



Analisis Kekuatan Struktur Kapal Terhadap Peletakan *Airbag* pada Persiapan Peluncuran

Alamsyah¹

Rodlian Jamal Ikhwan²

Christian Hendra Gonawan³

¹ Program Studi Teknik Perkapalan, Jurusan Sains Teknologi Pangan dan Kemaritiman, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan. alamsyah@lecturer.itk.ac.id

² Program Studi Teknik Perkapalan, Jurusan Sains Teknologi Pangan dan Kemaritiman, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan. jamal@lecturer.itk.ac.id

³ Program Studi Teknik Perkapalan, Jurusan Sains Teknologi Pangan dan Kemaritiman, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan. 09171021@student.itk.ac.id

Abstract

Ship launching / undocking technology is increasingly developing to achieve economic efficiency, time, security and flexibility by using airbag media at end launching launches. However, risks in the ship launching process using airbags are still and can occur, one of which is the risk of airbag exploding due to excessive pressure or not being able to withstand the load and failure of the structure to hold the airbag as a pedestal. In addition, the pressure exerted by the airbag becomes a stress on the ship's structure which can cause deformation. This study aims to determine the effect of airbag pressure on the strength of the ship's structure and the deformations that can occur in each variation of airbag placement. This study uses finite element-based software to analyze stress and deformation in ship construction due to airbag support. From this study, it was found that the number of airbags used in the two row layout and cross over arrangement was 14 with the status of the airbag on the distribution of loading is safe (not broken). The results of the maximum stress values obtained from the simulation on the two row arrangement layout models 1 and 2 are 11.62 MPa and 9.8347 MPa and in the cross over arrangement model 1 and 2 layouts, the maximum stress is 20.247 MPa and 13,846 MPa after comparison with the yield stress value. material according to BKI Vol II 2019 Sec 4 B 6.5, the ship's construction is still in a state of meeting or below the allowable stress. The maximum deformation value generated in the two row layout and cross over arrangement is still below the deformation of the BKI Vol II 2019 Sec. 3 F 3.1 are 0.548 mm and 0.68533 mm. The smallest safety factor value for the two row arrangement layout is 30 and the cross over arrangement layout is 16.

Keywords: *Airbag, Barge, Launch, Stress, Deformation*

Abstrak

Teknologi peluncuran / *undocking* kapal semakin berkembang untuk mencapai efisiensi secara ekonomis, waktu, keamanan dan fleksibel dengan menggunakan media *airbag* pada peluncuran

end launching. Namun, risiko pada proses peluncuran kapal menggunakan *airbag* masih dan dapat terjadi, salah satunya risiko meledaknya *airbag* akibat tekanan berlebih atau tidak mampu menahan beban serta kegagalan struktur untuk menahan *airbag* sebagai tumpuan. Disamping itu, tekanan yang diberikan *airbag* menjadi tegangan pada struktur kapal yang dapat menyebabkan deformasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan *airbag* terhadap kekuatan struktur kapal serta deformasi-deformasi yang dapat terjadi pada setiap variasi peletakan *airbag*. Penelitian ini menggunakan *software* berbasis elemen hingga untuk menganalisis tegangan dan deformasi pada konstruksi kapal akibat tumpuan *airbag*. Dari penelitian ini didapatkan jumlah *airbag* yang digunakan pada *layout two row* dan *cross over arrangement* adalah 14 buah dengan status *airbag* terhadap distribusi pembebanan adalah aman (tidak pecah). Hasil nilai tegangan maksimum yang didapatkan dari simulasi pada *layout two row arrangement* model 1 dan 2 adalah bernilai 11.62 MPa dan 9.8347 MPa serta pada *layout cross over arrangement* model 1 dan 2 didapatkan tegangan maksimum bernilai 20.247 MPa dan 13.846 MPa setelah dilakukan perbandingan dengan nilai tegangan *yield* material menurut BKI Vol II 2019 Sec 4 B 6.5, konstruksi kapal masih dalam keadaan memenuhi atau dibawah tegangan yang diijinkan. Besar nilai deformasi maksimum yang dihasilkan pada *layout two row* dan *cross over arrangement* masih dibawah deformasi ijin BKI Vol II 2019 Sec. 3 F 3.1 yaitu 0.548 mm dan 0.68533 mm. Nilai *safety factor* terkecil untuk *layout two row arrangement* adalah 30 dan *layout cross over arrangement* adalah 16.

Kata Kunci: *Airbag, Barge, Peluncuran, Tegangan, Deformasi*

1. Pendahuluan

Teknologi peluncuran / *undocking* yang banyak diterapkan di galangan sejak 2015 dikenal dengan metode *end launching* dengan menggunakan *airbag* sebagai media peluncuran yang didukung oleh gaya gravitasi, sudut kemiringan peluncuran serta yang paling utama pada metode ini adalah pengisian tekanan udara pada *airbag*. Peluncuran kapal menggunakan *airbag* memiliki beberapa kelebihan diantaranya lebih efisien, hemat waktu, fleksibel, dan tidak memerlukan banyak biaya dalam perawatannya. Meskipun demikian masih terdapat risiko pada proses peluncuran kapal menggunakan *airbag*. Risiko tersebut diantaranya badan kapal patah akibat hanya terpusat pada sebagian *airbag* di ujung landasan, kapal terbalik saat diluncurkan karena terjadinya *overlapping* dari putaran *airbag* ataupun risiko lainnya yang dapat terjadi (Rahma, 2019).

Sementara itu, permasalahan lainnya timbul dari *airbag* terhadap kapal. Diketahui bahwa kapal memberikan gaya berat terhadap *airbag* dan sebaliknya, *airbag* memberikan gaya tekan berupa tegangan terhadap struktur kapal. Hal ini memberikan dampak pada kekuatan struktur kapal untuk menahan tegangan yang diberikan dari *airbag*. Sehingga perlu mengetahui terlebih dahulu tekanan kerja yang diberikan pada *airbag* akibat pembebanan kapal. Kemudian hasil tekanan tersebut menjadi tegangan yang diterima struktur kapal. Oleh karena itu, penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh tegangan yang diberikan oleh tekanan *airbag* terhadap deformasi yang dapat terjadi pada setiap variasi peletakan *airbag*.

