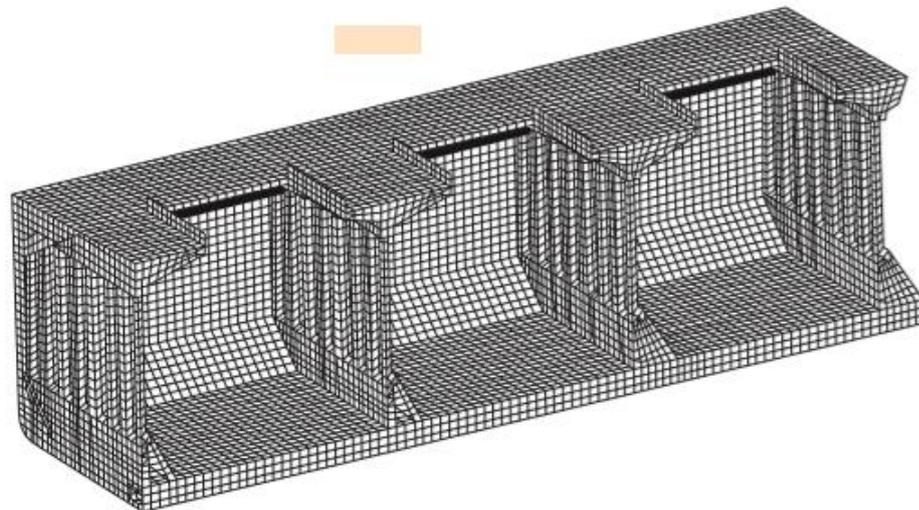
Gambar 2. 2 Penampang Melintang

Gambar 2.2 menunjukkan beberapa detail konstruksi serta penegar yang terpasang pada sekitar *wing tank* kapal. Model kapal *Bulk Carrier* yang dianalisis, digambarkan dengan

lambung ganda sehingga terdapat banyak lubang peringan pada daerah *wing tank* sesuai pada gambar *midship section* yang didapatkan.

### 2.1.2. Model Struktur Kapal

Model kapal dibuat sesuai dengan regulasi. Regulasi yang digunakan dikhususkan untuk analisis kekuatan dan kelelahan pada jenis kapal *bulk carrier* dan *tanker* dengan segala ukuran panjang. Namun terdapat perbedaan dalam pemodelan untuk kapal dengan panjang lebih dari atau sama dengan 150 meter dengan kapal yang memiliki panjang kurang dari 150 meter. Untuk kapal jenis *Bulk Carrier* dengan panjang kapal lebih dari atau sama dengan 150 meter dan memiliki bobot mati bekisar kurang atau lebih dari 50.000 ton maka pemodelan dilakukan dengan memodelkan ruang muat sebanyak 3 kompartemen. 3 kompartemen ruang muat yang dimodelkan tersebut meliputi ruang muat nomor 2, 3 dan 4 dengan seluruh konstruksi penuh pun juga harus dimodelkan. Selain itu, pemodelan dilakukan pada bagian kanan dan kiri kapal. Gambar 2.3 merupakan contoh pemodelan kapal 3 kompartemen ruang muat pada kapal *bulk carrier*, bagian *port side* kapal. Seluruh bagian kapal dari *bottom* hingga geladak yang dilengkapi dengan sekat *corugated bulkhead* pada setiap ruang muat perlu dimodelkan (*Common Structural Rules*, 2015).



Gambar 2. 3 Pemodelan 3 Kompartemen Ruang Muat pada Kapal *Bulk Carrier*  
(Sumber: *Common Structural Rules*, 2015)

### 2.1.3. Tegangan

Pada saat suatu kapal sedang bergerak di lautan, terdapat beberapa gaya yang akan mempengaruhi gerak kapal. Beban gaya yang mempengaruhi kapal tersebut dapat merupakan beban internal maupun eksternal. Salah satu beban yang mempengaruhi kapal pada saat berlayar adalah gelombang air laut. Dampak dari pengaruh beban tersebut dapat

menghasilkan reaksi pada kapal berupa reaksi tegangan. Timoshenko (1980) berpendapat bahwa terdapat dua macam tegangan yang bekerja pada bidang penampang:

a. Tegangan Normal

Merupakan tegangan yang dihasilkan dari gaya yang arahnya tegak lurus dengan bidang penampang (gaya normal). Pada kapal, tegangan normal akan timbul apabila bekerja momen bending pada kapal, baik momen bending vertikal maupun momen bending horizontal. Persamaan 2.1 digunakan untuk mendapatkan besaran tegangan normal.

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

dimana

$\sigma$  : Tegangan normal (Mpa)

F : Gaya normal (N)

A : Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

Adapun jenis tegangan normal adalah:

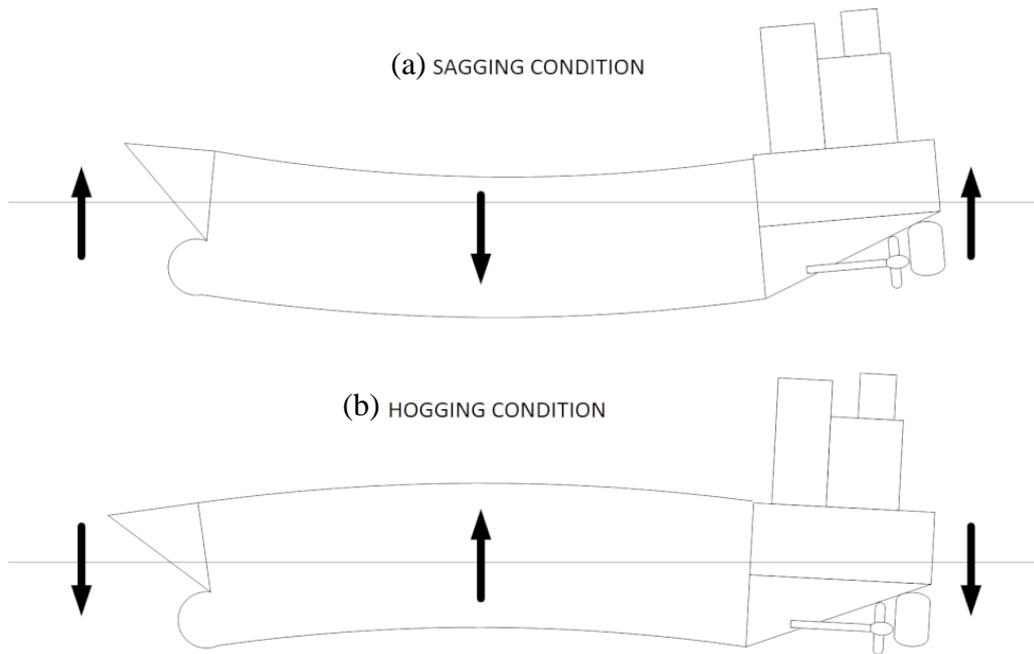
i. Tegangan Tarik

Merupakan gaya tarik yang ditahan oleh luasan penampang tarik. Tegangan ini mempunyai sifat berlawanan dengan gaya tekan.

ii. Tegangan Tekan

Tegangan tekan memiliki prinsip yang sama dengan gaya tarik, arah pada gaya tekan berlawanan dengan arah gaya tarik. Tegangan tekan adalah gaya tekan yang ditahan oleh luasan penampang tekan.

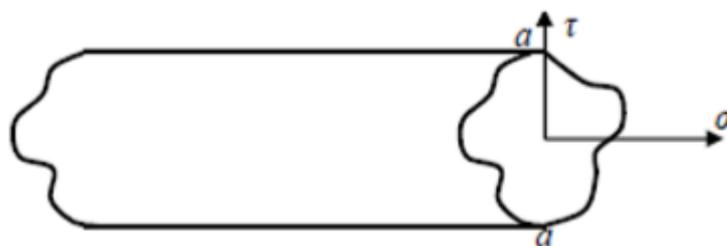
Kondisi kapal pada saat mengalami tegangan tekan dan tegangan tarik yang diakibatkan oleh adanya pengaruh beban eksternal yaitu pengaruh gelombang. Gambar 2.4 (a) menunjukkan kondisi kapal pada saat *sagging*, sehingga mengakibatkan bagian geladak mengalami gaya tekan sedangkan bagian *bottom* kapal mengalami gaya tarik, sebaliknya pada Gambar 2.4 (b) menunjukkan kapal pada saat mengalami *hogging*, sehingga mengakibatkan bagian geladak kapal mengalami gaya tarik dan disaat bersamaan bagian *bottom* mengalami gaya tekan.



Gambar 2. 4 Kondisi Kapal akibat Pengaruh Gelombang  
(Sumber: *TheNavalArch.com*)

b. Tegangan Geser (*Shear Stress*)

Merupakan tegangan yang terjadi akibat pengaruh adanya gaya yang saling berlawanan arah dua arah. Tegangan ini memiliki dua arah pergeseran yaitu, pergeseran ke arah horizontal dan pergeseran ke arah vertikal. Apabila kapal dalam keadaan miring maka hal tersebut menunjukkan terdapat tegangan geser yang bekerja baik dari arah horizontal maupun vertikal. Gambar 2.5 menunjukkan arah tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja pada suatu bidang, tegangan normal arahnya tegak lurus dengan irisan benda bekerja, sedangkan tegangan geser menunjukkan arah sejajar dengan bidang pembebanan.



Gambar 2. 5 Komponen Tegangan Normal dan Tegangan Geser

Persamaan 2.2 digunakan untuk mendapatkan besar tegangan geser pada suatu penampang.

$$\tau = G \gamma \quad (2.2)$$

dimana

$\tau$  : Tegangan Geser (MPa)

$G$  : Modulus Geser (N/m<sup>2</sup>)

$\gamma$  : Regangan Geser (rad)

#### 2.1.4. *Finite Element Methode* (FEM)

*Finite element method* merupakan suatu prosedur numerik untuk menyelesaikan permasalahan teknik serta suatu problem fisis secara matematis. Pada metode ini, kondisi sesungguhnya harus tetap dipertahankan, seperti variasi bentuk, kondisi batas dan pembebanan, sehingga dapat menghasilkan solusi penyelesaian berupa pendekatan secara eksak (Bhavikatti, 2005).

Dalam metode elemen hingga, suatu struktur benda akan dianalisis dengan membagi benda atau struktur tersebut menjadi sejumlah elemen dalam jumlah banyak dan ukuran kecil. Jenis elemen tersebut dapat berupa garis lurus, segitiga, segiempat, *tetrahedral*, *quadrilateral* dan lain-lain. Banyaknya elemen yang dibentuk pada suatu struktur bergantung pada bentuk geometri benda yang akan dianalisis, sedangkan bentuk elemen yang diambil bergantung pada ukuran atau dimensi struktur yang akan dianalisis (Logan, 2007).

Membagi suatu model matematika menjadi komponen geometri sederhana, yaitu disebut elemen hingga atau elemen, terdapat beberapa jenis elemen, sebagai berikut:

a) Elemen Garis

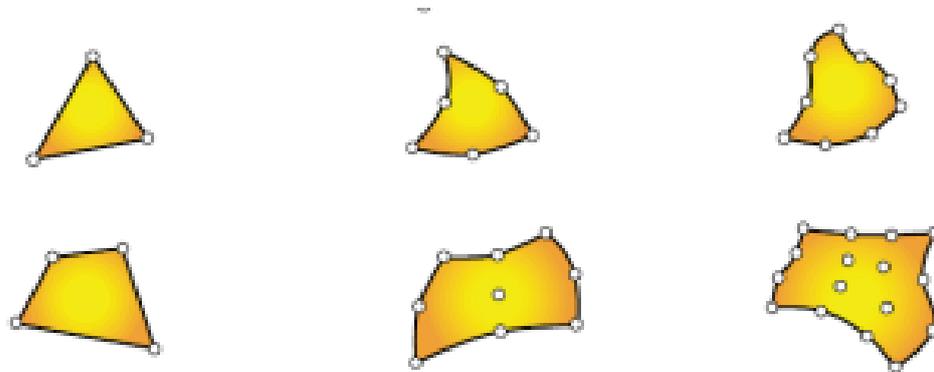
Elemen 1-dimensi hanya digunakan jika perpindahan merupakan fungsi satu koordinat saja. Jenis elemen ini harus mempunyai sekurang-kurangnya dua titik dalam sumbu kontroidalnya. Elemen ini dapat mempunyai 2 titik, 3 titik, 4 titik dan seterusnya, semakin banyak titik akan memberikan hasil dengan akurasi yang lebih tinggi, tetapi pada saat yang sama membutuhkan kalkulasi yang lebih kompleks. Contoh elemen 1-dimensi adalah elemen linear, elemen *quadratic* dan elemen kubik. Gambar 2.6 menunjukkan tiga contoh bentuk dari jenis elemen garis.



Gambar 2. 6 Jenis Elemen 1 Dimensi  
(Sumber: Felippa, 2004)

b) Elemen Dua Dimensi

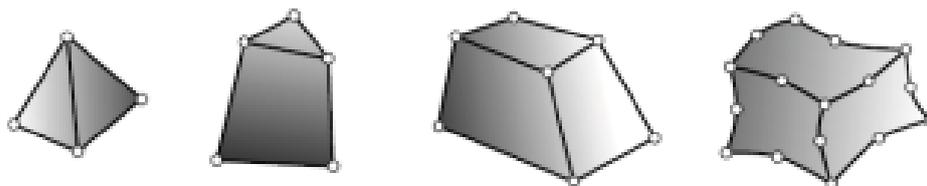
Elemen 2-dimensi digunakan jika perpindahan merupakan fungsi dua koordinat  $x$  dan  $y$ . Jenis elemen ini merupakan *layer* yang mempunyai tiga titik penghubung atau lebih. Contoh untuk elemen 2-dimensi adalah elemen linear *triangular*, yang paling mudah untuk dimodel, elemen *linear rectangular*, elemen kurva *triangular* dan elemen kurva *rectangular*. Gambar 2.7 menunjukkan enam contoh bentuk dari elemen dua dimensi.



Gambar 2. 7 Jenis Elemen 2 Dimensi  
(Sumber: Felippa, 2004)

c) Elemen Tiga Dimensi

Elemen 3-dimensi digunakan jika perpindahan merupakan fungsi tiga koordinat  $x$ ,  $y$  dan  $z$ . Masing-masing panjang tepi sangat menentukan sebab tidak terdapat dimensi elemen yang lebih besar dari 2-dimensi lainnya. Elemen 3- dimensi paling banyak digunakan untuk mencari solusi pada suatu analisis, hal ini dikarenakan tingkat akurasi dari jenis elemen ini. Gambar 2.8 menunjukkan empat contoh bentuk elemen tiga dimensi.



Gambar 2. 8 Jenis Elemen 3 Dimensi  
(Sumber: Felippa, 2004)

### 2.1.5. Meshing

Tahap pembuatan *mesh* merupakan proses penting dalam perhitungan numerik menggunakan metode elemen hingga. *Meshing* merupakan proses membagi suatu model menjadi elemen yang lebih kecil. Proses *meshing* dapat dilakukan menggunakan elemen teratur dan tidak teratur. Bentuk elemen teratur contohnya berbentuk elemen *quad* dan *hexagonal*, sedangkan elemen tidak teratur contohnya berbentuk *tetrahedral* atau *triangle*.

Sering kali disebutkan bahwa akurasi solusi elemen hingga semakin meningkat dengan semakin banyaknya elemen yang digunakan, akan tetapi dengan semakin banyaknya elemen yang digunakan maka waktu yang dibutuhkan untuk komputasi juga semakin besar. Bahkan terkadang jumlah elemen yang terlalu besar akan meningkatkan *round-off error* (Madenci, 2006).

Ukuran elemen pada proses *meshing* berbeda beda tergantung lokasinya. Menurut *International Association of Classification Societies* (2015) ukuran elemen yang dapat digunakan sebesar 50 milimeter dan tidak boleh kurang dari nilai tersebut, terutama pada daerah yang bernilai tegangan tinggi. Hal tersebut mempengaruhi akurasi dari hasil pendekatan nilai sebenarnya.

### 2.1.6. Kriteria Kegagalan

Berdasarkan regulasi hasil tegangan dari permodelan 3 kompartemen ruang muat yang dipengaruhi beban internal maupun internal tidak boleh melebihi besar dari tegangan izin. Tegangan izin tersebut sebesar  $280/k \text{ N/mm}^2$ . Nilai  $k$  merupakan besar faktor material. Nilai tersebut didapatkan dari material properties baja yang digunakan pada kapal. Besar nilai  $k$  ini juga diatur dalam regulasi. Tabel 2.1 menunjukkan harga besar  $k$  berdasarkan besar *minimum yield stress* (*Common Structural Rules*, 2015).

Tabel 2. 1 Nilai *Minimum Yield Stress*  
(Sumber: *Common Structural Rules*,2015)

$R_{eH}$ , specified minimum yield stress, in $\text{N/mm}^2$	$k$
235	1.00
315	0.78
355	0.72
390	0.68

Nilai  $k$  tersebut menurut regulasi *International Association of Classification Societies*, hanya dapat digunakan untuk kapal *bulk carrier* dan *tanker* dengan panjang sekitar kurang

lebih 150 ~ 250 meter, dan pula untuk kapal dengan *single hull* dengan panjang kurang dari 150 meter.

Pada regulasi *chapter 3, section 1* dijelaskan bahwa terdapat beberapa tipe atau jenis material baja yang seringkali digunakan pada pembangunan kapal yang berada dibawah standart biro klasifikasi ABS, BKI, DNV, RINA, GL, LR, NK, KR, CCS dan lain-lain. Pada setiap jenis material baja tersebut terdapat perbedaan besar nilai *minimum yield stress* dan *ultimate tensile strength* seperti yang terdapat pada Tabel 2.2. Rincian besar nilai  $R_{eH}$  berdasarkan regulasi (*Common Structural Rules, 2015*).

Tabel 2. 2 Variasi Tipe Baja pada Kapal  
(Sumber: *Common Structural Rules, 2015*)

Steel grades for plates with $t_{as\_built} \leq 100$ mm	$R_{eH}$ , specified minimum yield stress, in N/mm <sup>2</sup>	$R_m$ , specified tensile strength, in N/mm <sup>2</sup>
A-B-D-E	235	400 - 520
AH32-DH32-EH32-FH32	315	440 - 570
AH36-DH36-EH36-FH36	355	490 - 630
AH40-DH40-EH40-FH40	390	510 - 660

### 2.1.7. Pembebanan

Besar tegangan hasil reaksi pembebanan yang bekerja di kapal telah diatur dalam regulasi *Common Structural Rules* tahun edisi 2015. Pada regulasi ini hanya khusus digunakan pada kapal berjenis *bulk carrier* dengan panjang lebih dari 150 meter. Kapal tersebut harus dirancang untuk pelayaran pada daerah laut Samudra Atlantik Utara serta dengan desain *life time* 25 tahun. Kemudian beban yang bekerja pada model adalah beban eksternal (salah satu contohnya adalah beban gelombang) serta beban internal (salah satu contohnya adalah beban tekan muatan).

#### 1. Beban Gelombang (*Wave Load*)

Merupakan beban yang dihasilkan dari suatu gelombang, baik itu berupa gelombang air laut gelombang angin dan lain lain. Makna gelombang disini merupakan makna umum. Beban yang memiliki amplitudo. Pada umumnya pembebanan gelombang ini diterapkan pada struktur untuk memunculkan besar reaksi tegangan dari struktur tersebut. Seperti untuk melakukan analisis sebuah pipa, analisis struktur bangunan lepas pantai yang terkena angin serta lain lain.