2. Metodologi

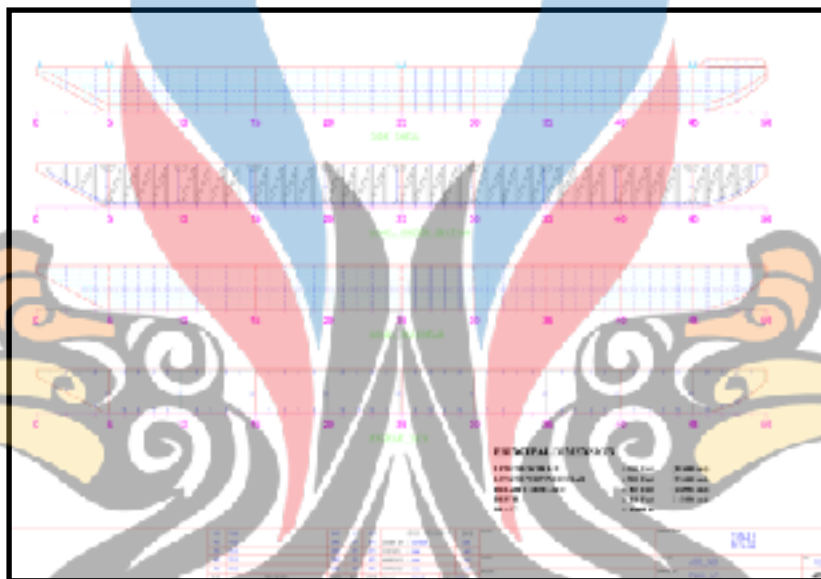
Pada penelitian ini digunakan data Kapal Tongkang *Deck 300 ft*. Data kapal digunakan untuk membuat permodelan kapal dengan menggunakan *software Maxsurf Modeler Advance* untuk mempermudah dalam melakukan analisis data untuk menentukan jumlah *airbag* terhadap distribusi pembebanan kapal. Kemudian untuk menghitung kekuatan kapal digunakan *software* berbasis elemen hingga. Proses permodelan kapal menggunakan ukuran dan dimensi konstruksi yang sebenarnya sesuai dengan data yang diperoleh.

2.1. Data Kapal

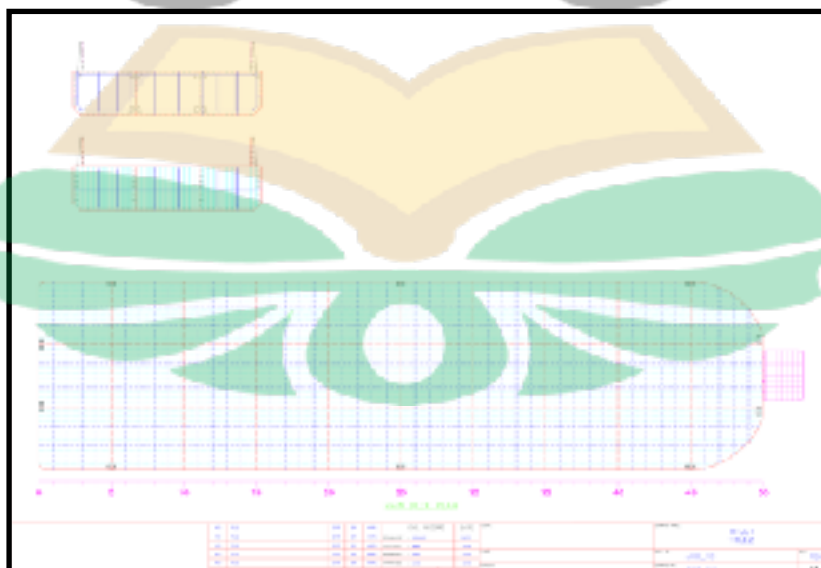
Berikut adalah Tabel 2.1 merupakan ukuran utama dari Kapal Tongkang *Deck* 300 ft yang menjadi objek penelitian. Gambar 2.1 dan 2.3 merupakan gambar konstruksi *midship* dan *profile* kapal

Tabel 2.1 Ukuran Utama Kapal Tongkang

No	Keterangan	Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
1	<i>LOA</i>	300	<i>Feet</i>	91.44	m
2	<i>LPP</i>	300	<i>Feet</i>	91.44	m
3	<i>B</i>	82	<i>Feet</i>	24.994	m
4	<i>H</i>	18	<i>Feet</i>	5.486	m
5	<i>T</i>	4.663		m	
6	<i>DWT</i>	10450		ton	

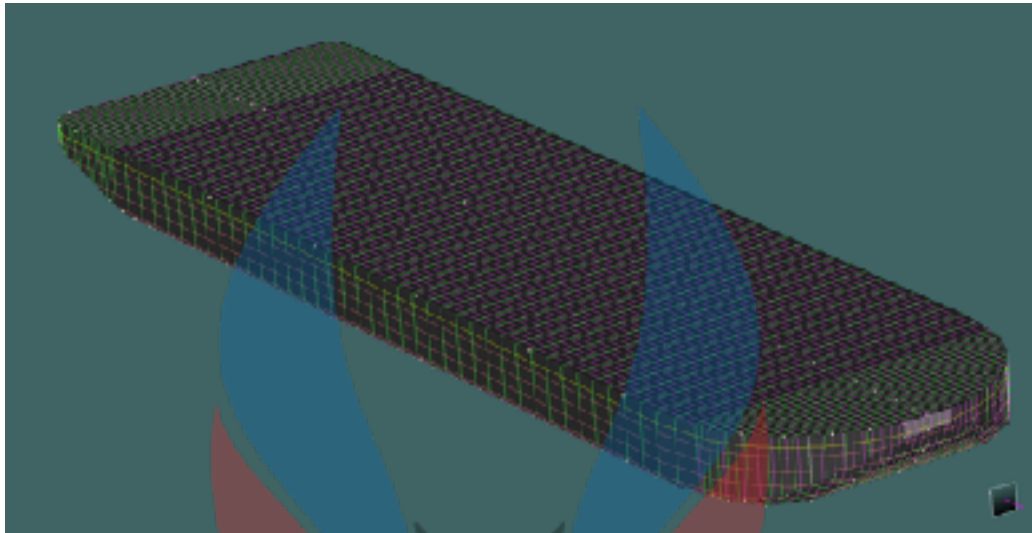


Gambar 2.1 Konstruksi *Profil* Penampang Memanjang



Gambar 2.2 Konstruksi *Midship* dan *Profil* Tampak Atas

Berikut adalah Gambar 4.2.1 sampai dengan 4.2.4 merupakan hasil permodelan Kapal Tongkang 300 ft



Gambar 2.3 3D Model



Gambar 2.4 Half Breadth Plan / Water Lines



Gambar 2.5 Sheer Plan / Buttock Lines



Gambar 2.6 Body Plan

Setelah dilakukan permodelan *lines plan* kapal Tongkang 300 ft, kemudian dilakukan perhitungan pendekatan berat lambung kapal dengan menggunakan metode Owen Huges dengan persamaan sebagai berikut,

$$\rho g \int_0^L a(x) dx = g \int_0^L m(x) dx \quad (1)$$

dimana,

$a(x)$ = Immersed cross-sectional area (m²)

$m(x)$ = Mass distribution (mass per unit length) (ton/m)

ρ = Mass density of sea water (or fresh water, if appropriate) (ton/m³)

g = Gravitational acceleration (m/s²)

Δ = displacement (ton)

Dari perhitungan dengan persamaan 1 diperoleh *hull weight* kapal Tongkang 300 ft adalah 2136 ton.

2.2. Data Airbag

Data *airbag* disesuaikan dengan karakteristik *airbag* dipasaran (YT-6 layer CB/T 3837-1998 *Technological Requirements for ship Upgrading or Launching Relaying on Air-Bags* (Shipbuilding Industry Standard, PRC) : Qingdao Evergreen Maritime CO., LTD (<http://www.evergreen-maritime.com/products/Ship-Launching-Airbags-en3.html>) yang telah memenuhi standar ISO 14409 : 2011. Sehingga diperoleh data *airbag* pada Tabel 2.2 untuk *layout airbag Two Row Arrangement* dan Tabel 2.3 untuk *Cross Row Arrangement* sebagai berikut,

Tabel 2.2 Two Row Arrangement Airbag

Karakteristik	Nilai	Satuan
External diameter D ₁	1.5	m
Effective height	0.8	m
Load capacity per unit length	143.03	kN/m
Maximum length	13	m
Effective length	10	m
Working pressure	0.13	MPa

Tabel 2.3 Cross Row Arrangement Airbag

Karakteristik	Nilai	Satuan
External diameter D ₁	1.5	m
Effective height	0.8	m
Load capacity per unit length	143.03	kN/m
Maximum length	19.5	m
Effective length	18	m
Working pressure	0.13	MPa

Jumlah *airbag* dan jarak antara keduanya untuk peluncuran kapal menggunakan *airbag* pneumatik perlu dihitung. Jumlah *airbag* pneumatik untuk peluncuran kapal dapat diambil dari rumus berikut

$$N = K_1 \frac{W_c \times g^2}{C_B \times R \times L_d} + N_1 \quad (2)$$

dimana,

$$K_1 = \frac{1.2}{1.3}$$

W_c = Launching weight of ship and launching device (ton)

g = Gravitasi bumi 9.81 m/s²

C_B = Block coefficient

R = Airbag Load capacity per unit length (ton/m)

L_d = Airbag Effective length (m)

N_1 = Tambahan jumlah airbag yang dibutuhkan

Untuk jarak antar airbag tidak boleh melebihi dari 6 m. Atau dapat diperiksa dengan menggunakan rumus

$$\frac{L}{N-1} \leq 6 \quad (3)$$

$$\frac{L}{N-1} \geq \frac{\pi D}{2} + 0.5 \quad (4)$$

Two Row Arrangement

Jumlah airbag pneumatik untuk peluncuran kapal layout two row arrangement dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 1 dimana,

K_1 = konstanta 1.2 - 1.3

W_c = Launching weight of ship and launching device

g = gravitasi bumi 9.81 m/s²

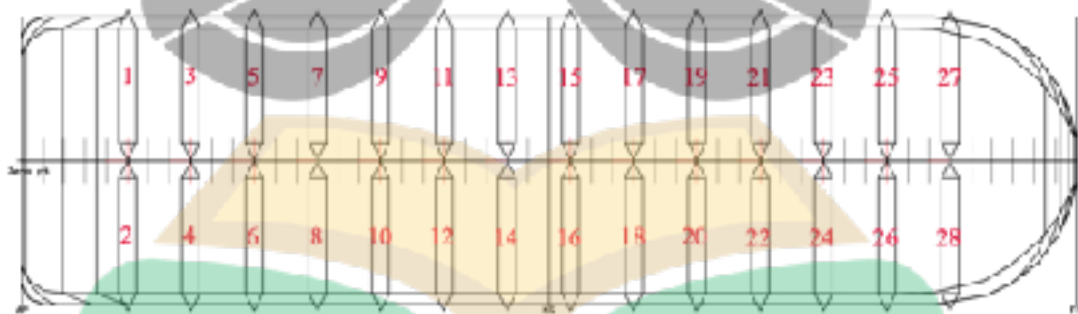
C_B = Block coefficient

R = Airbag Load capacity per unit length

L_d = Airbag Effective length

N_1 = Tambahan jumlah airbag yang dibutuhkan

Maka diperoleh jumlah airbag yang dibutuhkan untuk peluncuran layout two row arrangement (N) adalah 24 pcs.



Gambar 2.7 Two Row Arrangement

Cross Over Arrangement

Jumlah airbag pneumatik untuk peluncuran kapal layout cross over arrangement dapat diperoleh dengan cara yang sama dimana,

K_1 = konstanta 1.2 - 1.3

W_c = Launching weight of ship and launching device

g = gravitasi bumi 9.81 m/s²

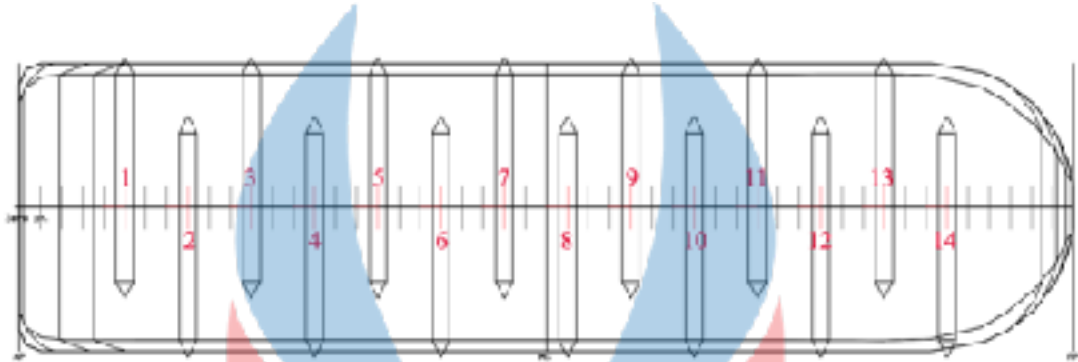
1.2

2136 ton

9.81 m/s²

CB = Block coefficient	0.922	
R = Airbag Load capacity per unit length	143.03	kN/m
Ld = Airbag Effective length	18	m
N_1 = Tambahan jumlah <i>airbag</i> yang dibutuhkan	3	pcs

Maka diperoleh jumlah *airbag* yang dibutuhkan untuk peluncuran *layout cross over arrangement* (N) adalah 14 pcs.



Gambar 2.8 Cross Over Arrangement

2.3. Status *Airbag* Terhadap Beban Konstruksi

Dari hasil perhitungan diatas, selanjutnya perlu didapatkan distribusi beban yang ditampung pada masing-masing *airbag* lalu dibandingkan dengan besaran maksimal *bearing capacity airbag*. Jika besaran distribusi beban yang diterima *airbag* lebih besar dari *bearing capacity* (daya tampung maksimal *airbag*) maka otomatis *airbag* tersebut akan mengalami pecah.