Kapal yang sedang berlayar pada kondisi normal di laut, akan mendapatkan beban gelombang yang mempengaruhi badan kapal (struktur kekuatan secara memanjang

kapal). Kondisi pembebanan terhadap gelombang inilah yang dikenal dengan sebutan kondisi *sagging* dan *hogging*. Sehingga perlu dilakukan perhitungan *bending moment*. Kondisi tersebut adalah saat kapal dipengaruhi oleh *vertical bending moment* (yang muncul akibat adanya defleksi terhadap sumbu-Y), *horizontal bending moment* (yang muncul akibat adanya defleksi terhadap sumbu-Z) serta *transverse bending moment* (yang muncul akibat adanya defleksi terhadap sumbu-X) (Bhattacharyya, 1978).

### 1.1. *Vertical Wave Bending Moment*

Merupakan beban gelombang yang sangat dominan mempengaruhi sebuah struktur yang sedang terapung. Berdasarkan *GL Rules*, perhitungan beban gelombang vertikal dapat dekati menggunakan persamaan 2.3.

$$M_{WV} = L^2 \cdot B \cdot C_0 \cdot C_1 \cdot C_L \cdot C_M \quad (2.3)$$

dimana

$M_{WV}$  : *Vertical Wave Bending Moment* (kNm)

$C_0$  : Koefisien gelombang

$L$  : Panjang kapal (m)

$B$  : Lebar kapal (m)

$C_1$  : Koefisien pada kondisi *sagging dan hogging*

$C_L$  : Koefisien panjang

$C_M$  : Faktor distribusi

### 1.2. *Vertical Wave Shear Force*

*Vertical Wave Shear Force* merupakan beban gelombang yang sangat dominan mempengaruhi sebuah struktur yang sedang terapung. Berdasarkan *Common Structural Rules*, perhitungan beban gelombang vertikal dapat dihitung menggunakan persamaan 2.4.

$$Q_{WV} = L \cdot B \cdot C_0 \cdot C_Q \cdot (C_B + 0.7) \quad (2.4)$$

dimana

$Q_{WV}$  : *Vertical Wave Shear Force* (kN)

$C_0$  : Koefisien gelombang

$L$  : Panjang kapal (m)

$B$  : Lebar kapal (m)

$C_B$  : *Block coefficient*

$C_Q$  : Faktor distribusi

### 1.3. Kondisi *sagging* dan *hogging*

#### a. Kondisi *Hogging*

Deformasi pada kapal berbentuk cembung. Pada kondisi ini, meskipun berat kapal total seimbang dengan *buoyancy*, terdapat kelebihan *buoyancy* pada *midship* dan kelebihan berat pada *bow* dan *stern*. Situasi ini menyebabkan kecenderungan ujung kapal bergerak ke arah bawah dan pada bagian *midship* bergerak ke atas.

#### b. Kondisi *sagging*

Deformasi pada kapal berbentuk cekung. Terdapat kelebihan berat pada *midship* dan kelebihan *bouyancy* pada *bow* dan *stern*. Situasi ini menyebabkan kecenderungan ujung kapal bergerak ke arah atas dan pada bagian *midship* bergerak ke bawah (Barras, 1999).

### 2.1.8. Tegangan *Von Mises*

Tegangan *von mises* merupakan kombinasi dari semua tegangan, yaitu tegangan normal pada tiga arah dan juga tegangan geser yang bereaksi pada tempat tertentu. Jika tegangan *von mises* yang dihasilkan melebihi *yield strength*, maka material akan memberikan kekuatan sebesar *yield strength*, dan jika tegangan *von mises* yang dihasilkan melebihi *ultimate strength* maka material akan pecah. Tegangan *von mises* menurut *Common Structural Rules* (2015) dihitung menggunakan persamaan 2.5.

$$\sigma_{vm} = \sqrt{(\sigma_x)^2 - (\sigma_x\sigma_y)^2 + (\sigma_y)^2 + 3(\tau_{xy})^2} \quad (2.5)$$

dimana

$\sigma_{vm}$  : Tegangan *von mises* (N/m<sup>2</sup>)

$\sigma_x$  dan  $\sigma_y$  : Tegangan normal elemen (N/m<sup>2</sup>)

$\tau_{xy}$  : Tegangan geser elemen (N/m<sup>2</sup>)

### 2.1.9. Deformasi

Deformasi terjadi sebagai respon dari material yang mendapatkan beban. Selama proses deformasi berlangsung, material menyerap energi akibat adanya gaya yang bekerja. Besar gaya yang bekerja memberi efek pada perubahan bentuk dan dimensi suatu material. Perubahan bentuk secara fisik pada benda dibagi menjadi dua, yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Deformasi elastis terjadi saat beban yang diberikan pada material ditiadakan, material kembali seperti ukuran dan bentuk semula. Deformasi elastis ditandai dengan nilai tegangan yang dihasilkan tidak melebihi *yield strength*. Deformasi plastis adalah

deformasi yang bersifat permanen, yaitu ketika beban yang diberikan kepada suatu material ditiadakan maka material tidak kembali ke ukuran dan bentuk semula. Deformasi plastis ditandai dengan nilai tegangan yang dihasilkan melebihi *yield strength* (Hibeller, 1997).

Pada awal pembebanan material akan mengalami deformasi elastis sampai besar tegangan mencapai *yield strength*. Apabila tegangan tidak mencapai *yield strength* maka material akan kembali ke bentuk semula. Selanjutnya setelah melebihi *yield strength*, material akan mengalami deformasi plastis. Penambahan beban pada material yang telah mengalami deformasi plastis akan terjadi penguatan regangan pada material yang disebut *strain hardening*. Setelah material mengalami *strain hardening* dan mencapai *ultimate strength*, penambahan beban akan menyebabkan material pecah (Singer, 1995).

## **2.2. Tinjauan Pustaka**

Studi literatur yang berhubungan, dimana bersumber pada jurnal maupun penelitian yang sebelumnya telah dilakukan sebelum Tugas Akhir ini dibuat.

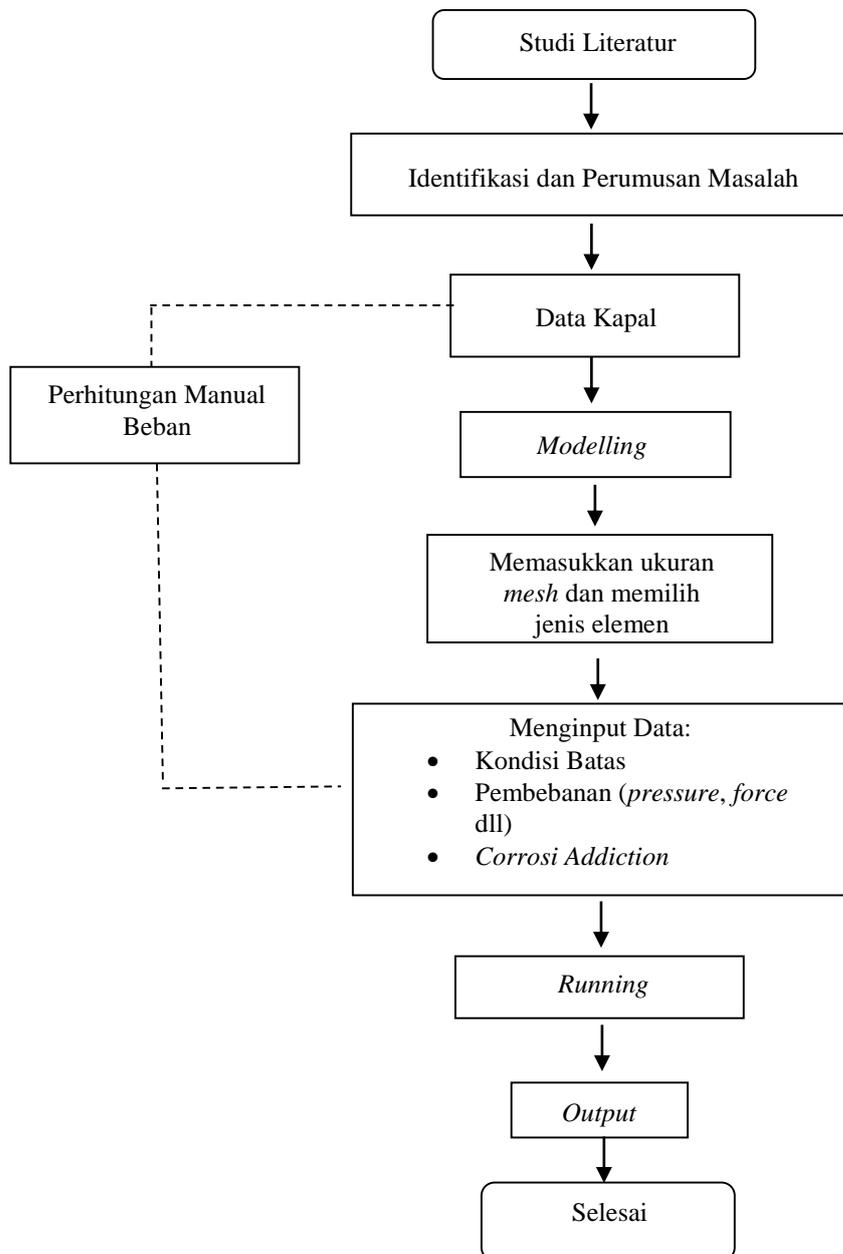
### **2.2.1. Analisis Retak di Ujung Bukaannya Palkah**

Tegangan maksimum yang terjadi pada daerah di sekitar bukaan palkah biasanya terjadi pada pelat geladak yang dekat dengan ambang palkah, hal ini dikarenakan pada daerah sekitar bukaan palkah rawan terjadi kerusakan jika terkena momen bending (Rama, 2013).

# BAB 3 METODOLOGI

## 3.1. Bagan Alir

Proses pengerjaan Tugas Akhir ini dilakukan sesuai dengan Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Bagan Alir Pengerjaan Tugas Akhir

### 3.2. Studi Literatur

Terdapat beberapa sumber yang digunakan. Namun untuk seluruh perhitungan pembebanan yang diaplikasikan pada kapal, menggunakan regulasi *Common Structural Rules* (2015) dan Biro Klasifikasi Indonesia Volum II *Rules for Hull* (2014). Model kapal, *boundary condition*, hingga perhitungan semua mengacu pada kedua regulasi tersebut.

### 3.3. Pengumpulan Data

Data yang didapatkan berupa data gambar *midship section and details, general arrangement*, ukuran utama kapal serta detail material yang digunakan dalam pembangunan kapal. Data kapal yang didapat adalah jenis kapal *bulk carrier* yang telah diluncurkan pada tahun 2014. Merupakan jenis *panamax box shape bulk carrier* yang memiliki bobot mati 50.000 DWT. Kapal ini beroperasi untuk mengangkut muatan curah berupa tepung.

#### 3.3.1. Ukuran Utama Kapal

Jenis kapal yang digunakan dalam analisis adalah kapal *bulk carrier* dengan bobot mati sebesar 50.000 ton. Setiap proses pembangunan hingga peluncuran dilakukan *approved by* salah satu badan klasifikasi internasional yang merupakan anggota *Association of Clasification Societies*. Tabel 3.1 menunjukkan rincian ukuran utama kapal tersebut.

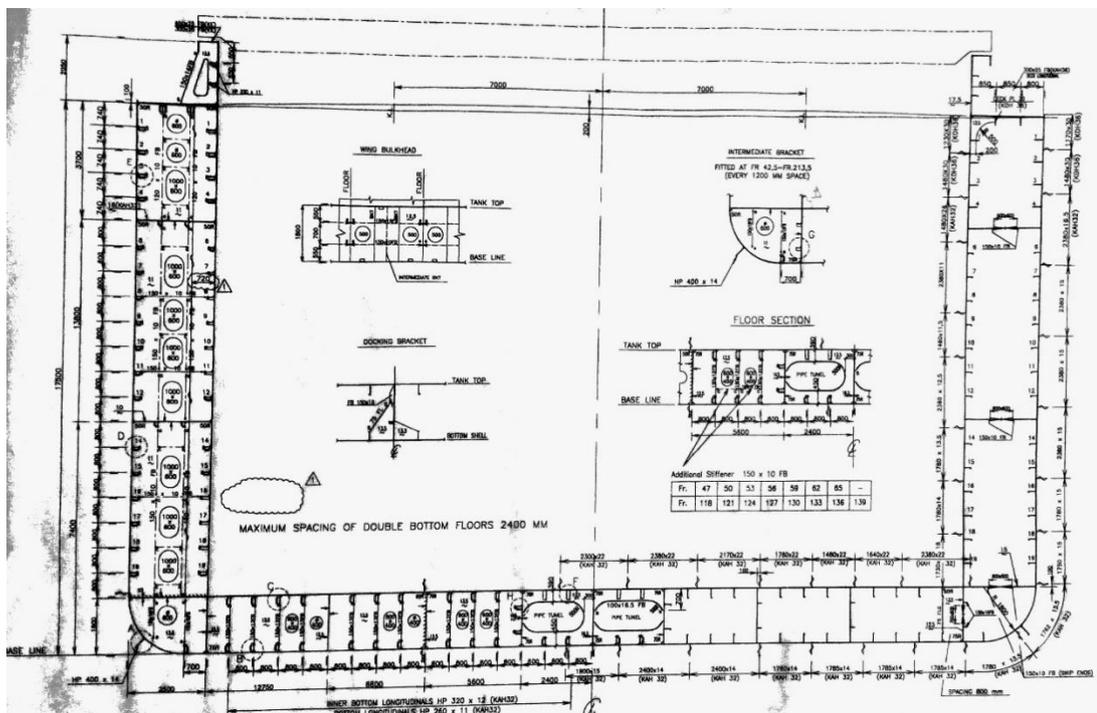
Tabel 3. 1 Ukuran Utama Kapal

<i>PRINCIPAL PARTICULARS</i>	
<i>LENGTH OVER ALL</i>	189,90 M
<i>LENGTH BETWEEN PERPENDICULARS</i>	182,00 M
<i>LENGTH SCANTLING</i>	179,72 M
<i>BREADTH MOULDED</i>	30,50 M
<i>DEPTH MOULDED</i>	17,50 M
<i>DESIGN DRAFT</i>	11.00 M
<i>SCANTLING DRAFT</i>	12.80 M
<i>SERVICE SPEED</i>	14,5 KNOTS
<i>DEADWEIGHT AT DESIGN DRAFT</i>	41.000 TON
<i>DEADWEIGHT AT SCANTLING DRAFT</i>	50.000 TON
<i>COMPLEMENT</i>	25 PERSONS

Data yang digunakan dalam pengerjaan analisis ini adalah jarak antar *after peak* hingga *fore peak* (*length between perpendiculars*), lebar kapal, sarat kapal dan beberapa perhitungan koefisien yang kemudian diolah hingga mendapatkan besar nilai pembebanan seperti *force*, *pressure* dan lain-lain.

### 3.3.2. Midship Section

Kapal yang digunakan pada analisis ini merupakan kapal dengan konstruksi yang cukup istimewa. Gambar 3.2, tampak konstruksi melintang kapal *panamax box shape bulk carrier* yang digunakan pada pencarian solusi dari analisis ini. Kapal tersebut mempunyai lambung ganda, yang mana tidak terdapat *upper side tank* dan *hopper side tank* pada gambar tersebut, melainkan adanya *wing tank* yang dilengkapi penegar pada sekelilingnya. Selain itu, hal lain yang berbeda dari kapal ini adalah, kapal ini tidak menggunakan L atau T *profile* untuk setiap penegarnya, melainkan menggunakan *bulb profile* dan *flat bar*. Sehingga perlu dilakukan beberapa perhitungan untuk melakukan *convert bulb profile* menjadi L *profile*. Proses perhitungan konversi menggunakan persamaan yang terdapat pada regulasi (*Common Structural Rules*,2015).



Gambar 3. 2 Penampang Melintang kapal

### 3.4. Pembuatan Model Kapal

Sebelum dilakukan analisis tegangan, pembuatan model dilakukan terlebih dahulu menggunakan *software 3D modelling*. Sesuai dengan regulasi yang telah ada, bahwa kapal *bulk carrier* dengan panjang di atas 150 meter, diperlukan untuk dimodelkan sebanyak tiga kompartemen di daerah ruang muat. Pemodelan dilakukan dengan seluruh penegar dan konstruksi terpasang pada kapal. Serta dimodelkan untuk bagian *port side* dan *starboard side* kapal. Proses pemodelan dilakukan dalam tahapan berikut:

#### 3.4.1. Perhitungan *Corrosion Factor* dan Konversi Pembujur

Konstruksi kapal yang digunakan untuk pemodelan memiliki konstruksi yang berbeda dari konstruksi kapal *bulk carrier* pada umumnya. Jenis kapal *panamax box shape bulk carrier* ini konstruksi memanjangnya menggunakan *bulb profile*. Serta tidak adanya *hopper side* dan *upper side tank* seperti pada jenis kapal *bulk carrier* pada umumnya.

Sebelum dilakukan proses desain menggunakan *software 3D modelling*, dilakukan perhitungan faktor korosi pada seluruh tebal pelat dan *profile* berdasarkan regulasi pada *Common Structural Rules*. Perhitungan ini dilakukan untuk mendekati kondisi sesungguhnya, dimana ukuran *profile* dan pelat dimungkinkan berkurang karena korosi. Kemudian hasil pengurangan *corrosion addition* ini dimodelkan menjadi pemodelan pada analisis.

Setelah menghitung tebal dengan pengaruh faktor korosi, selanjutnya, melakukan perhitungan konversi *bulb profile* menjadi *L profile* sesuai dengan regulasi *Common Structural Rules* (2015). Persamaan 3.1, 3.2, dan 3.3 digunakan untuk memodelkan *bulb profile* menjadi *L profile*.

$$h_w = h'_w - \frac{h'_w}{9,2} + 2 \quad (3.1)$$

$$b_f = \alpha \left[ t'_w + \frac{h'_w}{6,7} - 2 \right] \quad (3.2)$$

$$t_f = \frac{h'_w}{9,2} - 2 \quad (3.3)$$

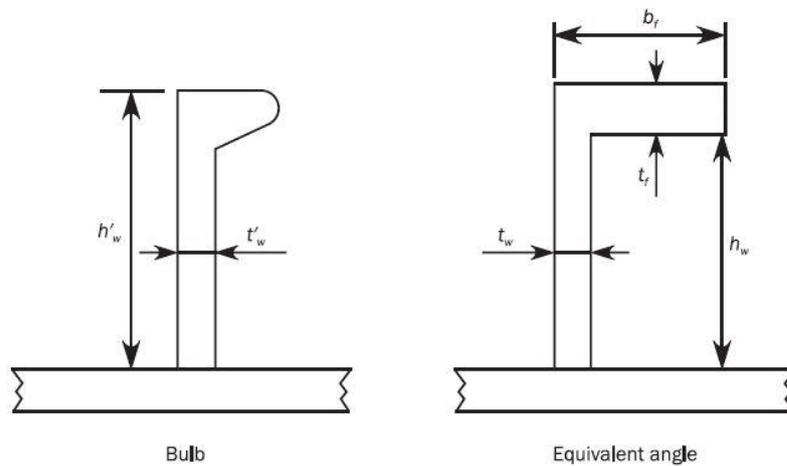
dimana

$h'_w$  : Tinggi *bulb profile* (mm)

$t'_w$  : Tebal *bulb profile* (mm)

$\alpha$  : Koefisien konversi

Gambar 3.3 menunjukkan hasil konversi dari *bulb profile* yang terdapat pada data kapal menjadi *L profile* desain yang sesuai regulasi (*Common Structural Rules*, 2015).