Untuk menghitung distribusi beban rata-rata yang diterima tiap *airbag* secara memanjang (q) kapal dapat dihitung dengan rumus :

$$q = \frac{P}{S} \quad (5)$$

Selanjutnya perlu diketahui berapa besaran beban yang ditampung masing- masing *airbag* dalam ton (P_1) dengan rumus :

$$P_1 = q \times x \quad (6)$$

Setelah itu distribusi beban rata - rata sesungguhnya yang diterima tiap *airbag* (q_1) dapat dihtung dengan persamaan :

$$q_1 = \frac{P_1}{B} \quad (7)$$

Diketahui jika,

P = Berat Konstruksi	2136	ton
S = Panjang kapal yang ditumpu <i>airbag</i>	74	m
x = Jarak antar <i>airbag</i>	5.49	m
B_1 = panjang efektif <i>two row arrangement airbag</i>	2 x 10	m
B_2 = panjang efektif <i>cross over arrangement airbag</i>	18	m
q_{bc} = <i>Bearing Capacity</i>	14.58	ton/m

Maka didapatkan nilai q dan P_1 sebagai berikut

$$q = 28.8 \text{ ton/m}$$

$$P_1 = 158.112 \text{ ton/m}^2$$

Pada kondisi dimana $q_1 < q_{bc}$, *airbag* tidak pecah. Sedangkan pada kondisi dimana $q_1 > q_{bc}$, maka *airbag* pecah. Distribusi beban yang diterima tiap *airbag* pada *layout two row arrangement* adalah q_1 7.9056 ton/m dan distribusi beban yang diterima tiap *airbag* pada *layout*

cross over arrangement adalah q_1 8.784 ton/m sehingga dapat dikatakan bahwa kondisi *airbag* yang dipasangkan pada tiap *layout* tidak ada yang mengalami pecah. Hal ini dikarenakan proses perhitungan jumlah akan *airbag* dilakukan berdasarkan *rule* yang ada, sehingga kondisi masing-masing *airbag* yang menumpu kapal semuanya aman (tidak pecah).

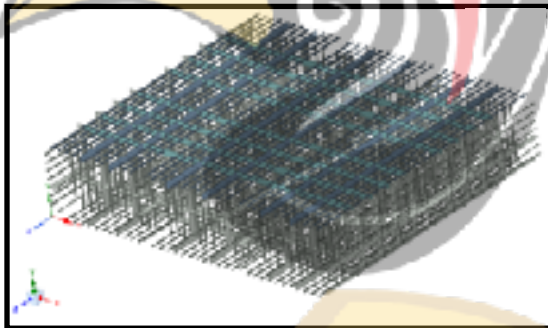
2.4. Permodelan Struktur Kapal

Permodelan struktur konstruksi kapal Tongkang 300 ft menggunakan data awal yang berasal dari gambar konstruksi *midship* dan *profile* seperti Gambar 4.1.1 dan 4.1.2 dengan menggunakan *software space claim*.

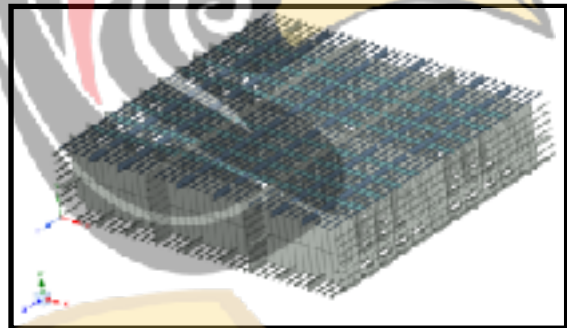
Adapun bentuk dan susunan konstruksi kapal yang dianalisa sebagai berikut,

- Model kapal yang dibuat hanya pada bagian *parallel middle body* dengan panjang konstruksi 21945,6 mm atau setara dengan 0.23 LPP kapal.
- Komponen konstruksi kapal yang dimodelkan adalah komponen yang berperan penting dalam kekuatan memanjang kapal antara lain,
 - Jenis baja yang digunakan adalah A36
 - Pelat deck dengan tebal 14 mm
 - Pelat sisi dengan tebal 11 mm
 - Pelat bottom dengan tebal 12.5 mm
 - Pelat sekat melintang dan memanjang dengan tebal 8 mm
 - Profil L sebagai pilar dengan ukuran 360 x 100 x 8 mm
 - Profil L dengan ukuran
 - 500 x 100 x 8 mm
 - 125 x 75 x 8 mm
- Dalam permodelan, Z menunjukkan panjang kapal, arah sumbu X menunjukkan lebar kapal dan arah sumbu Y menunjukkan tinggi kapal

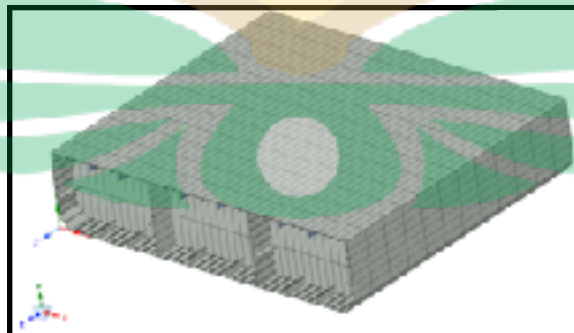
Maka diperoleh permodelan konstruksi kapal seperti pada Gambar 2.9, 2.10 dan 2.11



Gambar 2.9 Permodelan Konsturksi



Gambar 2.10 Permodelan Konsturksi dengan Sekat

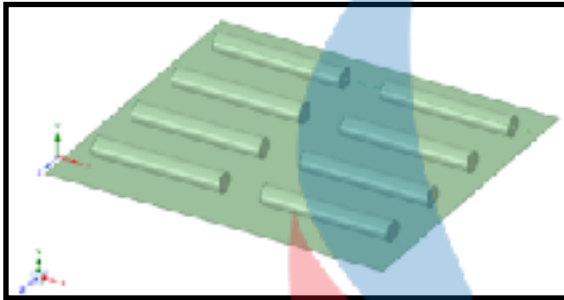


Gambar 2.11 Permodelan Konstruksi dengan Sekat dan Kulit Hull

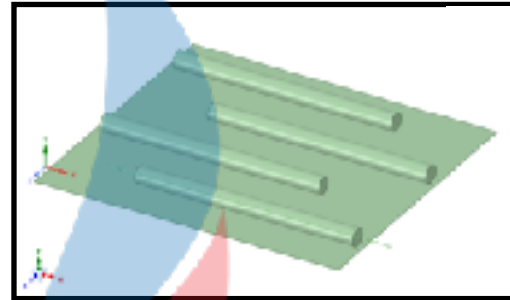
Pada penelitian ini digunakan 2 jenis material yaitu baja A36 untuk konstruksi dan Rubber untuk *airbag*.

2.5. Pemasangan Tumpuan *Airbag*

Airbag dimodelkan sesuai dengan data dan *layout airbag* yang telah ditentukan sebelumnya untuk peluncuran *layout two row* dan *cross over arrangement*. Sehingga diperoleh permodelan *airbag* seperti pada Gambar 2.12 dan 2.13.



Gambar 2.12 Permodelan *Layout Two Row Arrangement*

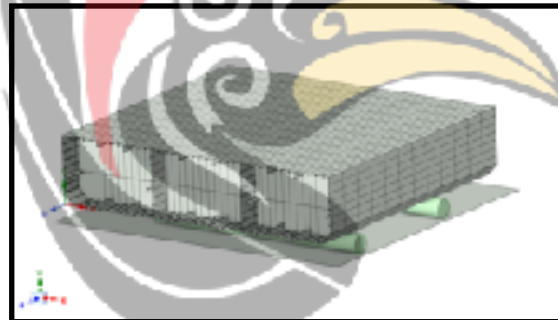


Gambar 2.13 Permodelan *Layout Cross Over Arrangement*

Kemudian pada Gambar 4.11.1 dan 4.11.2 berikut merupakan model konstruksi kapal yang telah digabungkan dengan tumpuan *airbag*.



Gambar 2.14 Permodelan *Layout Two Row Arrangement* dengan konstruksi



Gambar 2.15 Permodelan *Layout Cross Over Arrangement* dengan konstruksi

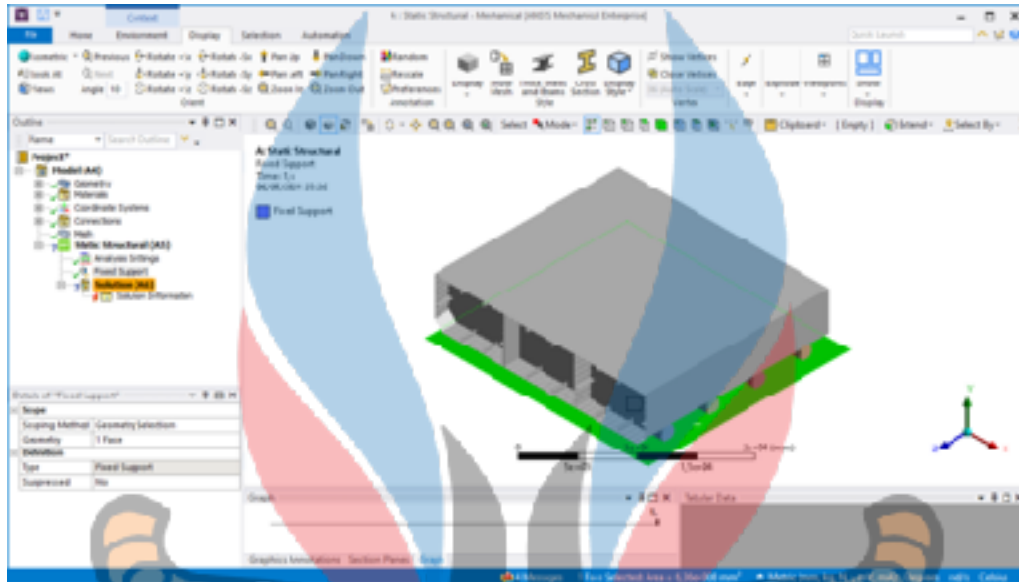
2.6. Konvergensi dan *Meshing*

Dalam aplikasi, salah satu rekomendasi untuk menentukan jumlah elemen dengan akurasi solusi yang bisa diterima dalam suatu analisis elemen hingga adalah dengan melakukan uji konvergensi (*convergence test*) terhadap solusi yang diperoleh. Dimisalkan untuk analisis tegangan pada suatu komponen, analisis awal dilakukan dengan ukuran/jumlah elemen tertentu, solusi diperoleh dengan menyelesaikan model yang digunakan. Analisis kemudian diulang dengan jumlah elemen yang lebih besar, nilai tegangan pada lokasi tertentu dibandingkan dengan hasil analisis sebelumnya. Jika perbedaan nilai tegangan antara kedua analisis tersebut cukup besar, maka analisis diulang lagi dengan jumlah elemen yang lebih besar sampai perbedaan tersebut dianggap cukup kecil.

Dari hasil konvergensi yang telah dilakukan, *element size (mesh size)* model yang digunakan adalah 205 mm. *Element size* hasil konvergensi ini digunakan pada setiap model yang akan dianalisis tegangannya. Hal ini dilakukan agar hasil solusi yang dihasilkan aplikasi mendekati hasil sebenarnya.

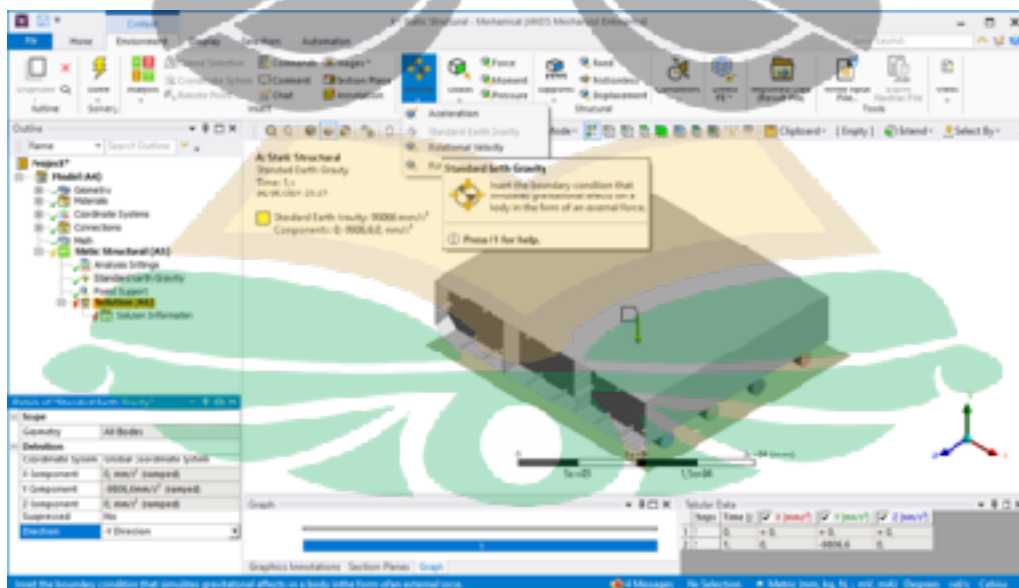
2.7. Tumpuan dan Pembebanan pada Model

Pada permodelan digunakan tumpuan *fix* yang diberikan kepada *face* landasan peluncuran (berwarna hijau) yang di atasnya diletakan *airbag* dan konstruksi kapal seperti pada Gambar 2.16. di bawah