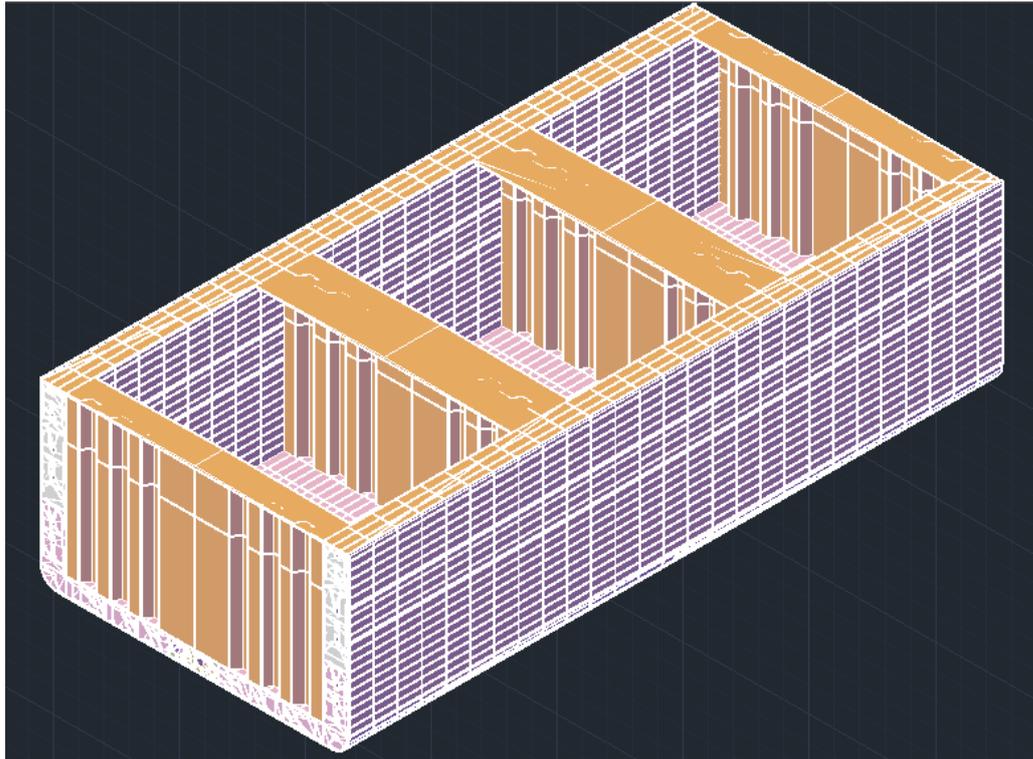


Gambar 3. 3 Konversi *Profile* dari *Bulb* Menjadi L  
(Sumber: *Common Structural Rules*, 2015)

Hasil dari persamaan 3.1, 3.2 dan 3.3 tersebut kemudian dimodelkan. Sehingga seluruh konstruksi pembujur dan pelat model yang akan disimulasikan untuk dianalisis adalah hasil dari perhitungan koefisien korosi dan konversi *profile*. Hasil perhitungan konversi *profile* yang telah dilakukan sesuai dengan aturan regulasi.

#### 3.4.2. Pembuatan *Midship Section*

Sesuai pada regulasi *Common Structural Rules* pemodelan untuk melakukan analisis kekuatan dan/atau *fatigue* khusus pada jenis kapal *tanker* dan *bulk carrier* harus dilakukan dengan pemodelan tiga kompartemen ruang muat, pemodelan dilakukan pada kondisi semua konstruksi terpasang, seperti sekat, pembujur, *girder* dan lain-lain. Kapal dimodelkan secara utuh baik bagian *port side* maupun bagian *starboard side* sesuai data *midship section* yang didapat seperti terlihat pada Gambar 3.4. Pembuatan model dilakukan pada ruang muat no 2, 3 dan 4 sesuai dengan regulasi *Common Structural Rules* (2015) yaitu dimulai dari *frame* 74 hingga *frame* ke 183, dilakukan menggunakan *software 3D modelling* sehingga menghasilkan model dalam kondisi *solid*. Pemodelan dimulai dengan pembuatan *frame* 74 yang merupakan sekat *corrugated bulkhead* kemudian dilanjutkan dengan membuat bagian *floor* serta pembujur. Pada bagian ruang muat, jarak antar gading berjarak sejauh 800 mm. Jarak antar *floor* hanya berjarak 3 jarak gading. Gambar 3.4 merupakan hasil pemodelan dalam bentuk 3 dimensi yang *solid*.



Gambar 3. 4 Pemodelan 3 Dimensi Ukuran Asli

Kemudian model 3 kompartemen ruang muat diimport hingga menjadi file \*.igs. Gambar 3.4 merupakan hasil pemodelan 3 kompartemen ruang muat dengan *full construction*. Geometri yang diimport dilakukan dalam tiga bagian terpisah. Bagian berlubang, bagian pelat utuh dan bagian geladak.

Terdapat tiga variasi ruang muat yang dimodelkan. Model pertama merupakan model yang ditunjukkan pada Gambar 3.4. Ukuran keseluruhan sesuai pada data yang telah didapatkan. Sedangkan untuk dua variasi lainnya, dibedakan berdasarkan penyempitan lebar bukaan palkah. Variasi pertama, terdapat penambahan pembujur, yaitu sebanyak dua pembujur di bagian geladak sebelah kanan (*starboard side*) dan kiri (*port side*). Pada pemodelan dua variasi lainnya, terdapat penambahan pembujur pada geladak serta penyangga *deck longitudinal* tersebut.

Ketiga model yang dianalisis memiliki panjang geometri sepanjang 64,8 meter, dengan lebar kapal ketiga model sama yaitu 30,5 meter. Perbedaan diantara ketiga model tersebut adalah lebar bukaan palkah dan jumlah pembujur geladak. Model pertama merupakan desain asli kapal itu sendiri dengan ukuran lebar bukaan palkah sebesar 25,5 meter dan panjang 16 meter. Model kedua dengan penambahan pembujur geladak sebanyak dua buah di bagian *port side* dan dua buah pembujur di bagian *starboard side* yang mana lebar bukaan

palkah sebesar 22,3 meter dan panjang tidak berubah yaitu 16 meter. Kemudian untuk model ketiga, dilakukan penambahan pembujur dari model kedua, sehingga total *deck longitudinal* pada model ketiga berjumlah empat buah pada bagian *port side* dan empat buah *deck longitudinal* pada bagian *starboard side* dari *existing ship*.

### 3.4.3. Memodelkan *Deck Longitudinal* untuk Kapal Variasi 1 dan 2

Pada pemodelan kapal variasi 1 dan 2 memiliki perbedaan dengan model pada kapal asli. Selain perbedaan terhadap dimensi bukaan palkah, pembujur geladak pada kapal variasi 1 dan 2 memiliki ukuran web yang lebih kecil dibandingkan dengan pembujur yang terdapat pada kapal asli. Menggunakan besar nilai modulus yang sama, didapatkan ukuran pembujur geladak pada kapal variasi 1 dan 2 yaitu sebesar 215 X 25 FB. Persamaan 3.4 digunakan untuk mendapatkan besar *flat bar* dengan ukuran tersebut.

$$W_l = \frac{83,3}{\sigma_{pr}} m a l^2 p \quad (3.4)$$

dimana

$W_l$  : *Section Modulus* (cm<sup>3</sup>)

$\sigma_{pr}$  : Tegangan izin (N/mm<sup>2</sup>)

$a$  : Jarak antar *stiffener* (m)

$l$  : Panjang penegar yang tidak ditumpu (m)

$p$  : Beban geladak (kN/m<sup>2</sup>)

Persamaan tersebut sesuai dengan regulasi Biro Klasifikasi Indonesia yang terdapat pada *Section 9*. Untuk besar nilai  $m$  pada persamaan modulus tersebut, dapat ditemukan dengan menggunakan persamaan 3.5.

$$m_k^2 + m_a^2 = m \quad (3.5)$$

Persamaan 3.5 juga merupakan pendekatan yang bersumber dari regulasi Biro Klasifikasi Indonesia (2014). Pada persamaan tersebut membutuhkan nilai  $m_k$  dan  $m_a$  untuk mendapatkan nilai  $m$ . Pada persamaan 3.6 digunakan untuk mendapatkan nilai  $m_k$  sedangkan persamaan 3.7 untuk mendapatkan besar nilai  $m_a$ .

$$m_k = 1 - \frac{l_{KI} + l_{KJ}}{10^3 l} \quad (3.6)$$

$$m_a = 0,204 \frac{a}{l} \left( 4 - \left[ \frac{a}{l} \right]^2 \right) \quad (3.7)$$

Setelah nilai modulus ditemukan, selanjutnya melakukan perhitungan untuk mencari nilai luasan dari pembujur. Nilai modulus dan luasan ini harus memenuhi tegangan yang dipersyaratkan, dalam mencari ukuran baru dari pembujur geladak untuk model variasi 1 dan variasi 2. Persamaan 3.8 merupakan pendekatan dalam mencari nilai luasan tersebut.

$$A = (1 - 0,817 ma) 0,05 . a . l . p . k \quad (3.8)$$

dimana

A : *Section Area* (cm<sup>2</sup>)

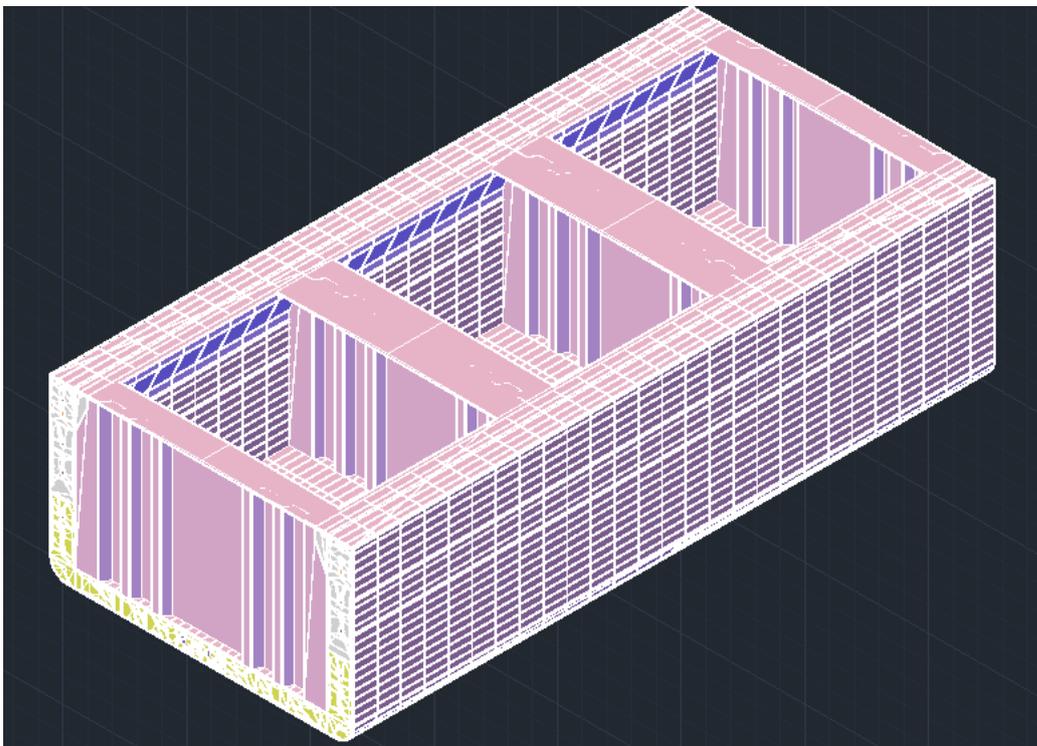
a : Jarak antar *stiffener* (m)

l : Panjang penegar yang tidak ditumpu (m)

p : Beban geladak (kN/m<sup>2</sup>)

k : *Material factor*

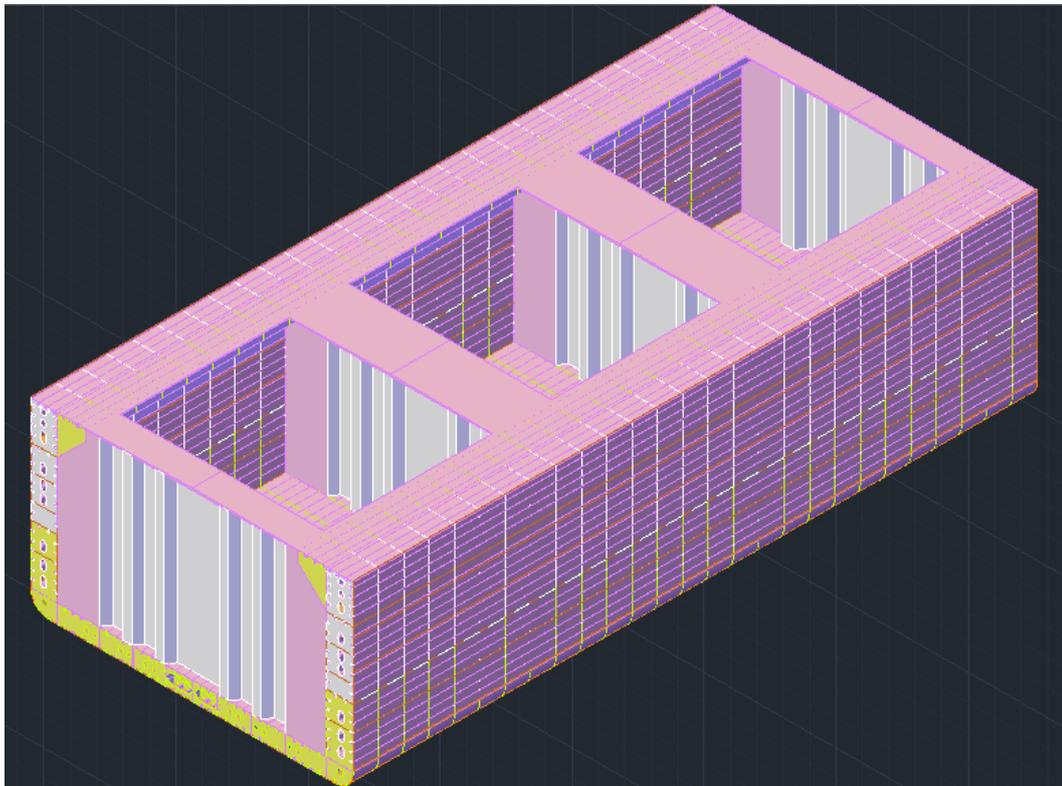
Sehingga dihasilkan model ukuran dimensi pembujur baru dengan penambahan jumlah dan penyangga pembujur geladak tersebut. Gambar 3.5 menunjukkan model dari variasi 1. Ukuran pembujur geladak yang digunakan adalah ukuran dari hasil perhitungan pembujur baru dan terdapat penambahan *bracket*.



Gambar 3.5 Model Variasi 1 dengan 8 Buah Pembujur Geladak

Model variasi 1 ini menunjukkan adanya penambahan empat pembujur geladak sehingga total pembujur tersebut menjadi delapan buah *deck longitudinal* untuk bagian *starboard* dan *port side*. Gambar 3.6 merupakan model dari variasi 2. Model tersebut

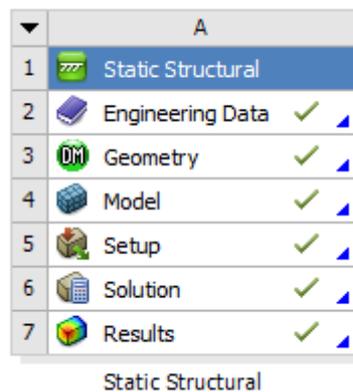
memiliki total pembujur geladak sebanyak dua belas buah untuk bagian *starboard* dan *port side*.



Gambar 3. 6 Model Variasi 2 dengan 12 Buah Pembujur Geladak

### 3.5. *Material Properties*

*Material properties* yang digunakan untuk melakukan analisis ini adalah sesuai dengan *material properties* yang digunakan pada kondisi sesungguhnya. Material baja yang digunakan pada kapal ini adalah jenis baja *high tensile steel AH32*. Gambar 3.7 menunjukkan *material properties* pada *software* analisis.



Gambar 3. 7 Memasukkan Data Material pada Bagian *Engineering Data*

Beberapa hal yang perlu diinput dalam data tersebut adalah karakteristik material yang digunakan dalam kondisi sebenarnya. Hal ini dimaksudkan agar hasil data yang dihasilkan mendekati kondisi sebenarnya. Detail data material yang perlu dilakukan *penginputan* sesuai dengan kondisi baja asli terdapat pada Tabel 3.2.

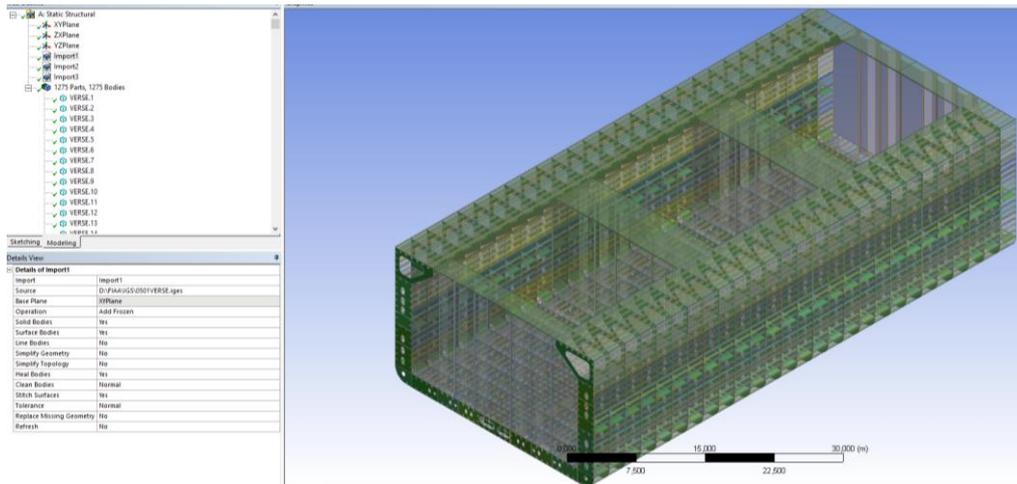
Tabel 3. 2 *Mechanical Properties* Baja AH32

<b><i>Mechanical Properties</i></b>	
Deskripsi	Ukuran
Massa jenis	7850 kg/m <sup>3</sup>
Modulus Young	206 GPa
Poisson's ratio	0.3
Shear Modulus	79.3 GPa
Bulk Modulus	140 Gpa
Compressive Yield Strength	152 GPa
Tensile strength, Yield	315 Mpa
Tensile Strength, Ultimate	440-590 MPa

### 3.6. *Import Data Geometri*

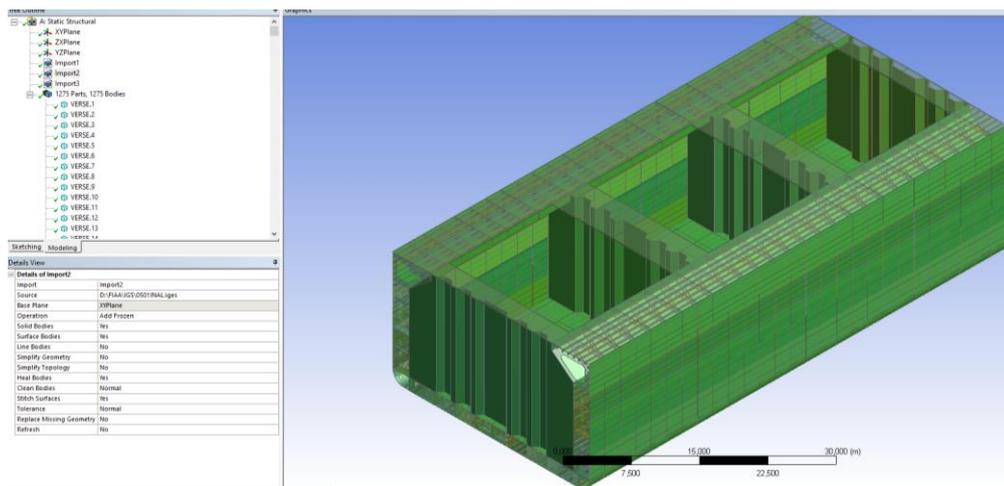
Setelah selesai melakukan input data material pada bagian *Engineering Data* kemudian dilakukan *import* data pada lembar *geometry*. Pada lembar kerja tersebut harus dipastikan bahwa model yang akan dianalisis telah dalam keadaan *solid*. Khusus pada bagian *software* ini, semua bagian *geometry* yang diimport jika terdapat sebuah *surface* maka akan mempengaruhi atau bahkan menghambat proses analisis data. Sehingga harus benar benar dipastikan bahwa keseluruhan data *geometry* yang akan diimport menyatu satu dengan yang lain dan telah dalam kondisi *solid* bukan berupa *surface*. Selain itu, untuk format data *geometry* yang akan di-*import* harus dalam bentuk \*.igs dan lain-lain. Apabila *save as file geometry* tidak sesuai maka dapat mengakibatkan gambar tidak terbaca oleh *software*.