Gambar 2.16 Pemasangan Tumpuan *Fixed Support* pada *Static Structural*

Pembebanan yang diaplikasikan pada model adalah berat konstruksi permodelan terhadap gaya gravitasi sebesar $9806,6 \text{ mm/s}^2$. Berat konstruksi yang telah dihitung secara otomatis pada *software* pada model sebesar 245,8 ton seperti pada Gambar 2.17 di bawah



Gambar 2.17 Pemilihan *Standar Earth Gravity* pada *Static Structural*

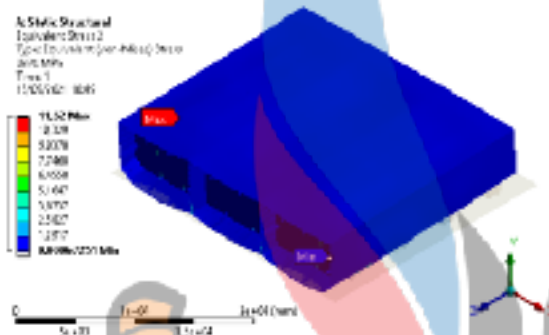
3. Hasil dan Pembahasan

Diketahui model 1 adalah *layout airbag* yang diletakan tepat pada setiap *frame* dan model 2 adalah *layout airbag* yang diletakan diantara *frame* dengan jarak antar *airbag* sama dengan model 1.

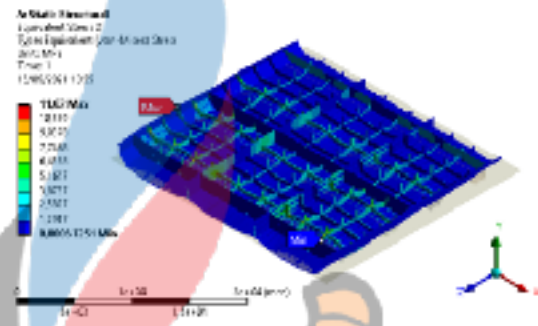
3.1. Tegangan dan Deformasi Global Model pada Variasi *Layout Airbag*

3.1.1. *Two Row Arrangement Model 1*

Setelah didapatkan hasil dari *solution*, maka diperoleh nilai tegangan dan deformasi minimum, maksimum dan rata-rata pada konstruksi kapal seperti pada Gambar 3.1 sampai dengan 3.4 berikut,



Gambar 3.1 Hasil Nilai Tegangan Konstruksi Global pada Layout *Two Row Arrangement Model 1*

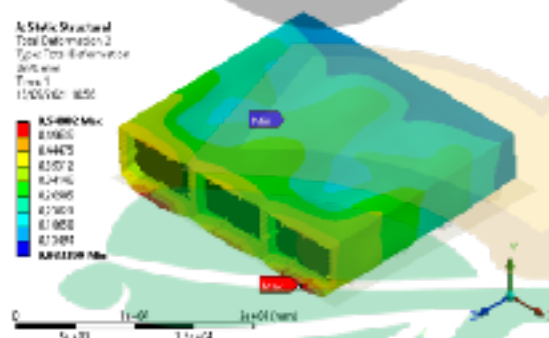


Gambar 3.2 Hasil Nilai Tegangan Konstruksi Global pada Layout *Two Row Arrangement Model 1*

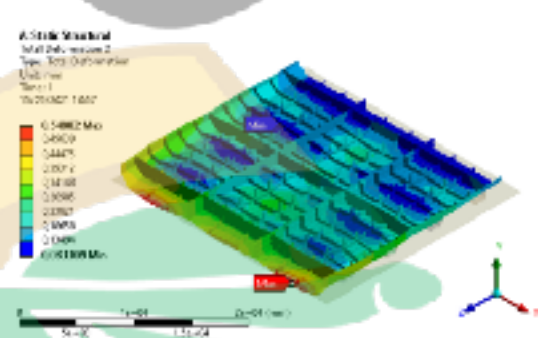
Hasil nilai tegangan yang dialami konstruksi kapal dimuat dalam Tabel 3.1 sebagai berikut

Tabel 3.1 Tabular Data Tegangan *Two Row Arrangement Model 1*

Minimum [MPa]	Maximum [MPa]	Average [MPa]
6.7251×10^{-4}	11.62	0.74899



Gambar 3.3 Hasil Nilai Deformasi Konstruksi Global pada Layout *Two Row Arrangement Model 1*



Gambar 3.4 Hasil Nilai Deformasi Konstruksi Global pada Layout *Two Row Arrangement Model 1*

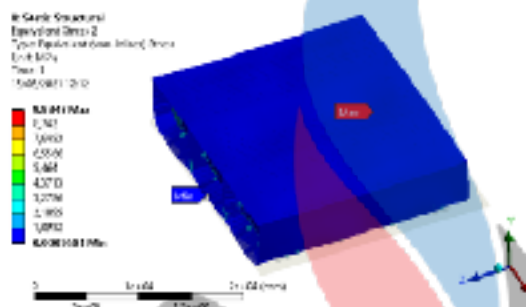
Hasil nilai deformasi yang dialami konstruksi kapal dimuat dalam Tabel 3.2 sebagai berikut

Tabel 3.2 Tabular Data Deformasi *Two Row Arrangement* Model 1

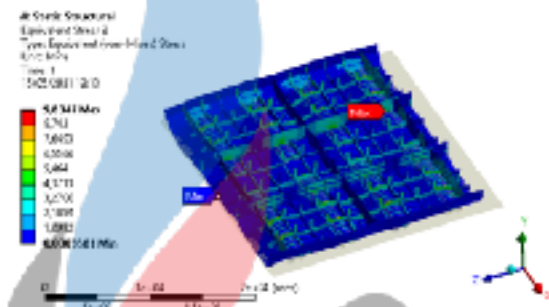
Minimum [mm]	Maximum [mm]	Average [mm]
8.3309×10^{-2}	0.54802	0.23775

3.1.2. *Two Row Arrangement* Model 2

Setelah didapatkan hasil dari *solution*, maka diperoleh nilai tegangan dan deformasi minimum, maksimum dan rata-rata pada konstruksi kapal seperti pada Gambar 3.5 sampai dengan 3.8 berikut,



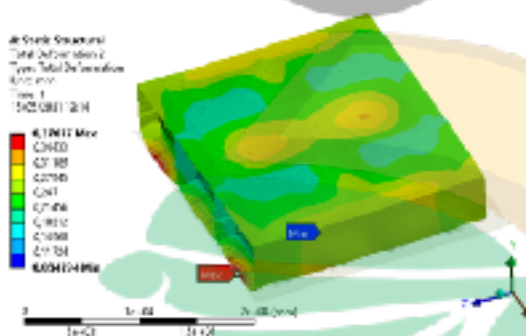
Gambar 3.5 Hasil Nilai Tegangan Konstruksi Global pada Layout *Two Row Arrangement* Model 2



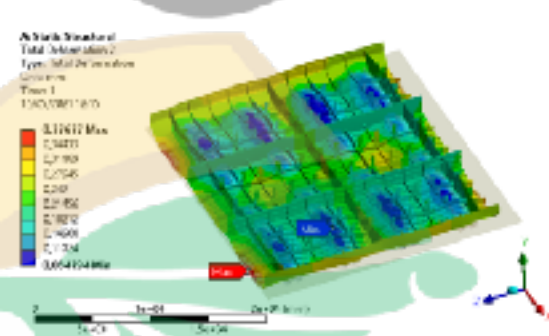
Gambar 3.6 Hasil Nilai Tegangan Konstruksi Global pada Layout *Two Row Arrangement* Model 2

Hasil nilai tegangan yang dialami konstruksi kapal dimuat dalam Tabel 3.3 sebagai berikut
Tabel 3.3 Tabular Data Tegangan *Two Row Arrangement* Model 2

Minimum [MPa]	Maximum [MPa]	Average [MPa]
5.681×10^{-4}	9.8347	0.72484



Gambar 3.7 Hasil Nilai Deformasi Konstruksi Global pada Layout *Two Row Arrangement* Model 2



Gambar 3.8 Hasil Nilai Deformasi Konstruksi Global pada Layout *Two Row Arrangement* Model 2

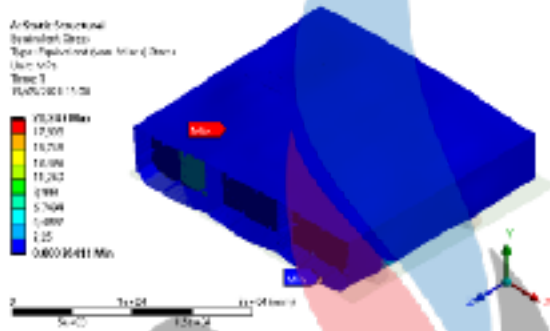
Hasil nilai deformasi yang dialami konstruksi kapal dimuat dalam Tabel 3.4 sebagai berikut

Tabel 3.4 Tabular Data Deformasi *Two Row Arrangement* Model 2

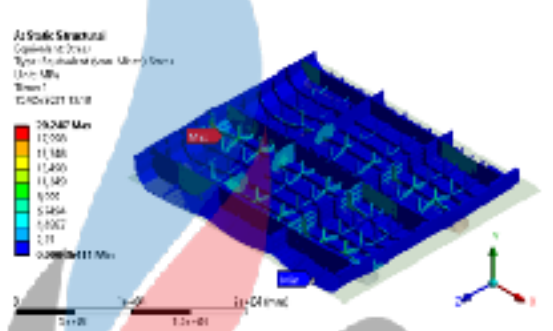
Minimum [mm]	Maximum [mm]	Average [mm]
8.4794×10^{-2}	0.37677	0.22592

3.1.3. Cross Over Arrangement Model 1

Setelah didapatkan hasil dari *solution*, maka diperoleh nilai tegangan dan deformasi minimum, maksimum dan rata-rata pada konstruksi kapal seperti pada Gambar 3.9 sampai dengan 3.12 berikut,



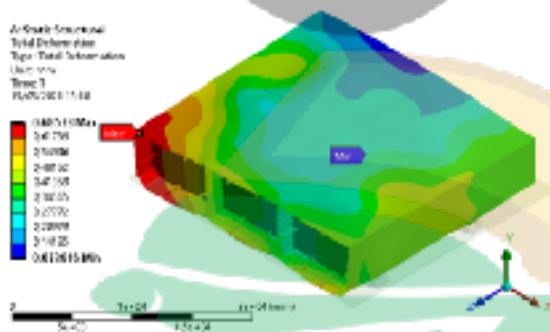
Gambar 3.9 Hasil Nilai Tegangan Konstruksi Global pada Layout *Cross Over Arrangement* Model 1



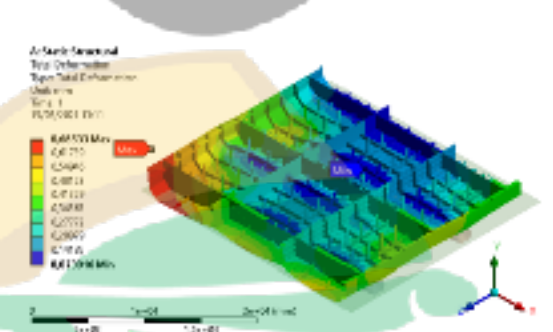
Gambar 3.10 Hasil Nilai Tegangan Konstruksi Global pada Layout *Cross Over Arrangement* Model 1

Hasil nilai tegangan yang dialami konstruksi kapal dimuat dalam Tabel 3.5 sebagai berikut
Tabel 3.5 Tabular Data Tegangan *Cross Over Arrangement* Model 1

Minimum [MPa]	Maximum [MPa]	Average [MPa]
3.6411×10^{-4}	20.247	0.96551



Gambar 3.11 Hasil Nilai Deformasi Konstruksi Global pada Layout *Cross Over Arrangement* Model 1



Gambar 3.12 Hasil Nilai Deformasi Konstruksi Global pada Layout *Cross Over Arrangement* Model 1

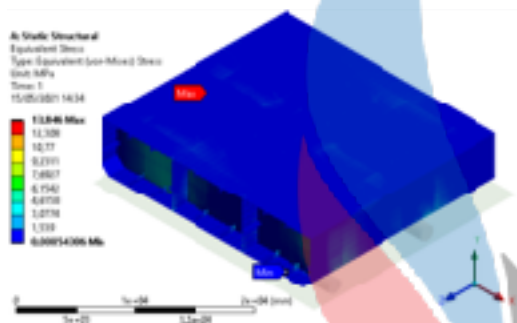
Hasil nilai deformasi yang dialami konstruksi kapal dimuat dalam Tabel 3.6 sebagai berikut

Tabel 3.6 Tabular Data Deformasi *Cross Over Arrangement* Model 1

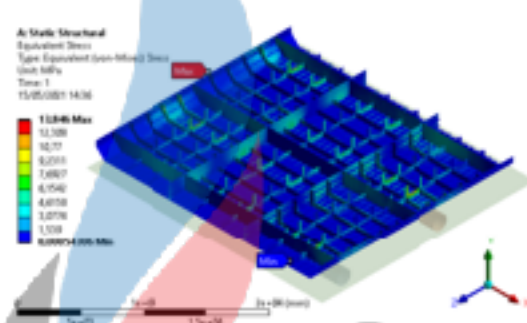
Minimum [mm]	Maximum [mm]	Average [mm]
7.3916×10^{-2}	0.68533	0.30223