Data gambar dimasukkan menuju *software* analisis dilakukan dengan pembagian menjadi tiga bagian model. Gambar 3.8 menunjukkan gambar model pada bentuk data \*.igs yang telah berhasil terimport pada *software* analisis data.



Gambar 3. 8 *Import Model Pertama*

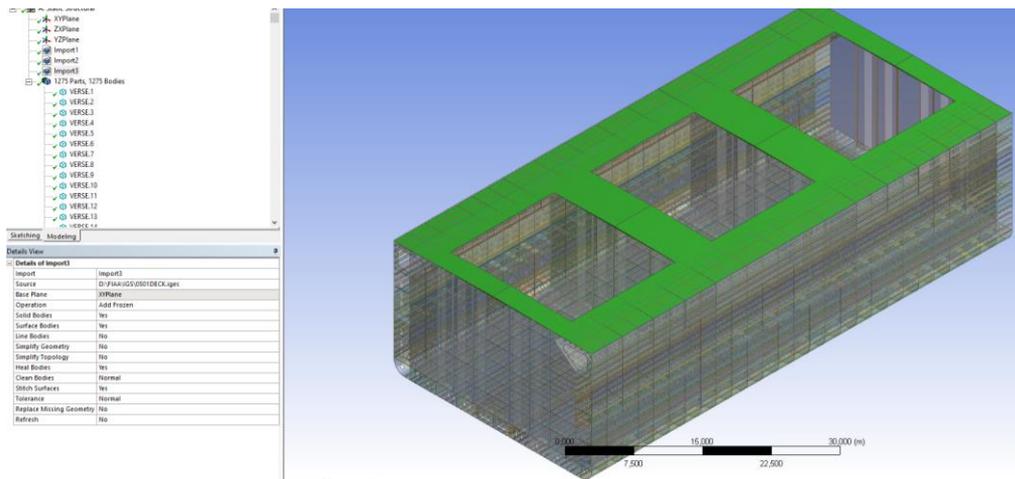
Bagian yang *diimport* pertama merupakan bagian *transverse* kapal yang memiliki lubang peringan dan semua pelat yang memiliki lubang. Selanjutnya bagian kapal yang *diimport* adalah yang ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 *Import Model Kedua*

Data model kedua yang *diimport* adalah seluruh pelat dan penegar yang tanpa lubang peringan. Seperti yang terlihat pada gambar, bagian yang *diimport* berupa pelat yang terletak pada *hull*, *bottom*, *inner bottom*, *wing tank*, *corrugated bulkhead*, seluruh *longitudinal* pada kapal, serta semua penegar berupa *flat bar* pada kapal.

Kemudian data model ketiga yang *diimport* adalah bagian geladak. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.10.

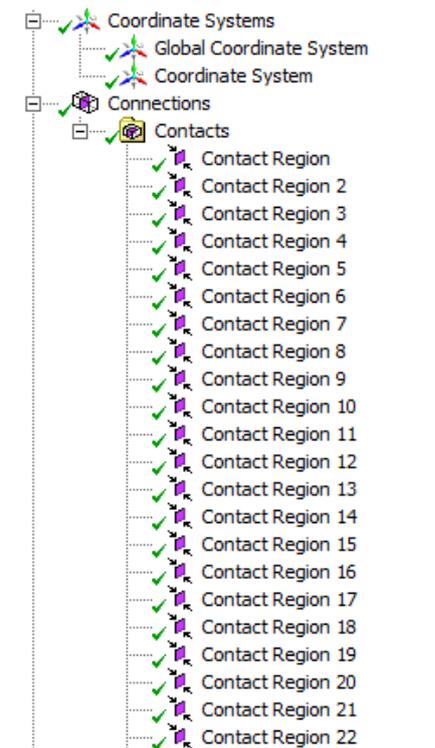


Gambar 3. 10 *Import Model Ketiga*

Bagian-bagian tersebut diimport secara terpisah dikarenakan terdapat perbedaan jenis *meshing* yang akan dilakukan pada ketiga bagian tersebut. Total *parts* pada data model yang diimport untuk kapal dengan ukuran asli adalah sebanyak 1435 *parts*. Sedangkan untuk variasi pertama jumlah *parts* yang berhasil diimport adalah sebanyak 1329 *parts* dan untuk variasi kedua sebanyak 1275 *parts*.

### 3.7. *Connections*

Koneksi antar bagian konstruksi model geometri didefinisikan. Jenis koneksi yang digunakan adalah *bonded*, yaitu menyerupai las-lasan pada kondisi sebenarnya. Pendefinisian koneksi dilakukan otomatis oleh *software*, tetapi ada beberapa koneksi yang harus diperbaiki dan didefinisikan secara manual. Koneksi yang perlu diperbaiki adalah beberapa koneksi yang seharusnya tidak menyatu, tetapi terdefiniskan sebagai geometri yang menyatu. Koneksi harus didefinisikan secara manual saat geometri yang seharusnya menyatu, tetapi tidak terdefinisi.

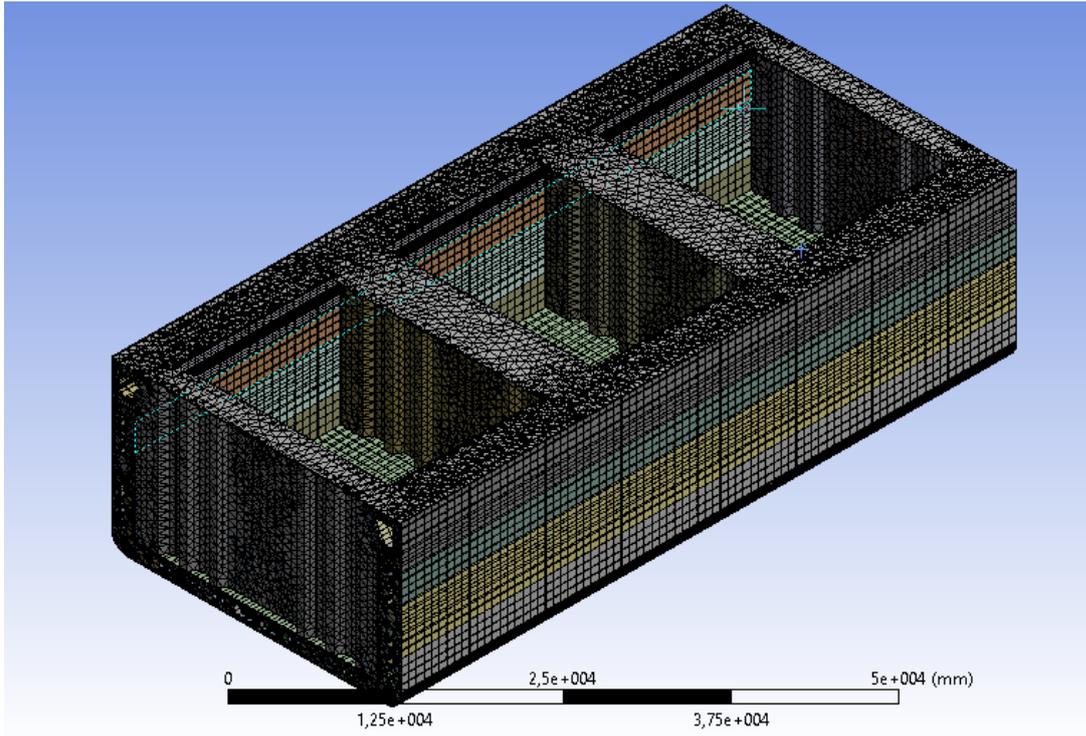


Gambar 3. 11 Pendefinisian *Connection* pada Lembar Kerja Geometri

Pendefinisian *connections* pada model geometri dibagi menjadi 2 penjelasan. Gambar 3.11 penulisan *contact region* yang mendefinisikan pada bagian tersebut *part* telah didefinisikan menyatu secara otomatis oleh *software*. Sedangkan yang didefinisikan secara manual memiliki nama *bonded*.

### 3.8. *Meshing*

Suatu struktur dibagi ke dalam bagian-bagian kecil yang seragam sehingga dapat dihasilkan nilai analisis yang lebih akurat dan semakin detail pada bagian bagian terkecil tersebut. Dalam proses ini sangat perlu diperhatikan, karena apabila *meshing* yang digunakan tidak sesuai maka dapat mengakibatkan model geometri tidak dapat dilakukan *running* serta hasil analisa yang didapat bisa jadi tidak valid.



Gambar 3. 12 Proses *Meshing* pada Salah Satu Model Variasi

Gambar 3.12 menunjukkan jenis elemen yang digunakan dalam proses *meshing* adalah jenis *tetrahedrons* dan *hex dominant*. Untuk bagian sekitar daerah berlubang, *meshing* yang digunakan adalah jenis *tetrahedrons*. Dikarenakan jenis ini dapat lebih teliti pada bagian tepi lubang. Sedangkan untuk bagian *solid* seperti pembujur, pelat sisi, sekat dan lain-lain digunakan jenis elemen *hex dominant*. Pada proses ini pula, ukuran *meshing* tidak boleh lebih besar dari jarak antar *frame* baik secara memanjang maupun melintang. Ukuran rata-rata jarak antar *frame* adalah 800 mm.

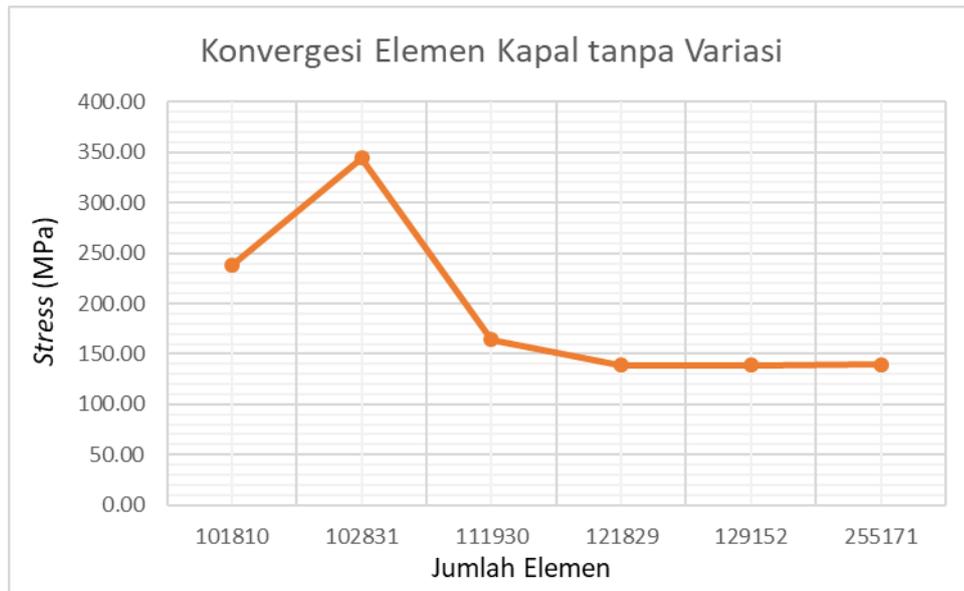
### 3.9. Konvergensi Elemen

Jumlah elemen kemudian dibandingkan dengan tegangan hingga mendapatkan nilai tegangan yang besarnya stabil.

Tabel 3. 3 Tabel Konvergensi

Meshing Size (mm)	Jumlah Element	Stress (Mpa)	Margin Error (%)
800	101810	237.53	
790	102831	344.47	45.02
750	111930	164.48	52.25
700	121829	138.87	15.57
600	129152	139.08	0.15
550	255171	139.67	0.42

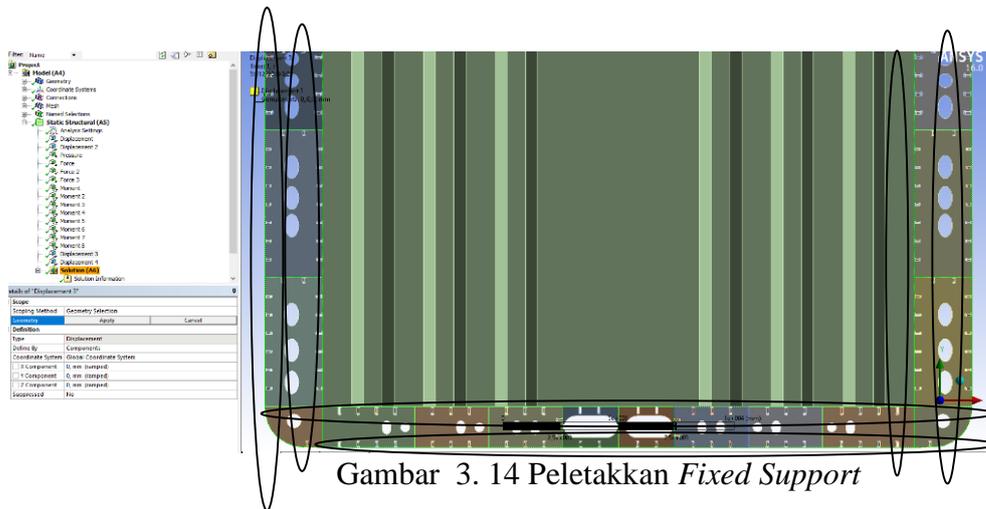
Terlihat pada data Tabel 3.3 tersebut bahwa apabila ukuran *meshing* berubah akan menghasilkan besar tegangan yang berbeda pula. Ukuran *meshing* diubah hingga mendapatkan besar tegangan yang konstan. Semakin banyak jumlah elemen, maka kemungkinan *margin error* akan kecil. Saat *margin error* memiliki nilai nol persen itulah ukuran elemen *meshing* yang digunakan. Gambar 3.13 menggambarkan pengaruh jumlah elemen terhadap besar tegangan yang dihasilkan.



Gambar 3.13 Grafik Konvergensi Tegangan

### 3.10. Kondisi Batas

Pada proses analisis menggunakan metode *finite element* diperlukan untuk memasukkan kondisi batas pada model geometri. Menurut regulasi *Common Structural Rules* (2015) kondisi batas diberikan pada kedua ujung model di bagian *independent point*. *Independent point* merupakan netral axis pada daerah tersebut. Pada model geometri di sekitar *independent point* didefinisikan rigid. Suatu geometri yang dikategorikan *rigid* maka tidak akan mengalami deformasi apabila menerima gaya dari luar atau eksternal. Gambar 3.14 menunjukkan kondisi batas yang diinputkan pada *software* analisis, pada gambar tersebut menunjukkan kondisi batas yang termasuk dalam lingkaran hitam.



Gambar 3. 14 Peletakkan *Fixed Support*

### 3.11. Pembebanan

Proses pembebanan yang dilakukan adalah pemberian beban pada daerah geladak. Besar pembebanan yang dilakukan dalam perhitungan sesuai dengan Regulasi Biro Klasifikasi Indonesia Volume II (2014) dan regulasi *Common Structural Rules* (2015). Beban yang *diinputkan* menggunakan persamaan berikut.

#### 3.11.1. Beban Geladak

Beban yang bekerja di geladak kapal, dimana persamaan yang digunakan tersebut sesuai dengan yang terdapat pada regulasi Biro Klasifikasi Indonesia Volume II *for hull section* 4 (2014). Persamaan 3.9 yang digunakan:

$$P_D = p_0 \frac{20 \cdot T}{(10+z-T)H} C_D \quad (3.9)$$

dimana

$P_D$  : Beban Geladak ( $\text{kN/m}^2$ )

$T$  : Sarat kapal (m)

$z$  : Jarak dari *baseline* hingga geladak (m)

$C_D$  : *Distribution factors*

Kemudian hasil dari persamaan 3.9 dibandingkan dengan hasil dari persamaan 3.10 dan 3.11. Nilai yang dihasilkan dibandingkan manakah hasil perhitungan yang paling besar nilainya. Persamaan 3.10 dan 3.11 merupakan beban geladak minimal.

$$P_{Dmin} = 16 \cdot f \quad (\text{kN/m}^2) \quad (3.10)$$

dimana

$P_{Dmin}$  : Beban geladak minimal  $\text{kN/m}^2$

$f$  : *Probability Factor*

- : 1 for plate panles of the outer hull
- : 0,75 for secondary stiffening members of the outer hull (frames, deck beams)
- : 0,60 for girders and girder systems of the outer hull (web frames, stringers, grillage systems)

$$P_{Dmin} = 0,7 \cdot p_0 \quad (3.11)$$

dimana

$p_0$  : Basic external dynamic load (kN/m<sup>2</sup>)

### 3.11.2. Gaya Akibat Berat Penutup Palkah

Setiap bukaan palkah yang dimodelkan dianggap terdapat tutup bukaan palkah, dengan desain bukaan palkah menggunakan persamaan yang terdapat pada regulasi Biro Klasifikasi Indonesia for hull section 17 (2014).

#### A. Tebal Top Plating Hatch Cover

Persamaan 3.12 digunakan untuk menentukan besar tebal top pelat tutup bukaan palkah.

$$t = c_p \cdot 16,1 \cdot a \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{R_{EH}}} + tk \quad (3.12)$$

dimana

$t$  : Tebal Top Plating Hatch Cover mm

$c_p$  :  $1 + 2,5 \frac{\sigma_x}{R_{EH}} - 0,64$  for p from  $p_D$ , cargo load or liquid pressure

$a$  : Jarak antar stiffeners (m)

$p$  : Beban geladak (kN/m<sup>2</sup>)

$R_{EH}$  : Minimum nominal upper yield point of the steel used (N/mm<sup>2</sup>)

$tk$  : Net thickness (mm)

Nilai tebal hasil persamaan tersebut kemudian dibandingkan, lalu diambil nilai terbesar antara hasil perhitungan persamaan 3.13 dan 3.14.

$$t_{min} = 8 \cdot a \quad (3.13)$$

$$t_{min} = 10 \cdot a \quad (3.14)$$

#### B. Hatch Cover Stiffener

Persamaan 3.10 dan 3.11 digunakan untuk mendapatkan nilai section modulus dan area hatch cover stiffener.

$$W_{net} = a \cdot l^2 \cdot p \frac{10^4}{R_{EH}} \quad (3.15)$$

$$A_{net} = \frac{10 \cdot a \cdot l \cdot p}{R_{EH}} \quad (3.11)$$

dimana

$W_{net}$  : *Section Modulus* (cm<sup>3</sup>)

$A_{net}$  : *Section Area* (cm<sup>2</sup>)

$a$  : Jarak antar *stiffener* (m)

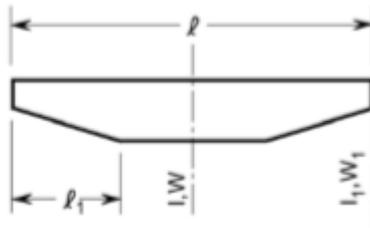
$l$  : *Unsupported span of stiffener* (m)

$p$  : Beban geladak (kN/m<sup>2</sup>)

$R_{EH}$  : *Minimum nominal upper yield point of the steel used* (N/mm<sup>2</sup>)

### C. Web Sectional Area

Pendekatan untuk mengetahui luasan *web* pada tutup bukaan palkah atau penegar melintang dari *hatch cover* dengan menggunakan persamaan 3.12 sebagai berikut sesuai dengan regulasi Biro Klasifikasi Indonesia *section 17* (2014). Gambar 3.15 merupakan bentuk *web section area* dari tutup bukaan palkah.



Gambar 3.15 Bentuk *Sectional Area*

$$A_w = \frac{5 \cdot p \cdot a \cdot l}{\tau} \quad (3.12)$$

dimana

$A_w$  : *Web sectional area* (cm<sup>2</sup>)

$p$  : Beban geladak (kN/m<sup>2</sup>)

$a$  : Jarak antar *stiffener* (m)

$l$  : *Unsupported span of stiffener* (m)

$\tau$  : *Shear stress* (N/mm<sup>2</sup>)

Kemudian dengan persamaan tersebut dilakukan perhitungan tebal pelat untuk sisi pada *hatch cover* tersebut menggunakan persamaan 3.13.

$$t = 6 + \frac{l}{2} \quad (3.13)$$

### 3.11.3. Momen Bending Akibat Pengaruh *Sagging* dan *Hogging*

Persamaan 3.14, 3.15, 3.16 dan 3.17 digunakan untuk mendapatkan nilai momen bending gelombang *sagging* dan *hogging* pada kondisi *stil water*.

- Kondisi *sagging*

$$M_{sw-s-min} = -0,85 f_{sw} (171 C_w L^2 B (C_B + 0,7) 10^{-3} + M_{wv-s-mid}) \quad (3.14)$$

- Kondisi *hogging*

$$M_{sw-h-min} = f_{sw} (171 C_w L^2 B (C_B + 0,7) 10^{-3} + M_{wv-h-mid}) \quad (3.15)$$

dimana

$M_{sw-s-min}$  : Momen *sagging* pada *still water* (kNm)

$M_{sw-h-min}$  : Momen *hogging* pada *still water* (kNm)

$f_{sw}$  : Faktor distribusi pada sepanjang kapal

$C_w$  : Koefisien gelombang

$L$  : Panjang kapal (m)

$B$  : Lebar kapal (m)

$C_B$  : Koefisien blok

$M_{wv-s-mid}$  : *Vertical wave bending moment for strength assessment in sagging condition* (kNm)

$M_{wv-h-mid}$  : *Vertical wave bending moment for strength assessment in hogging condition* (kNm)

Kemudian untuk mendekati dengan kondisi gelombang sesungguhnya, momen bending pada kondisi air tenang tersebut perlu ditambahkan dengan nilai *vertical wave bending moment* dengan menggunakan persamaan 3.16 dan 3.17.

- Kondisi *sagging*

$$M_{wv-s} = -0,19 f_{nl-vh} f_m f_p C_w L^2 B C_B \quad (3.16)$$

- Kondisi *hogging*

$$M_{wv-h} = 0,19 f_{nl-vs} f_m f_p C_w L^2 B C_B \quad (3.17)$$

dimana

$M_{wv-s}$  : *Vertical wave bending moment* pada kondisi *sagging* (kNm)

$M_{wv-h}$  : *Vertical wave bending moment* pada kondisi *hogging* (kNm)

$f_{nl-vh}$  : *Coefficient considering nonlinear effects applied to hogging*, dimana nilai untuk  $f_{nl-vh}$  senilai 1 untuk *strength assessment*

$f_{nl-vs}$  : *Coefficient considering nonlinear effects applied to sagging*, dimana nilai untuk  $f_{nl-vs}$  senilai 1 untuk *strength assessment*

- $f_p$  :  $f_{ps}$  untuk *strength assessment*,  $f_{ps}$  bernilai 1 untuk kondisi desain gelombang ekstrim
- $f_m$  : Faktor distribusi untuk gelombang vertikal momen bending sepanjang kapal

### 3.12. Analisis Tegangan pada Ansys

Setelah menginputkan kondisi batas serta beban tekan yang sesuai dengan perhitungan selanjutnya model dapat dianalisis menggunakan *software* analisis. Hasil tegangan maksimum yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan tegangan yang diizinkan oleh regulasi *Common Structural Rules* (2015), dimana tegangan yang didapatkan tidak melebihi  $280/k$  ( $N/mm^2$ ) yaitu sebesar 358,974 MPa.

### 3.13. Perbandingan Berat Geladak

Perbandingan berat geladak antara geladak pada kapal asli dan geladak dengan variasi penambahan geladak pada kapal dibandingkan. Berat geladak yang dibandingkan adalah pembujur geladak, pelat geladak yang telah dikurangkan dengan lubang bukaan palkah, penegar dari *hatch cover*. Pemodelan variasi 1 dan 2 juga disertakan penambahan berat dari penyangga pembujur tambahan. Kemudian dapat diketahui berat optimal pada ketiga kapal tersebut.

## BAB 4 ANALISIS DATA

### 4.1. Pembebanan Sesuai *Common Structural Rules* dan Biro Klasifikasi Indonesia

Pembebanan dilakukan dengan menggunakan regulasi *Common Structural Rules* dan BKI. Berikut proses perhitungan menggunakan regulasi *Common Structural Rules*:

#### 4.1.1. Perhitungan Faktor Korosi

Menurut regulasi *Common Structural Rules for Bulk Carrier, Chapter 3* (2015), bahwa semua ketebalan pada seluruh bagian konstruksi kapal harus dikurangi dengan korosi faktor. Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengurangan seluruh tebal pelat dan penegar pada konstruksi kapal akibat faktor korosi.

Tabel 4. 1 Rekapitulasi Pengaruh Faktor Korosi

Pengukuran Tebal Akibat Faktor Korosi							
NO	Posisi	Dimensi Pelat dan Profil (mm)	Tebal Pelat dan Profil (mm)	Corrosion Addition		Tebal net fatigue (mm)	Dimensi net profile (mm)
				tc	0.5tc fatigue		
1	Bottom Longitudinal	HP 260 X 11	11	2	1	10	HP 260 X 10
2	Bilge Keel	HP 400 X14	14	2	1	13	HP 400 X13
3	Side Longitudinal 1 - 4		25	2	1	24	
4	Side Longitudinal 6 - 9	HP 220 X 10	10	2	1	9	HP 220 X 9
5	Side Longitudinal 10 - 12	HP 240 X 10	10	2	1	9	HP 240 X 9
6	Side Longitudinal 14 - 19	HP 260 X 11	11	2	1	10	HP 260 X 10
7	Inner Bottom Longitudinal	HP 320 X 12	12	2	1	11	HP 320 X 11
8	Wing Tank Longitudinal 1 - 4		25	2	1	24	
9	Wing Tank Longitudinal 6 - 9	HP 220 X 10	10	3	1,5	8,5	HP 220 X 8.5
10	Wing Tank Longitudinal 10 - 12	HP 240 X 10	10	3	1,5	8,5	HP 240 X 8.5
11	Wing Tank Longitudinal 14	HP 260 X 11	11	3	1,5	9,5	HP 260 X 9.5
12	Wing Tank Longitudinal 15 - 19	HP 280 X 11	11	3	1,5	9,5	HP 280 X 9.5
13	Horizontal Girder Longitudinal	HP 260 X 11	11	2	1	10	HP 260 X 10
14	Deck Longitudinal	300 X 25 FB	25	2	1	24	300 X 24 FB
15	Hatch Coaming Stiffener	HP 220 X 11	11	2	1	10	HP 220 X 10
16	Bilge Plate		13,5	2	1	12,5	
17	Side Plate luar 1		30	2	1	29	
18	Side Plate luar 2		16,5	2	1	15,5	
19	Side Plate luar 3		15	2	1	14	
20	Wing Tank Plate 1		30	2,4	1,2	28,8	
21	Wing Tank Plate 2		26	2,4	1,2	24,8	
22	Wing Tank Plate 3		11	2,4	1,2	9,8	
23	Wing Tank Plate 4		11,5	2,4	1,2	10,3	
24	Wing Tank Plate 5		12,5	2,4	1,2	11,3	
25	Wing Tank Plate 6		13,5	2,4	1,2	12,3	
26	Wing Tank Plate 7		14	2,4	1,2	12,8	
27	Wing Tank Plate 8		18	2,4	1,2	16,8	
28	Keel Plate		15	2	1	14	

Pengukuran Tebal Akibat Faktor Korosi							
NO	Posisi	Dimensi Pelat dan Profil (mm)	Tebal Pelat dan Profil (mm)	Corrosion Addition		Tebal net fatigue (mm)	Dimensi net profile (mm)
				tc	0.5tc fatigue		
29	Bottom Plate		14	2	1	13	
30	Inner Bottom Plate 1		22	3,7	1,85	20,15	
31	Inner Bottom Plate 2		15	3,7	1,85	13,15	
32	Solid Floor		13,5	2	1	12,5	
33	Side Transvere		11	2	1	10	
34	Bilge Transverse		13,5	2	1	12,5	
35	Side Girder Plate 1		14,5	2	1	13,5	
36	Side Girder Plate 2		12,5	2	1	11,5	
37	Center Girder Plate		16,5	2	1	15,5	
38	skelop inner 800 off CL		1,5	2	1	0,5	
39	penegar dekat lubang manhole		10	2	1	9	

#### 4.1.2. Perhitungan Konversi *Profile* pada Kapal

Data konstruksi yang digunakan menggunakan *bulb profile*, sehingga perlu dilakukan perhitungan konversi menjadi *L profile* dengan menggunakan persamaan yang terdapat pada regulasi *Common Structural Rules* (2015). Salah satu perhitungan *bulb profile* pada bagian *bottom* kapal dengan ukuran *profile* HP 260 X 10 dikonversikan menjadi *L profile*.

$$h'_w = 260 \text{ mm}$$

$$t'_w = 10 \text{ mm}$$

dimana

$$h'_w = \text{lebar } \textit{bulb profile} \text{ (mm)}$$

$$t'_w = \text{tebal } \textit{bulb profile} \text{ (mm)}$$

Selanjutnya melakukan *input* nilai lebar *bulb profile* ( $h'_w$ ) sesuai dengan persamaan 3.1 sebesar 260 mm sehingga didapatkan nilai  $h_w$  (tinggi *web* pada *L profile*) yaitu sebesar 233,7391304 mm, tinggi *web* yang diambil adalah 234 mm. Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan  $b_f$ .

Kemudian memasukkan data tebal *bulb profile* dan lebar *bulb profile* sehingga didapatkan nilai  $b_f$  (tinggi *face* pada *L profile*) sebesar 46,80597015 mm, berdasarkan hasil tersebut dapat diambil tinggi *face* sebesar 47 mm. Tahap akhir dari pengerjaan konversi menjadi *L profile* adalah menghitung tebal *L profile* menggunakan persamaan 3.3 yang terdapat pada subbab sebelumnya.

Sehingga dapat diketahui tebal *L profile* pada bagian *bottom* kapal adalah sebesar 26,26086957 mm, tebal kapal yang diambil adalah sebesar 27 mm. Begitu

pula dengan semua *bulb profile* yang terpasang pada seluruh bagian kapal untuk dikonveriskan menjadi *L profile* seperti pada cara di atas. Tabel 4.2 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan konversi *bulb profile* menjadi *L profile* pada seluruh bagian kapal dengan menggunakan cara perhitungan seperti yang telah ditunjukkan sebelumnya.

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Konversi *Bulb Profile*

Pengukuran Bulb Profile menjadi L profile					
	Ukuran Bulb Profile (mm)			Ukuran L Profile (mm)	
	Bottom Longitudinal	HP 260 X 10	h'w =	260	hw =
				$\alpha =$	1
t'w =			10	bf =	46,80597015
				tf =	26,26086957
Bilge Keel	HP 400 X13	h'w =	400	hw =	358,5217391
				$\alpha =$	1
		t'w =	13	bf =	70,70149254
				tf =	41,47826087
Side Longitudinal 1 - 4	300 X 24 FB	h'w =	300	hw =	269,3913043
				$\alpha =$	1
		t'w =	24	bf =	66,7761194
				tf =	30,60869565
Side Longitudinal 6 - 9	HP 220 X 9	h'w =	220	hw =	198,0869565
				$\alpha =$	1
		t'w =	9	bf =	39,8358209
				tf =	21,91304348
Side Longitudinal 10 - 12	HP 240 X 9	h'w =	240	hw =	215,9130435
				$\alpha =$	1
		t'w =	9	bf =	42,82089552
				tf =	24,08695652
Side Longitudinal 14 - 19	HP 260 X 10	h'w =	260	hw =	233,7391304
				$\alpha =$	1
		t'w =	10	bf =	46,80597015
				tf =	26,26086957
Inner Bottom Longitudinal	HP 320 X 11	h'w =	320	hw =	287,2173913
				$\alpha =$	1
		t'w =	11	bf =	56,76119403
				tf =	32,7826087

Pengukuran Bulb Profile menjadi L profile					
	Ukuran Bulb Profile (mm)			Ukuran L Profile (mm)	
Wing Tank Longitudinal 1 - 4	300 x 23.5 FB	h'w =	300	hw =	269,3913043
				$\alpha =$	1
		t'w =	23,5	bf =	66,2761194
				tf =	30,60869565
Wing Tank Longitudinal 6 - 9	HP 220 X 8.5	h'w =	220	hw =	198,0869565
				$\alpha =$	1
		t'w =	8,5	bf =	39,3358209
				tf =	21,91304348
Wing Tank Longitudinal 10 - 12	HP 240 X 8.5	h'w =	240	hw =	215,9130435
				$\alpha =$	1
		t'w =	8,5	bf =	42,32089552
				tf =	24,08695652
Wing Tank Longitudinal 14	HP 260 X 9.5	h'w =	260	hw =	233,7391304
				$\alpha =$	1
		t'w =	9,5	bf =	46,30597015
				tf =	26,26086957
Wing Tank Longitudinal 15 - 19	HP 280 X 9.5	h'w =	280	hw =	251,5652174
				$\alpha =$	1
		t'w =	9,5	bf =	49,29104478
				tf =	28,43478261
Horizontal Girder Longitudinal	HP 260 X 10	h'w =	260	hw =	233,7391304
				$\alpha =$	1
		t'w =	10	bf =	46,80597015
				tf =	26,26086957
Deck Longitudinal	300 X 24 FB	h'w =	300	hw =	269,3913043
				$\alpha =$	1
		t'w =	24	bf =	66,7761194
				tf =	30,60869565
Hatch Coaming Stiffener	HP 220 X 10	h'w =	220	hw =	198,0869565
				$\alpha =$	1
		t'w =	10	bf =	40,8358209
				tf =	21,91304348

#### 4.1.3. Perhitungan Momen Bending

Perhitungan momen bending *sagging* dan *hogging* pada saat kondisi *still water* sesuai dengan regulasi *Common Structural Rules for Bulk Carrier* (2015).

- Kondisi Kapal *Hogging*

Data berikut untuk mendapatkan hasil perhitungan persamaan 3.15.

$$\begin{aligned}
 f_{sw} &= 0,575 \\
 C_w &= 9,466 \\
 L_{pp} &= 181,847 \quad \text{m} \\
 B &= 30,500 \quad \text{m} \\
 C_B &= 0,820 \\
 M_{wv-h-mid} &= 1486676,58 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Hasil dari melakukan input data tersebut kedalam persamaan yang terdapat pada regulasi CSR, didapatkan nilai *still water* momen bending pada kondisi *hogging* sebesar 571608,981 kNm. Hasil dari perhitungan berikut kemudian ditambahkan dengan perhitungan dari persamaan *vertical wave bending moment* seperti yang ditunjukkan pada persamaan 3.17. Data yang perlu dimasukkan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 f_{nl-vh} &= 1 \\
 f_m &= 0,596 \\
 f_p &= 1
 \end{aligned}$$

Setelah memasukan data tersebut dan beberapa data lain yang dibutuhkan pada persamaan, sehingga didapatkan total momen pada saat kondisi kapal *hogging* adalah sebesar 8396222,580 kNm pada posisi 87,7 m dari AP (0,4L). Dan dengan cara yang sama didapatkan pula besar momen total pada posisi 145,2 m dari AP (0,7L) senilai 1458094,356 kNm. Berikut Tabel 4.3 menunjukkan hasil rekapan dari perhitungan sebelumnya.

Tabel 4. 3 Hasil Hitung Momen saat *Hogging*

<i>Momen Bending</i> posisi 87,2 dari AP (0,4L)				
	$M_{sw-h-min}$	= 571608,981	kNm	
	$M_{wv-h}$	= $0,19 f_{nl-vh} f_m f_p C_w L^2 B C_B$		
		= 7824613,599	kNm	
	$M_{total}$	= 8396222,580	kNm	
<i>Momen Bending</i> posisi 145,2 dari AP (0,7L)				
	$M_{wv-h}$	= $0,19 f_{nl-vh} f_m f_p C_w L^2 B C_B$		
		= 886485,375	kNm	
	$M_{total}$	= 1458094,356	kNm	

- Kondisi Kapal *Sagging*

Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan 3.14 untuk mendapatkan nilai *still water* momen bending dengan memasukkan nilai-nilai berikut.

$$\begin{aligned}
 f_{sw} &= 0,575 \\
 C_w &= 9,466 \\
 L_{PP} &= 181,847 \quad \text{m} \\
 B &= 30,500 \quad \text{m} \\
 C_B &= 0,820 \\
 M_{wv-s-mid} &= -1598724,3 \quad \text{kNm}
 \end{aligned}$$

Kemudian dengan memasukkan data tersebut ke dalam persamaan yang telah diketahui, didapatkan nilai momen bending pada kondisi *sagging* sebesar -1993857,338 kNm. Selanjutnya dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan 3.14 untuk mendapatkan nilai *vertical wave* momen bending dan didapatkan nilai sebesar -7824613,599 kNm. Sehingga didapatkan besar nilai momen bending total pada posisi 87,2 m dari AP (0,4L) sebesar -9818470,938 kNm, dan untuk pada posisi 145,2 dari AP (0,7L) nilai momen total sebesar -2880342,714 kNm. Tabel 4.4 menunjukkan rekapan hasil perhitungan momen pada ruang muat 2 dan ruang muat 4 seperti perhitungan yang telah dijelaskan sebelumnya.

Tabel 4. 4 Hasil Hitung Momen saat *Sagging*

<i>Momen Bending</i> posisi 87,2 dari AP (0,4L)				
	$M_{sw-s-min}$	=	-1993857,338	kNm
	$M_{wv-s}$	=	$-0,19 f_{nl-vh} f_m f_p C_w L^2 B C_B$	
		=	-7824613,599	kNm
	$M_{total}$	=	-9818470,938	kNm
<i>Momen Bending</i> posisi 145,2 dari AP (0,7L)				
	$M_{wv-s}$	=	$-0,19 f_{nl-vh} f_m f_p C_w L^2 B C_B$	
		=	-886485,375	kNm
	$M_{total}$	=	-2880342,714	kNm

#### 4.1.4. Perhitungan Beban Geladak

Persamaan yang digunakan untuk menentukan besar beban pada geladak diambil dari regulasi Badan Klasifikasi Indonesia (2014). Perhitungan yang dilakukan sesuai dengan persamaan 3.4, yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya.

Sesuai dengan persamaan pada regulasi BKI *section* 4 tersebut, didapatkan nilai *basic external dynamic* ( $p_0$ ) sebesar 285,924794 kN/m<sup>2</sup>. Kemudian besar nilai tersebut dibandingkan dengan nilai  $p_{01}$ . Didapatkan nilai  $p_{01}$  senilai 354,002126

kN/m<sup>2</sup>. Dipilih nilai terbesar antara p<sub>0</sub> dan p<sub>01</sub> yang kemudian nilai terbesar dari keduanya tersebut dimasukkan pada persamaan p<sub>D</sub>, sehingga mendapatkan nilai p<sub>D</sub> sebesar 354,002126 kN/m<sup>2</sup>.

Selanjutnya dilakukan perhitungan beban geladak minimal, yang mana nantinya dibandingkan dengan besar nilai p<sub>D</sub> dan dipilih nilai paling besar.

Berdasarkan hasil perbandingan seluruh perhitungan nilai *load* geladak yang didapat tersebut, dapat disimpulkan bahwa besar beban geladak adalah 354,002126 kN/m<sup>2</sup>. Nilai tersebut yang kemudian digunakan sebagai beban *pressure* untuk diinputkan pada *software* analisis. Tabel 4.5 menunjukkan rekapan perhitungan beban geladak.

Tabel 4. 5 Perhitungan Beban Geladak

BKI Vol. II Rules for Hull Section 4			
$P_D = p_0$	$\frac{20 \cdot T}{(10+z-T)H}$	$C_D$	
$z =$	17,505	m	for plate
$T =$	12,8	m	
$C_D =$	1		
$C_B =$	0,82		
$C_0 =$	89,60		for $90 \leq L \leq 300$
$C_L =$	1,00		for $L \geq 90$ m
$C_{RW} =$	1,00		for unlimited service range
$f =$	1,00		for <i>weather deck</i>
$p_0 =$	285,92479	kN/m <sup>2</sup>	
$p_{01} =$	354,00213	kN/m <sup>2</sup>	
$p_D =$	352,06163	kN/m <sup>2</sup>	
$p_{Dmin} =$	16	kN/m <sup>2</sup>	
$p_{Dmin} =$	247,80149	kN/m <sup>2</sup>	

#### 4.1.5. Perhitungan Tutup Bukaank Palkah

Dalam pemodelan *hatch cover* untuk setiap *hatch coaming* dilakukan perhitungan sesuai pada regulasi yang mengatur. Berikut tahapan yang dilakukan dalam membuat pemodelan tutup bukaan palkah.

- Tebal Pelat pada Bagian *Top Plating of Hatch Cover*

Berdasarkan regulasi Biro Klasifikasi Indonesia pada *section 17* diketahui persamaan untuk mengetahui berapa tebal pelat yang digunakan untuk memodelkan bagian atas dari *hatch cover*. Persamaan 3.7 digunakan dalam

mencari besar nilai tersebut dengan memasukkan nilai koefisien dan beban tekan berikut.

$$c_p = 1$$

$$a = 0,8 \text{ m}$$

$$R_{EH} = 315 \text{ N/mm}^2$$

$$p = 352,061627 \text{ kN/m}^2$$

$$t_k = 1,5 \text{ mm}$$

Sesuai data tersebut didapatkan besar tebal  $t$  untuk persamaan tersebut adalah sebesar 15 mm. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan persamaan ketebalan minimal pada persamaan 3.8, dari tebal yang telah dihitung tersebut, kemudian diambil nilai yang paling besar.

Hasil tebal minimum dari persamaan 3.8 adalah sebesar 6,4 mm. kemudian selanjutnya tebal minimum dengan persamaan berbeda sebagai pembanding. Dihitung menggunakan persamaan 3.9, hasil perhitungan dari persamaan 3.9 adalah sebesar 10 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tebal pelat yang digunakan adalah 15 mm diambil nilai terbesar dari hasil perhitungan persamaan 3.7, 3.8 dan 3.9. Berikut Tabel 4.6 merupakan hasil perhitungan dari penjelasan sebelumnya.

Tabel 4. 6 Perhitungan Tebal *Top* Pelat Tutup Bukaank Palkah

Top Plating Hatch Cover		
$t = c_p \cdot 16,1 \cdot a \cdot$	$\frac{\sqrt{p}}{\sqrt{R_{EH}}} + t_k$	
$c_p = 1 + 2,5 \frac{\sigma_x}{R_{EH}} - 0,64$		
$\sigma_x = 0,6 \cdot \sigma_y$		
= 189	N/mm <sup>2</sup>	
$c_p = 1$		
$t = 15$	mm	
$t = 10 \cdot a$		
= 8	mm	
$t_{\min} = 6$	mm	
$t = 8 \cdot a$		
= 6,4	mm	

- Tebal Penegar *Hatch Cover*

Persamaan 3.8 digunakan untuk mendapatkan tebal minimal penegar yang terpasang pada *hatch cover*. Hasil yang didapat dari perhitungan persamaan

tebal tersebut adalah sebesar 6 mm. Persamaan tersebut bersumber pada regulasi Biro Klasifikasi Indonesia Volume II (2014).

- Perhitungan *Hatch Cover Stiffener*

Persamaan 3.10 digunakan untuk mengitung modulus dari *hatch cover stiffener* sesuai pada regulasi Biro Klasifikasi Indonesia (2014), sedangkan untuk persamaan 3.11 adalah untuk mengetahui besar luasan minimal dari penegar tutup bukaan palkah.

Data yang dimasukkan kedalam persamaan tersebut adalah sebagai berikut.

$$a = 0,8 \text{ m}$$

$$l = 0,65 \text{ m}$$

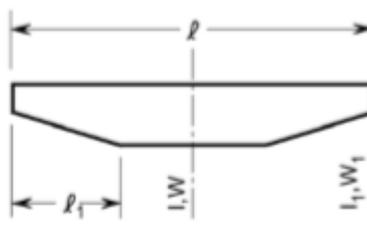
$$p = 354,002126 \text{ kN/m}^2$$

$$R_{EH} = 315 \text{ N/mm}^2$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, didapatkan nilai  $W_{net}$  atau modulus penampang penegar tutup bukaan palkah sebesar  $807,853 \text{ cm}^3$  dan  $A_{net}$  atau luas penampang penegar adalah sebesar  $21,5772724 \text{ cm}^2$ . Selanjutnya dilakukan perhitungan interpolasi hingga mendapatkan ukuran penegar pada *hatch cover*. Interpolasi berakhir hingga mendapatkan besar ukuran profil yang memenuhi nilai  $W_{net}$  dan  $A_{net}$ . Ukuran penegar yang didapat memiliki ukuran web 350 mm dengan tebal web 28 mm dan ukuran face 150 mm dengan tebal 20 mm.

- Luasan *Hatch Cover* pada Bagian Depan dan Belakang

Gambar 4.1 menunjukkan bentuk pemodelan luasan *web* dari *hatch cover*. *Web* atau penegar tersebut dipasang setiap 3 jarak gading pada tutup bukaan palkah. Jarak antar gading adalah sebesar 800 mm.



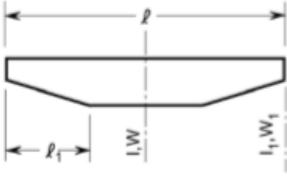
Gambar 4. 1 Bentuk Luasan

Persamaan 3.12 merupakan pendekatan yang digunakan untuk menghitung luasan pada *web section* tersebut. Data yang diperlukan untuk mendapatkan besar luasan sesuai persamaan tersebut adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 p &= 352,061627 \text{ kN/m}^2 \\
 a &= 0,8 \text{ m} \\
 l &= 26,833 \text{ m} \\
 \tau &= 125 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

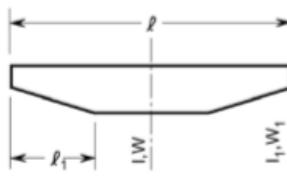
Berdasarkan *input*-an tersebut dihasilkan nilai luasan sebesar 844,93227 cm<sup>2</sup>. Selanjutnya dilakukan perhitungan tebal untuk luasan pada daerah tersebut menggunakan persamaan 3.13. Berdasarkan persamaan 3.13 tersebut, dihasilkan tebal pada *section* tersebut sebesar 18,75 mm. Namun besar tebal yang diambil adalah 19 mm. Tabel 4.7 merupakan rekapan perhitungan *web section* dan tebal pada tutup bukaan palkah untuk kapal tanpa variasi.

Tabel 4. 7 Perhitungan *Web Section* dan Tebal *Hatch Cover* Kapal Asli

Ukuran Asli	
	
$A_w =$	$\frac{5 \cdot p \cdot a \cdot l}{\tau}$
	$= 844,93227 \text{ cm}^2$
$t =$	$6 + \frac{l}{2}$
	$= 18,75 \text{ mm}$
	$= 19 \text{ mm}$

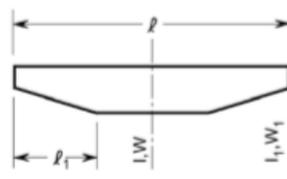
Tabel 4.8 menunjukkan luas dari *web* tutup bukaan palkah pada kapal dengan variasi 1 yaitu sebesar 738,90156 cm<sup>2</sup> dan tebal yang diambil senilai 17 mm.

Tabel 4. 8 Perhitungan *Web Section* dan Tebal *Hatch Cover* Kapal Variasi 1

Variasi 1

$A_w = \frac{5 \cdot p \cdot a \cdot l}{\tau}$
$= 738,90156 \text{ cm}^2$
$t = 6 + \frac{l}{2}$
$= 17,15 \text{ mm}$
$= 17 \text{ mm}$

Sedangkan untuk Tabel 4.9 menunjukkan luas dari *web* tutup bukaan palkah pada kapal dengan variasi 1 yaitu sebesar 636,1843 cm<sup>2</sup> dan tebal senilai 16 mm.

Tabel 4. 9 Perhitungan *Web Section* dan Tebal *Hatch Cover* Kapal Variasi 2

Variasi 2

$A_w = \frac{5 \cdot p \cdot a \cdot l}{\tau}$
$= 636,1843 \text{ cm}^2$
$t = 6 + \frac{l}{2}$
$= 15,6 \text{ mm}$
$= 16 \text{ mm}$

- Perhitungan Gaya *Hatch Cover*

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, kemudian dilanjutkan dengan mencari nilai berat. Hal yang perlu dilakukan terlebih dahulu adalah mengalikan luasan dan tebal pelat *hatch cover* pada tiap bagian, lalu hasil dari perkalian tersebut dikali dengan massa jenis baja sebesar 7850

kg/m<sup>3</sup>. Maka didapatkan nilai berat pelat *hatch cover*. Tabel 4.10 menunjukkan rekapitulasi berat pada setiap bagian *hatch cover*.

Tabel 4. 10 Rekapitulasi Gaya *Hatch Cover* Kapal Asli

Berat Hatch Cover Ukuran Asli						
	Jumlah	Panjang	Profil	Luas	Volume	Berat (kg)
Pelat Top	1			408	6,182878	48535,59597
Web	7			0,591453	0,011238	88,21515401
Penegar	24	16	350 x 150 + 28 x 20	0,0818	1,3088	10274,08
Pelat Tepi Kanan Kiri	2			20,8	0,3952	3102,32
BeratTotal						62000,21112
Gaya						608014 N

Dari hasil berat yang didapatkan, kemudian dilakukan pengalihan dengan percepatan gravitasi sebesar 9,80665 m/s<sup>2</sup> hingga menghasilkan nilai gaya senilai 608014 N. Tabel 4.11 menunjukkan hasil gaya pada kapal variasi 1. Gaya yang dihasilkan dari perhitungan tersebut sebesar 512808 N.

Tabel 4. 11 Rekapitulasi Gaya *Hatch Cover* Kapal Variasi 1

Berat Hatch Cover Variasi 1						
	Jumlah	Panjang	Profil	Luas	Volume	Berat (kg)
Pelat Top	1			356,8	5,406988	42444,85451
Web	7			0,517231	0,008793	69,02448893
Penegar	20	16	350 x 150 + 28 x 20	0,0668	1,0688	8390,08
Pelat Tepi Kanan Kiri	2			20,8	0,1768	1387,88
BeratTotal						52291,839
Gaya						512808 N

Tabel 4.12 menunjukkan hasil gaya pada kapal variasi 2. Sehingga didapatkan gaya sebesar 459435 N.

Tabel 4. 12 Rekapitulasi Gaya *Hatch Cover* Kapal Variasi 2

Berat Hatch Cover Variasi 2						
	Jumlah	Panjang	Profil	Luas	Volume	Berat (kg)
Pelat Top	1			307,2	4,655344	36544,44873
Web	7			0,445329	0,007125	55,93332366
Penegar	17	16	350 x 150 + 28 x 20	0,0608	0,9728	7636,48
Pelat Tepi Kanan Kiri	2			20,8	0,3328	2612,48
BeratTotal						46849,34205
Gaya						459435 N

#### 4.2. Perhitungan Berat Bagian Geladak

Berat yang dilakukan dalam perhitungan hanya pada bagian geladak. Bagian tersebut diantaranya adalah berat pembujur geladak, berat pelat geladak yang telah dikurangkan dengan lubang bukaan palkah, berat tutup bukaan palkah beserta penegarinya, serta tambahan penyangga pada kapal variasi 1 dan 2. Tabel 4.13 berikut menunjukkan hasil rekapan perhitungan berat pada bagian geladak kapal.

Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan Berat pada Kapal Asli

Berat Kapal Asli								
ITEM	Jumlah	DIMENSI (mm)					Volume (m3)	Berat (Ton)
		Panjang	Luas	Profil	Web	Tebal		
<b>Geladak</b>								
Pembujur Geladak	4	64,8		300 x 24 FB	0,300	0,024	1,944	15,260
Pelat Geladak	1	64,8					149,739	1175,449
Berat Hatch Cover beserta Penegar	3							186,001
							Total Berat Geladak	1376,710

Tabel 4.13 menunjukkan berat kapal tanpa variasi dengan jumlah pembujur geladak sebanyak 4 buah pada bagian *port side* dan *starboard side* dan dimensi pembujur sebesar 300 x 24 FB. Menghasilkan berat bagian geladak sebesar 1376,710 Ton.

Tabel 4. 14 Hasil Perhitungan Berat pada Kapal Variasi 1

Berat Kapal VARIASI 1								
ITEM	Jumlah	DIMENSI (mm)					Volume (m3)	Berat (Ton)
		Panjang	Luas	Profil	Web	Tebal		
<b>Geladak</b>								
Pembujur Geladak 1	8	64,8		215 x 24 FB	0,215	0,024	2,675	20,998
Pelat Geladak	1	64,8					150,459	1181,101
Berat Hatch Cover beserta Penegar	3							146,417
Bracket Penyangga	54		3,000			0,0125	2,025	15,896
							Total Berat Geladak	1364,413

Tabel 4.14 menunjukkan berat bagian geladak kapal dengan jumlah pembujur geladak sebanyak 8 buah pada bagian *port side* dan *starboard side* dan dimensi pembujur sebesar 215 x 24 FB. Menghasilkan berat bagian geladak sebesar 1364,413 Ton. Berikut pada Tabel 4.15 berikut menunjukkan berat bagian geladak untuk kapal variasi 2.

Tabel 4. 15 Hasil Perhitungan Berat pada Kapal Variasi 2

Berat Kapal VARIASI 2								
ITEM	Jumlah	DIMENSI (mm)					Volume (m3)	Berat (Ton)
		Panjang	Luas	Profil	Web	Tebal		
<b>Geladak</b>								
Pembujur Geladak 1	12	64,8		215 x 24 FB	0,215	0,024	4,012	31,497
Pelat Geladak	1	64,8					185,019	1452,397
Berat Hatch Cover beserta Penegar	3							131,178
Bracket Penyangga	54		6,000			0,0125	4,050	31,793
							Total Berat Geladak	1646,865

Tabel 4.15 menunjukkan berat bagian geladak kapal dengan jumlah pembujur geladak sebanyak 12 buah pada bagian *port side* dan *starboard side* dan dimensi pembujur sebesar 215 x 24 FB. Menghasilkan berat bagian geladak sebesar 1932,936 Ton.

### 4.3. Hasil Rekap Perhitungan

Setelah melakukan seluruh perhitungan pembebanan, selanjutnya seluruh hasil perhitungan tersebut *diset-up* pada *software* analisis. Kemudian model geometri *disolve*. Tabel 4.16 menunjukkan hasil perhitungan berat serta nilai tegangan hasil analisis suatu *software* dengan metode elemen hingga.

Tabel 4. 16 Hasil Rekap Keseluruhan

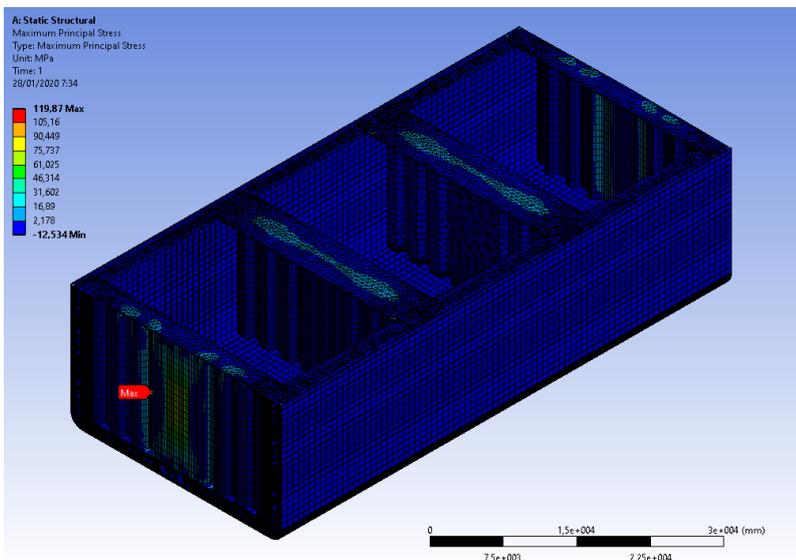
	Existing			Variasi 1			Variasi 2		
	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	Berat Total	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	Berat Total	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	Berat Total
	(MPa)		(Ton)	(MPa)		(Ton)	(MPa)		(Ton)
<i>Sagging</i>	139.24	8.77	1376.71	378,37	12,93	1364.41	376,8	12,81	1646.87
<i>Hogging</i>	119.87	2.18		320,52	10,18		319,42	10,48	

Berikut rincian hasil *solve* model geometri yang telah diberi pengaruh beban hasil perhitungan sebelumnya, berdasarkan pada regulasi.

#### 4.3.1. Hasil Analisis pada Kapal tanpa Variasi

Berikut merupakan hasil *running* pada kapal *bulk carrier*, pemodelan dilakukan sesuai dengan data yang didapat, yaitu kapal dengan *deck longitudinal* sebanyak 2 buah pada bagian *port side* dan *starboard side*.

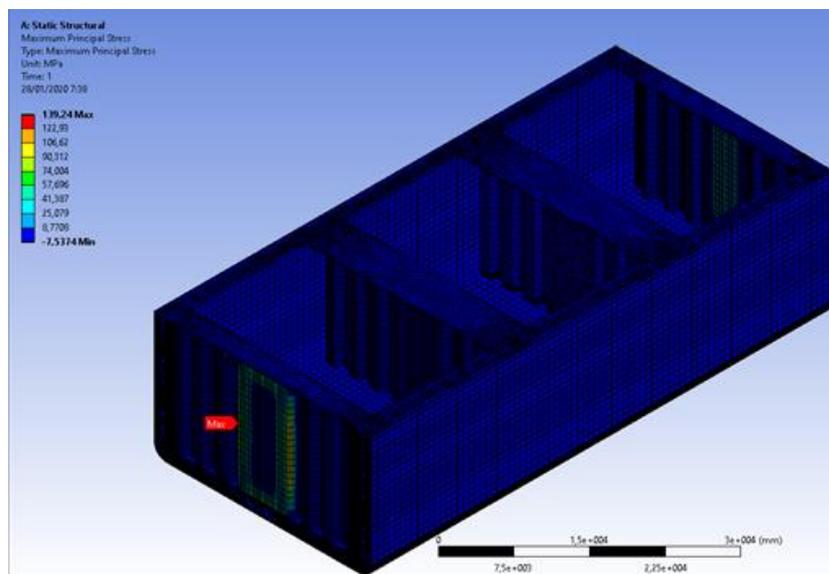
- Gambar 4.2 menunjukkan besar tegangan maksimal yang dihasilkan akibat beban yang mempengaruhi pada kapal saat kondisi *hogging*.



Gambar 4. 2 Hasil Tegangan Maksimal pada Kapal Ukuran Asli Kondisi *Hogging*

Berdasarkan hasil *running* yang ditunjukkan pada Gambar 4.2, bahwa tegangan maksimal terjadi pada daerah sekat saat kondisi kapal *hogging*. Besar tegangan maksimal tersebut adalah senilai 119,87 MPa. Tegangan maksimal ini memenuhi besar tegangan yang diizinkan yaitu sebesar 280/k. Tegangan terkecil yang terjadi pada kondisi ini adalah sebesar 2,18 MPa. Besar k yang digunakan bernilai 0,78 sehingga tegangan izin yang didapatkan sebesar 358,974359 MPa. Pada sekitar bukaan palkah nilai tegangan bernilai sekitar 16,89 MPa.

- Gambar 4.3 menunjukkan besar tegangan maksimal yang dihasilkan akibat beban yang mempengaruhi pada kapal saat kondisi *sagging*.



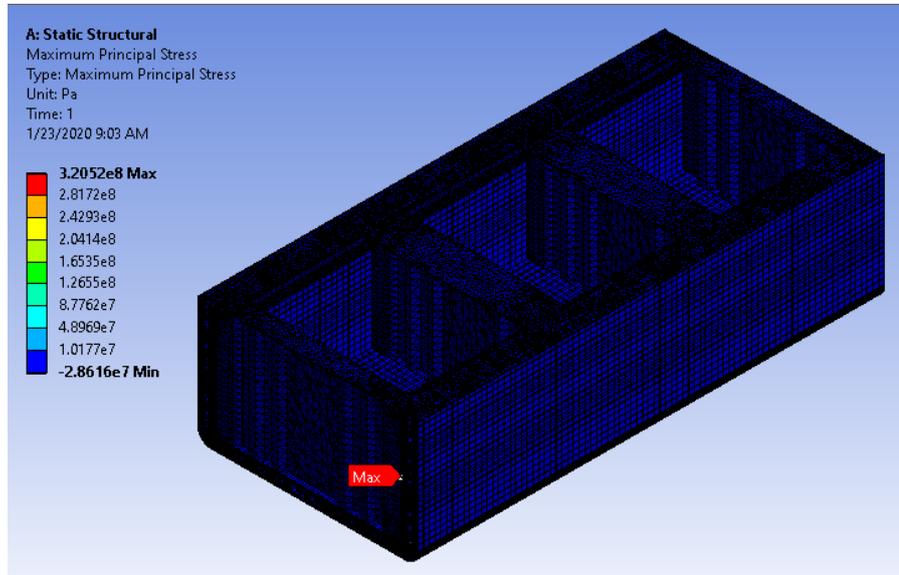
Gambar 4. 3 Hasil Tegangan Maksimal pada Kapal Ukuran Asli Kondisi *Sagging*

Berdasarkan hasil *running* yang ditunjukkan pada Gambar 4.3, bahwa tegangan maksimal terjadi pada daerah sekat. Besar tegangan maksimal tersebut adalah senilai 139,24 MPa. Tegangan maksimal ini masih memenuhi besar tegangan yang disyaratkan yaitu sebesar 280/k. Sedangkan tegangan terkecil yang dihasilkan saat kondisi *sagging* adalah sebesar 8,77 MPa.

#### 4.3.2. Hasil Analisis pada Kapal Variasi 1

Berikut merupakan hasil *running* pada kapal *bulk carrier*, pemodelan dilakukan dengan menambahkan *deck longitudinal* dan penyangga pemubujur geladak, sehingga pada variasi ini kapal memiliki *deck longitudinal* sebanyak 4 buah pada bagian *port side* dan *starboard side*.

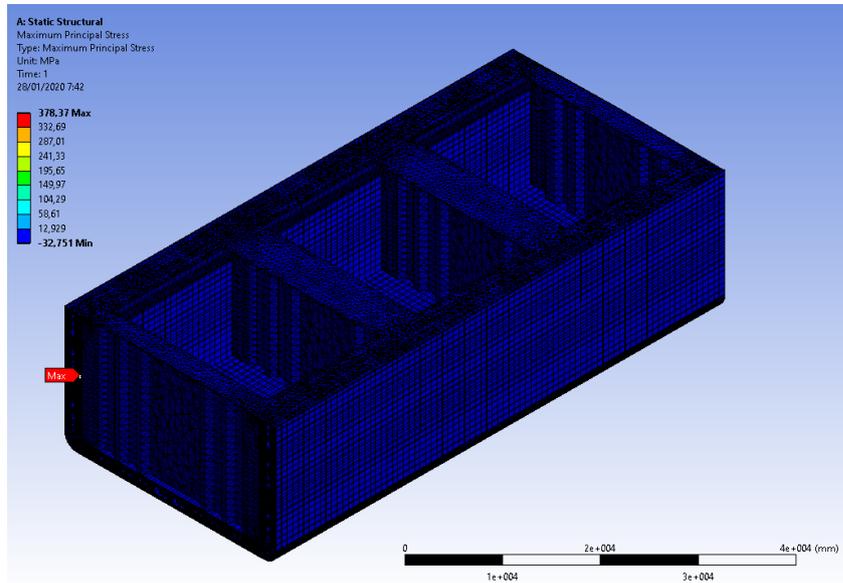
- Gambar 4.4 menunjukkan besar tegangan maksimal yang dihasilkan akibat beban yang mempengaruhi pada kapal pada kondisi *hogging*.



Gambar 4. 4 Tegangan Maksimal pada Kapal Variasi 1 Kondisi *Hogging*

Berdasarkan hasil *running* yang ditunjukkan pada Gambar 4.4, bahwa tegangan maksimal saat kondisi kapal *hogging* terjadi pada daerah sekat *wing tank* tepatnya pada bagian penegar dekat *manhole*. Besar tegangan maksimal tersebut adalah senilai 320,52 MPa. Tegangan maksimal ini tidak melewati besar tegangan yang diizinkan yaitu sebesar  $280/k$ . Nilai  $k$  sebesar 0,78 sehingga tegangan izin yang didapatkan sebesar 358,974359 MPa. Sedangkan tegangan terkecil yang terjadi pada kapal variasi 1 saat kondisi *hogging* sebesar 10,18 MPa. Tegangan yang dihasilkan bernilai lebih besar jika dibandingkan dengan tegangan pada *existing ship*. Sehingga dapat dikatakan bahwa pemilihan ukuran pembujur terlalu kecil walau masih memenuhi tegangan yang dipersyaratkan. Namun dengan penggunaan tersebut, dapat dihasilkan berat kapal yang lebih ringan dibandingkan dengan *existing ship*.

- Gambar 4.5 menunjukkan besar tegangan maksimal yang dihasilkan akibat beban yang mempengaruhi pada kapal pada kondisi *sagging*.



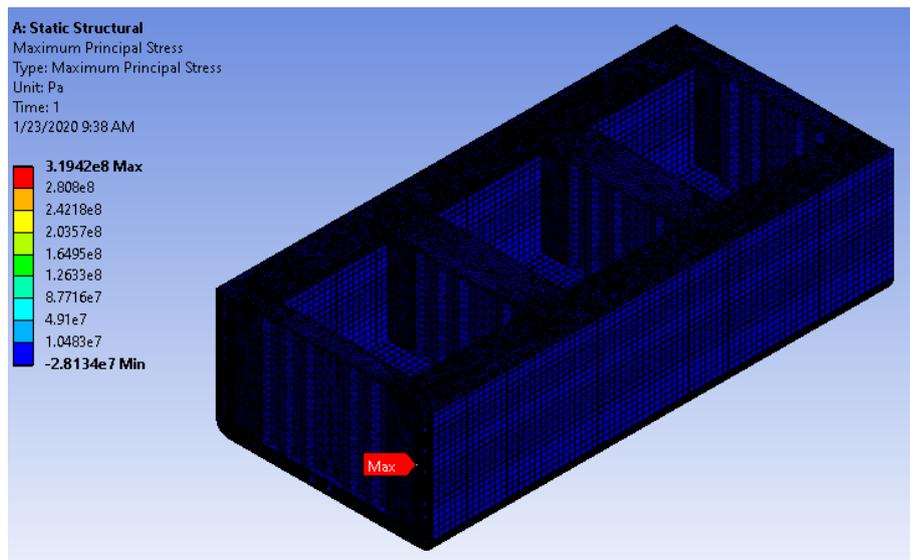
Gambar 4. 5 Tegangan Maksimal pada Kapal Variasi 1 Kondisi *Sagging*

Berdasarkan hasil *running* yang ditunjukkan pada Gambar 4.5, bahwa tegangan maksimal kapal variasi 1 saat kondisi *sagging*, terjadi pada daerah sekat *wing tank* tepatnya pada bagian penegar dekat *manhole*. Besar tegangan maksimal tersebut adalah senilai 378,37 MPa. Tegangan maksimal ini melewati besar tegangan yang diizinkan yaitu sebesar 280/k. Sedangkan tegangan terkecil yang dihasilkan saat kapal *sagging* bernilai sekitar 12,929 MPa. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa baiknya penggunaan perubahan pembujur geladak yang digunakan adalah berukuran antara 215 X 25 FB dan 300 X 25 FB untuk mendapatkan kekuatan kapal sesuai dengan tegangan yang dipersyaratkan dan berat material yang lebih ringan.

### 4.3.3. Hasil Analisis pada Kapal Variasi 2

Berikut merupakan hasil *running* pada kapal *bulk carrier*, dimana pemodelan dilakukan dengan menambahkan *deck longitudinal* dan penyangga pemubujur geladak, sehingga pada variasi ini kapal memiliki *deck longitudinal* sebanyak 4 buah pada bagian *port side* dan *starboard side*.

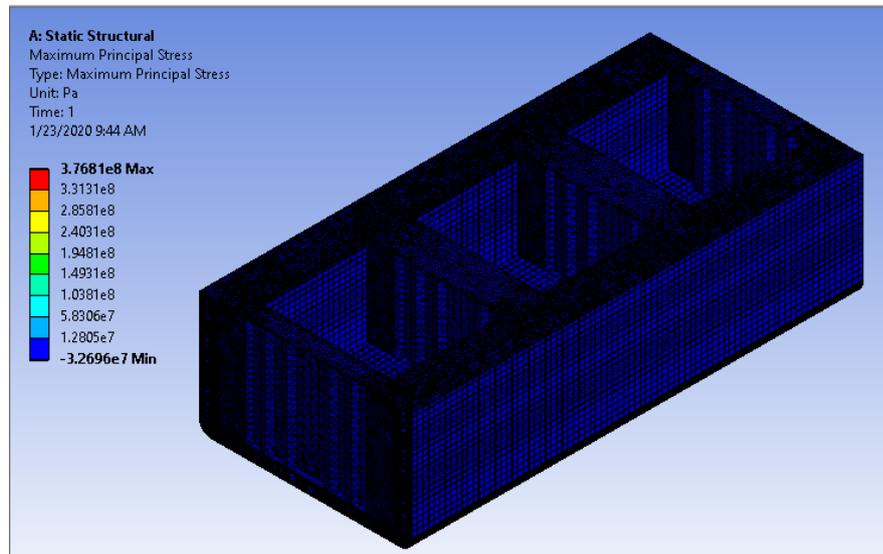
- Gambar 4.6 menunjukkan besar tegangan maksimal yang dihasilkan akibat beban yang mempengaruhi pada kapal kondisi *hogging*.



Gambar 4. 6 Hasil Tegangan Maksimal pada Kapal Variasi 2 Kondisi *Hogging*

Berdasarkan hasil *running* yang ditunjukkan pada Gambar 4.6, bahwa tegangan maksimal pada kapal variasi 2 saat kondisi *hogging*, terletak pada daerah sekat *wing tank* tepatnya pada bagian penegar dekat *manhole*. Besar tegangan maksimal tersebut adalah senilai 319,42 MPa. Tegangan maksimal ini tidak melewati besar tegangan yang diizinkan yaitu sebesar 280/k. Tegangan terkecil yang didapat pada kapal variasi 2 saat kondisi *hogging* bernilai sekitar 10,483 MPa.

- Gambar 4.7 menunjukkan besar tegangan maksimal yang dihasilkan akibat beban yang mempengaruhi pada kapal kondisi *sagging*.



Gambar 4. 7 Hasil Tegangan Maksimal pada Kapal Variasi 2 Kondisi *Sagging*

Berdasarkan hasil *running* yang ditunjukkan pada Gambar 4.7, bahwa tegangan maksimal saat kondisi *sagging* pada kapal variasi 2 terjadi pada daerah sekat *wing tank* tepatnya pada bagian penegar dekat *manhole*. Besar tegangan maksimal tersebut adalah senilai 376,81 MPa. Tegangan maksimal ini melewati besar tegangan yang disyaratkan yaitu sebesar 280/k. Sedangkan nilai tegangan terkecil bernilai sekitar 12,805 MPa.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

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

1. Besarnya tegangan yang terjadi pada sekitar bukaan palkah kurang dari tegangan izin yang diizinkan oleh *Common Structural Rules* yaitu sebesar 358,974 MPa.
2. Besar tegangan di sekitar bukaan palkah dengan pengaruh beban gelombang pada *existing ship* saat kondisi kapal *hogging* adalah sebesar 16,89 MPa, saat kondisi *sagging* adalah sebesar 8,77 MPa.
3. A. Besar tegangan pada model variasi 1 dengan pembujur geladak sejumlah masing-masing 4 buah pada bagian *portside* dan *starboardside* pada kondisi *hogging* senilai 320,52 MPa sedangkan saat *sagging* senilai 378,37 MPa.  
  
B. Besar tegangan pada model variasi 2 dengan pembujur geladak sejumlah masing-masing 6 buah pada bagian *portside* dan *starboardside* pada kondisi *hogging* senilai 319,42 MPa sedangkan saat *sagging* senilai 376,8 MPa.

#### **5.2. Saran**

1. Perlu adanya penambahan beban agar lebih mendekati dengan kondisi sesungguhnya.
2. Pemodelan pembujur ulang.
3. Perlu menggunakan kapasitas komputer yang besar.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR PUSTAKA

- Autoridad, D.C.D.P. (2005). *MR Notice to Shipping*. Balboa-Ancon: Autoridad del Canal de Panamá.
- Barras. (1999). *Ship Stability for Master and Mates*. Oxford: Elseiver.
- Bhafikatti, S.S. (2005). *Finite Element Analysis*. New Age International: New Delhi.
- Bhattacharyya, R. (1978). *Dynamic of Marine Vehicle*. U.S. Naval Academy, Annapolis.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2019). *Rules for Hull*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Felippa, C.A. (2004). *Introduction to Finite Element Methods*. USA: University of Colorado.
- Hibbeler, R. (1997). *Mechanics of Material, Third Edition*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Hughes, F. O. (1983). *Ship Structural Design*. New York: John Wiley and Son.
- International Association of Clasification Societies (IACS). (2015). *Common Structural Rules for Bulk Carrier*.
- Lamb, Thomas (2003). *Ship Design and Construction Vol. I*. Jersey City: Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Logan, D.L. (2007). *A First Course in the Finite Element Method Fourth Edition*. Canada: University of Wisconsin-Platteville.
- Madenci, E. & Ibrahim, G. (2006). *The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS*. Spinger.
- Rama, H. (2013). *Aplikasi Metode Elemen Hingga pada Perhitungan Tegangan di Sekitar Bukaan Palkah Akibat Gelombang Laut*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Singer, F. & Pytel, A. (1995). *Strenght of Materia, Second Edition*. Jakarta: Erlangga.
- Timoshenko, S. (1980). *Strength of Material*. Edisi Kedua. New York: D. Van Nostrad Company Inc.
- United Nations Council on Trade and Development (UNCTAD).(2018). *Review of Maritime Transport, 2018*. New York and Geneva: United Nations.

## LAMPIRAN

- Lampiran A Perhitungan Faktor Korosi
- Lampiran B Konversi Profile
- Lampiran C Momen Bending
- Lampiran D Perhitungan *Deck Longitudinal* Baru
- Lampiran E Beban pada Geladak
- Lampiran F Berat pada Geladak

**LAMPIRAN A**  
**PERHITUNGAN FAKTOR KOROSI**

NO	Posisi	Dimensi Pelat dan Profil (mm)	Tebal Pelat dan Profil (mm)	Corrosion Addition		Tebal net fatigue (mm)	Dimensi net profile (mm)
				tc	0.5tc fatigue		
1	Bottom Longitudinal	HP 260 X 11	11	2	1	10	HP 260 X 10
2	Bilge Keel	HP 400 X14	14	2	1	13	HP 400 X13
3	Side Longitudinal 1 - 4		25	2	1	24	
4	Side Longitudinal 6 - 9	HP 220 X 10	10	2	1	9	HP 220 X 9
5	Side Longitudinal 10 - 12	HP 240 X 10	10	2	1	9	HP 240 X 9
6	Side Longitudinal 14 - 19	HP 260 X 11	11	2	1	10	HP 260 X 10
7	Inner Bottom Longitudinal	HP 320 X 12	12	2	1	11	HP 320 X 11
8	Wing Tank Longitudinal 1 - 4		25	2	1	24	
9	Wing Tank Longitudinal 6 - 9	HP 220 X 10	10	3	1,5	8,5	HP 220 X 8.5
10	Wing Tank Longitudinal 10 - 12	HP 240 X 10	10	3	1,5	8,5	HP 240 X 8.5
11	Wing Tank Longitudinal 14	HP 260 X 11	11	3	1,5	9,5	HP 260 X 9.5
12	Wing Tank Longitudinal 15 - 19	HP 280 X 11	11	3	1,5	9,5	HP 280 X 9.5
13	Horizontal Girder Longitudinal	HP 260 X 11	11	2	1	10	HP 260 X 10
14	Deck Longitudinal	300 X 25 FB	25	2	1	24	300 X 24 FB
15	Hatch Coaming Stiffener	HP 220 X 11	11	2	1	10	HP 220 X 10
16	Bilge Plate		13,5	2	1	12,5	
17	Side Plate luar 1		30	2	1	29	
18	Side Plate luar 2		16,5	2	1	15,5	
19	Side Plate luar 3		15	2	1	14	
20	Wing Tank Plate 1		30	2,4	1,2	28,8	
21	Wing Tank Plate 2		26	2,4	1,2	24,8	
22	Wing Tank Plate 3		11	2,4	1,2	9,8	
23	Wing Tank Plate 4		11,5	2,4	1,2	10,3	
24	Wing Tank Plate 5		12,5	2,4	1,2	11,3	
25	Wing Tank Plate 6		13,5	2,4	1,2	12,3	
26	Wing Tank Plate 7		14	2,4	1,2	12,8	
27	Wing Tank Plate 8		18	2,4	1,2	16,8	
28	Keel Plate		15	2	1	14	
29	Bottom Plate		14	2	1	13	
30	Inner Bottom Plate 1		22	3,7	1,85	20,15	
31	Inner Bottom Plate 2		15	3,7	1,85	13,15	
32	Solid Floor		13,5	2	1	12,5	
33	Side Transvere		11	2	1	10	
34	Bilge Transverse		13,5	2	1	12,5	
35	Side Girder Plate 1		14,5	2	1	13,5	
36	Side Girder Plate 2		12,5	2	1	11,5	
37	Center Girder Plate		16,5	2	1	15,5	
38	skelop inner 800 off CL		1,5	2	1	0,5	
39	penegar dekat lubang manhole		10	2	1	9	

**LAMPIRAN B**  
**KONVERSI PROFILE**

Pengukuran Bulb Profile menjadi L profile						
NO		Ukuran Bulb Profile (mm)			Ukuran L Profile (mm)	
1	Bottom Longitudinal	HP 260 X 10	h'w =	260	hw =	233,7391304
					$\alpha =$	1
			t'w =	10	bf =	46,80597015
				tf =	26,26086957	
2	Bilge Keel	HP 400 X13	h'w =	400	hw =	358,5217391
					$\alpha =$	1
			t'w =	13	bf =	70,70149254
				tf =	41,47826087	
3	Side Longitudinal 1 - 4	300 X 24 FB	h'w =	300	hw =	269,3913043
					$\alpha =$	1
			t'w =	24	bf =	66,7761194
				tf =	30,60869565	
4	Side Longitudinal 6 - 9	HP 220 X 9	h'w =	220	hw =	198,0869565
					$\alpha =$	1
			t'w =	9	bf =	39,8358209
				tf =	21,91304348	
5	Side Longitudinal 10 - 12	HP 240 X 9	h'w =	240	hw =	215,9130435
					$\alpha =$	1
			t'w =	9	bf =	42,82089552
				tf =	24,08695652	
6	Side Longitudinal 14 - 19	HP 260 X 10	h'w =	260	hw =	233,7391304
					$\alpha =$	1
			t'w =	10	bf =	46,80597015
				tf =	26,26086957	
7	Inner Bottom Longitudinal	HP 320 X 11	h'w =	320	hw =	287,2173913
					$\alpha =$	1
			t'w =	11	bf =	56,76119403
				tf =	32,7826087	
8	Wing Tank Longitudinal 1 - 4	300 x 23.5 FB	h'w =	300	hw =	269,3913043
					$\alpha =$	1
			t'w =	23,5	bf =	66,2761194
				tf =	30,60869565	
9	Wing Tank Longitudinal 6 - 9	HP 220 X 8.5	h'w =	220	hw =	198,0869565
					$\alpha =$	1
			t'w =	8,5	bf =	39,3358209
				tf =	21,91304348	
10	Wing Tank Longitudinal 10 - 12	HP 240 X 8.5	h'w =	240	hw =	215,9130435
					$\alpha =$	1
			t'w =	8,5	bf =	42,32089552
				tf =	24,08695652	

11	Wing Tank Longitudinal 14	HP 260 X 9.5	h'w =	260	hw =	233,7391304
					$\alpha$ =	1
			t'w =	9,5	bf =	46,30597015
					tf =	26,26086957
12	Wing Tank Longitudinal 15 - 19	HP 280 X 9.5	h'w =	280	hw =	251,5652174
					$\alpha$ =	1
			t'w =	9,5	bf =	49,29104478
					tf =	28,43478261
13	Horizontal Girder Longitudinal	HP 260 X 10	h'w =	260	hw =	233,7391304
					$\alpha$ =	1
			t'w =	10	bf =	46,80597015
					tf =	26,26086957
14	Deck Longitudinal	300 X 24 FB	h'w =	300	hw =	269,3913043
					$\alpha$ =	1
			t'w =	24	bf =	66,7761194
					tf =	30,60869565
15	Hatch Coaming Stiffener	HP 220 X 10	h'w =	220	hw =	198,0869565
					$\alpha$ =	1
			t'w =	10	bf =	40,8358209
					tf =	21,91304348

**LAMPIRAN C**  
**MOMEN BENDING**

Chapter 4 Section 4 CSR

3. Momen Bending pada Air Tenang

- Kondisi Kapal Hogging

$$M_{sw-h-min} = f_{sw} (171 C_w L^2 B (C_B + 0,7) 10^{-3} - M_{wv-h-mid})$$

- Kondisi Kapal Sagging

$$M_{sw-s-min} = -0,85 f_{sw} (171 C_w L^2 B (C_B + 0,7) 10^{-3} + M_{wv-s-mid})$$

Perhitungan Momen Bending

- Kondisi Kapal Hogging

$f_{nl-vh} =$	1
$f_m =$	0,596
$=$	1
$f_p =$	1
$C_w =$	9,466
$L_{pp} =$	181,847
$B =$	30,500 m
$C_B =$	0,820

*Momen Bending* posisi 87,2 dari AP (0,4L)

$M_{sw-h-min} =$	571608,9807	kNm
$M_{wv-h} =$	$0,19 f_{nl-vh} f_m f_p C_w L^2 B C_B$	
$=$	7824613,599	kNm
$M_{total} =$	8396222,580	kNm

*Momen Bending* posisi 145,2 dari AP (0,7L)

$M_{wv-h} =$	$0,19 f_{nl-vh} f_m f_p C_w L^2 B C_B$	
$=$	886485,375	kNm
$M_{total} =$	1458094,356	kNm

- Kondisi Kapal Sagging

$f_{nl-vs} =$	1
$f_m =$	0,596
$f_p =$	1
$C_w =$	9,466
$L_{pp} =$	181,847
$B =$	30,500 m
$C_B =$	0,820

<i>Momen Bending</i> posisi 87,2 dari AP (0,4L)			
$M_{sw-s-min}$	=	-1993857,338 kNm	
$M_{wv-s}$	=	$-0,19 f_{nl-vh} f_m f_p C_w L^2 B C_B$	
	=	-7824613,599 kNm	
$M_{total}$	=	-9818470,938 kNm	
<i>Momen Bending</i> posisi 145,2 dari AP (0,7L)			
$M_{wv-s}$	=	$-0,19 f_{nl-vh} f_m f_p C_w L^2 B C_B$	
	=	-886485,375 kNm	
$M_{total}$	=	-2880342,714 kNm	

<i>netral axis</i> - $F_1$	12,2
<i>netral axis</i> - $F_2$	5,3
Titik Berat $F_1$	8,1
Titik Berat $F_2$	3,5
$F_1 = F_2$	

KONDISI HOGGING			
8,39622E+12	=	$(F_1 \times 8,1) + (F_2 \times 3,5)$	0,4L
8,39622E+12	=	$2F(8,1+35,3)$	
8,39622E+12	=	$2F(11,6)$	
361906145,7	=	F	
$F_1 = F_2$	=	361906145,693 N	
1,458E+12	=	$(F_1 \times 8,1) + (F_2 \times 3,5)$	0,7L
1,45809E+12	=	$2F(8,1+35,3)$	
1,45809E+12	=	$2F(11,6)$	
62848894,66	=	F	
$F_1 = F_2$	=	62848894,662 N	
KONDISI SAGGING			
-9,818E+12	=	$(F_1 \times 8,1) + (F_2 \times 3,5)$	0,4L
-9,81847E+12	=	$2F(8,1+35,3)$	
-9,81847E+12	=	$2F(11,6)$	
-423209954,2	=	F	
$F_1 = F_2$	=	-423209954,219 N	
-2,880E+12	=	$(F_1 \times 8,1) + (F_2 \times 3,5)$	0,7L
-2,88034E+12	=	$2F(8,1+35,3)$	
-2,88034E+12	=	$2F(11,6)$	
-124152703,2	=	F	
$F_1 = F_2$	=	-124152703,188 N	

**LAMPIRAN D**  
**PERHITUNGAN *DECK LONGITUDINAL* BARU**

$$\sigma_{pr} = \frac{150}{k}$$

$$\sigma_{pr} = 192,3077 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{perm} = \left(0,8 + \frac{L}{450}\right) \frac{230}{k}$$

$$\sigma_{perm} = 355,0564 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{perm\max} = \frac{230}{k}$$

$$\sigma_{perm\max} = 294,8718 \text{ N/mm}^2$$

$$m_k = 0,999692$$

$$m_a = 0,021325$$

$$m = 0,998929$$

$$W_I = 457,026 \text{ cm}^3$$

$$A_I = 0,103445 \text{ cm}^2$$

#### Pemilihan profil:

Perancangan profil (BKI 2014 bab 3)

$$l/e = 3,24$$

$$em1 = 0,84 \quad (\text{interpolasi})$$

$$em1 \times e = 0,715608 \text{ m} \quad (\text{lebar efektif})$$

	ukuran	tebal
web	215	25
pengikut	2500	30

	A [cm <sup>2</sup> ]	d	A · d	Ad <sup>2</sup>	bh <sup>3</sup> /12
web	53,75	13,75	739,0625	10162,11	2070,495
pengikut	750	1,5	1125	1687,5	562,5
	803,75		1864,063	11849,61	2632,995

$$Z1 = \frac{\sum Ad}{A} = 2,319 \text{ cm}$$

$$Z2 = \sum h - Z1 = 22,181 \text{ cm}$$

$$I_{xx} = \sum Ad^2 + \sum bh^3/12$$

$$= 14483 \text{ cm}^4$$

$$INA = I_{xx} - Z^2 \cdot \sum A$$

$$= 10159 \text{ cm}^4$$

$$W_{\text{desain}} = INA / Z1$$

$$= 4380,57 \text{ cm}^3$$

$$W_{\text{desain}} = INA / Z2$$

$$= 458,03 \text{ cm}^3$$

$$W = 458,030 \text{ cm}^3$$

**Memenuhi**

$$A_{\text{web}} = 53,75 \text{ cm}^2$$

$A_{\text{web}} > A_w$ , Memenuhi

**LAMPIRAN E**  
**BEBAN PADA GELADAK**

BKI Vol. II Rules for Hull Section 4

$$P_D = p_0 \frac{20 \cdot T}{(10+z-T)H} C_D$$

$z =$	17,505	m	for plate
$T =$	12,8	m	
$c_D =$	1		
$C_B =$	0,82		
$c_0 =$	89,60		for $90 \leq L \leq 300$
$c_L =$	1,00		for $L \geq 90$ m
$c_{RW} =$	1,00		for unlimited service range
$f =$	1,00		for <i>weather deck</i>
$p_0 =$	285,92479	kN/m <sup>2</sup>	
$p_{01} =$	354,00213	kN/m <sup>2</sup>	
$p_D =$	352,06163	kN/m <sup>2</sup>	
$p_{Dmin} =$	16	kN/m <sup>2</sup>	
$p_{Dmin} =$	247,80149	kN/m <sup>2</sup>	

Section 17 B, halaman 17-7/20

Top Plating Hatch Cover

$t = c_p \cdot 16,1 \cdot a \cdot$		$\frac{\sqrt{p}}{\sqrt{R_{EH}}} + tk$
$c_p = 1 + 2,5 \frac{\sigma_x}{R_{EH}} - 0,64$		
$\sigma_x = 0,6 \times \sigma_y$		
$=$	189	N/mm <sup>2</sup>
$c_p =$	1	
$t =$	15	mm
$t = 10 \cdot a$		
$=$	8	mm
$t_{min} =$	6	mm
$t = 8 \cdot a$		
$=$	6,4	mm

Main Girder

$t = 8 \cdot a$		
$=$	6	mm
$t_{min} =$	6	mm

### Hatch Cover Stiffener

$$W_{\text{net}} = \frac{104}{R_{EH}} \cdot a \cdot l \cdot p$$

$$A_{\text{snet}} = \frac{10 \cdot a \cdot l \cdot p}{R_{EH}}$$

$$p_D = 354,00 \quad \text{kN/m}^2$$

$$W = 538,5687 \quad \text{cm}^3$$

$$= 807,853 \quad \text{cm}^3$$

$$A_{\text{snet}} = 21,577272 \quad \text{cm}^2$$

### Pemilihan profil:

Perancangan profil (BKI 2014 bab 3)

$$l/e = 2,94$$

$$em1 = 0,81 \quad (\text{interpolasi})$$

$$em1 \times e = 0,688 \quad \text{m} \quad (\text{lebar efektif})$$

	ukuran	tebal
web	350	28
face	150	20

	A [cm <sup>2</sup> ]	d	A · d	Ad <sup>2</sup>	bh <sup>3</sup> /12
web	98	19,5	1911	37264,5	10004,2
face	30	1	30	30	10
	128		1941	37294,5	10014,2

$$Z1 = \frac{\sum Ad}{A} = 15,164 \quad \text{cm}$$

$$Z2 = \frac{\sum h \cdot Z1}{h} = 21,836 \quad \text{cm}$$

$$I_{xx} = \sum Ad^2 + \sum bh^3/12$$

$$= 47309 \quad \text{cm}^4$$

$$INA = I_{xx} - Z^2 \cdot \sum A$$

$$= 17875 \quad \text{cm}^4$$

$$W_{\text{desain}} = INA / Z1$$

$$= 1178,79 \quad \text{cm}^3$$

$$W_{\text{desain}} = INA / Z2$$

$$= 818,61 \quad \text{cm}^3$$

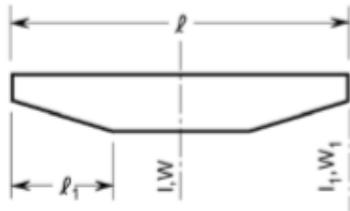
$$W = 818,615 \quad \text{cm}^3$$

$$A_{\text{web}} = 98 \quad \text{cm}^2$$

**Memenuhi**

$A_{\text{web}} > A_w$ , Memenuhi

Ukuran Asli



$$A_w = \frac{5 \cdot p \cdot a \cdot l}{\tau}$$

$$= 844,93227 \text{ cm}^2$$

$$t = 6 + \frac{l}{2}$$

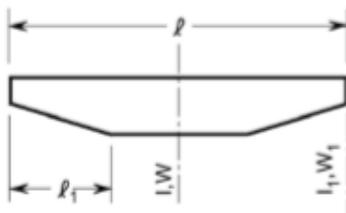
$$= 18,75 \text{ mm}$$

$$= 19 \text{ mm}$$

Berat Hatch Cover Ukuran Asli

	Jumlah	Panjang	Profil	Luas	Volume	Berat (kg)
Pelat Top	1			408	6,182878	48535,59597
Web	7			0,591453	0,011238	88,21515401
Penegar	24	16	350 x 150 + 28 x 20	0,0818	1,3088	10274,08
Pelat Tepi Kanan Kiri	2			20,8	0,3952	3102,32
BeratTotal						62000,21112
Gaya						608014 N

Variasi 1



$$A_w = \frac{5 \cdot p \cdot a \cdot l}{\tau}$$

$$= 738,90156 \text{ cm}^2$$

$$t = 6 + \frac{l}{2}$$

$$= 17,15 \text{ mm}$$

$$= 17 \text{ mm}$$

Berat Hatch Cover Variasi 1						
	Jumlah	Panjang	Profil	Luas	Volume	Berat (kg)
Pelat Top	1			356,8	5,406988	42444,85451
Web	7			0,517231	0,008793	69,02448893
Penegar	20	16	350 x 150 + 28 x 20	0,0668	1,0688	8390,08
Pelat Tepi Kanan Kiri	2			20,8	0,1768	1387,88
BeratTotal						52291,839
Gaya						512808   N

Variasi 2

$$A_w = \frac{5 \cdot p \cdot a \cdot l}{\tau}$$

$$= 636,1843 \text{ cm}^2$$

$$t = 6 + \frac{l}{2}$$

$$= 15,6 \text{ mm}$$

$$= 16 \text{ mm}$$

Berat Hatch Cover Variasi 2						
	Jumlah	Panjang		Luas	Volume	Berat (kg)
Pelat Top	1			307,2	4,655344	36544,44873
Web	7			0,445329	0,007125	55,93332366
Penegar	17	16	350 x 150 + 28 x 20	0,0608	0,9728	7636,48
Pelat Tepi Kanan Kiri	2			20,8	0,3328	2612,48
BeratTotal						46849,34205
Gaya						459435   N

**LAMPIRAN F**  
**BERAT PADA GELADAK**

Berat Kapal Asli								
ITEM	Jumlah	DIMENSI (mm)					Volume (m3)	Berat (Ton)
		Panjang	Luas	Profil	Web	Tebal		
<b>Geladak</b>								
Pembujur Geladak	4	64,8		300 x 24 FB	0,300	0,024	1,944	15,260
Pelat Geladak	1	64,8					149,739	1175,449
Berat Hatch Cover beserta Penegar	3							186,001
Total Berat Geladak								1376,710
Berat Kapal VARIASI 1								
ITEM	Jumlah	DIMENSI (mm)					Volume (m3)	Berat (Ton)
		Panjang	Luas	Profil	Web	Tebal		
<b>Geladak</b>								
Pembujur Geladak 1	8	64,8		215 x 24 FB	0,215	0,024	2,675	20,998
Pelat Geladak	1	64,8					150,459	1181,101
Berat Hatch Cover beserta Penegar	3							146,417
Bracket Penyangga	54		3,000				0,0125	2,025
Total Berat Geladak								1364,413
Berat Kapal VARIASI 2								
ITEM	Jumlah	DIMENSI (mm)					Volume (m3)	Berat (Ton)
		Panjang	Luas	Profil	Web	Tebal		
<b>Geladak</b>								
Pembujur Geladak 1	12	64,8		215 x 24 FB	0,215	0,024	4,012	31,497
Pelat Geladak	1	64,8					185,019	1452,397
Berat Hatch Cover beserta Penegar	3							131,178
Bracket Penyangga	54		6,000				0,0125	4,050
Total Berat Geladak								1646,865

## BIODATA PENULIS



Sabrina Alifia Prinasari, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Probolinggo pada 8 Maret 1997 silam, Penulis merupakan anak pertama dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK hingga SMA Taruna Dra Zulaeha. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2015 melalui jalur SNMPTN tulis.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff* Departemen Kewirausahaan HIMATEKPAL FTK ITS 2016/2017 serta bagian dari UKM KELATNAS INDONESIA PERISAI DIRI ITS.

Email: [sabrina.prinasari@gmail.com](mailto:sabrina.prinasari@gmail.com)