3.1.4. *Cross Over Arrangement* Model 2

Setelah didapatkan hasil dari *solution*, maka diperoleh nilai tegangan dan deformasi minimum, maksimum dan rata-rata pada konstruksi kapal seperti pada Gambar 3.13 sampai dengan 3.16 berikut,



Gambar 3.13 Hasil Nilai Tegangan Konstruksi Global pada Layout *Cross Over Arrangement* Model 2

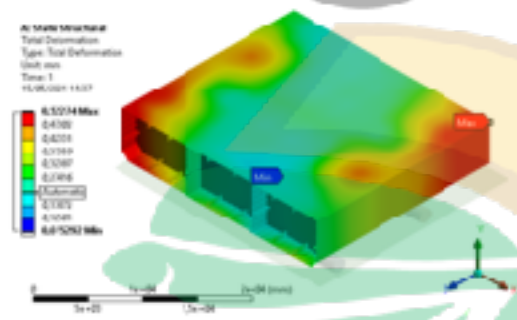


Gambar 3.14 Hasil Nilai Tegangan Konstruksi Global pada Layout *Cross Over Arrangement* Model 2

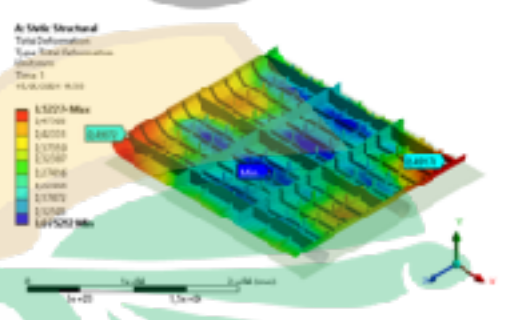
Hasil nilai tegangan yang dialami konstruksi kapal dimuat dalam Table 3.6 sebagai berikut

Tabel 3.6 Tabular Data Tegangan *Cross Over Arrangement* Model 2

Minimum [MPa]	Maximum [MPa]	Average [MPa]
5.4306×10^{-4}	13.846	0.96373



Gambar 3.15 Hasil Nilai Deformasi Konstruksi Global pada Layout *Cross Over Arrangement* Model 2



Gambar 3.16 Hasil Nilai Deformasi Konstruksi Global pada Layout *Cross Over Arrangement* Model 2

Hasil nilai deformasi yang dialami konstruksi kapal dimuat dalam Tabel 3.7 sebagai berikut

Tabel 3.7 Tabular Data Deformasi *Cross Over Arrangement* Model 2

Minimum [mm]	Maximum [mm]	Average [mm]
7.5292×10^{-2}	0.52274	0.28904

3.2. Tegangan dan Deformasi Lokal Konstruksi Bottom Model pada Variasi *Layout Airbag*

Selain hasil tegangan dan defromasi secara global pada seluruh konstruksi model kapal, dilakukan pengambilan sample pada 4 titik pada bagian konstruksi *bottom* ketika ditumpu dan tidak ditumpu oleh *airbag*. Titik tersebut berlokasi sama pada setiap model dan layout yaitu pada logitudinal *bottom girder* lambung sebelah kiri. Diketahui jika sumbu X, Y dan Z pada model adalah seperti pada Gambar 2.14 dan 2.15 maka, titik koordinat X, Y, dan Z ditunjukkan pada Tabel 3.8 berikut,

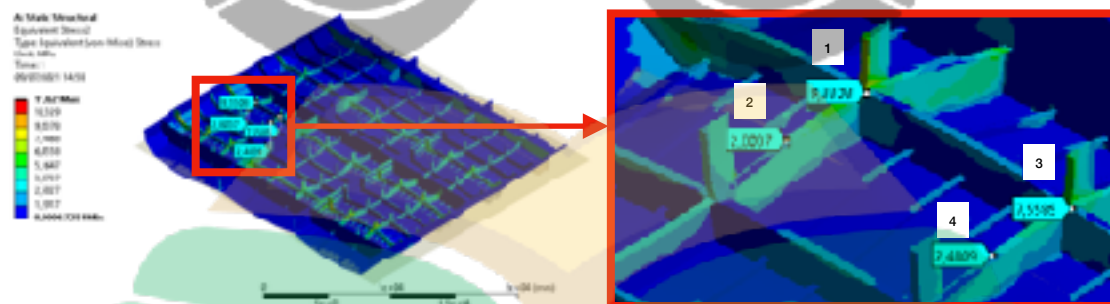
Tabel 3.8 Koordinat Titik Acuan pada Konstruksi *Bottom*

Titik	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	3050	512.5	10972.8
2	3050	512.5	10058.4
3	6050	512.5	10972.8
4	6050	512.5	10058.4

Kemudian Tabel 3.8 di atas digunakan pada setiap *layout* dan model sehingga didapatkan hasil seperti berikut

3.2.1. *Two Row Arrangement* Model 1

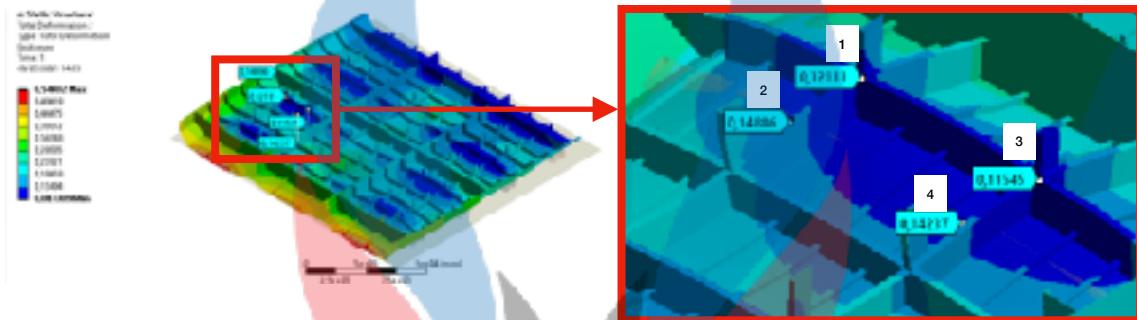
Dengan menggunakan koordinat tersebut pada *layout two row arrangement* model 1, maka didapatkan hasil tegangan dan deformasi seperti Gambar 3.17 dan 3.18 sebagai berikut

Gambar 3.17 Hasil Tegangan pada Koordinat Titik Acuan *Layout Two Row Arrangement* Model 1

Hasil nilai tegangan yang dialami konstruksi *bottom* kapal pada titik acuan *two row arrangement* model 1 dimuat dalam Table 3.8 sebagai berikut

Tabel 3.8 Tabular Data Tegangan pada Titik Acuan *Two Row Arrangement* Model 1

Titik	Tegangan (MPa)
1	9.3308
2	2.8037
3	7.5585
4	2.4809



Gambar 3.18 Hasil Deformasi pada Koordinat Titik Acuan *Layout Two Row Arrangement* Model 1

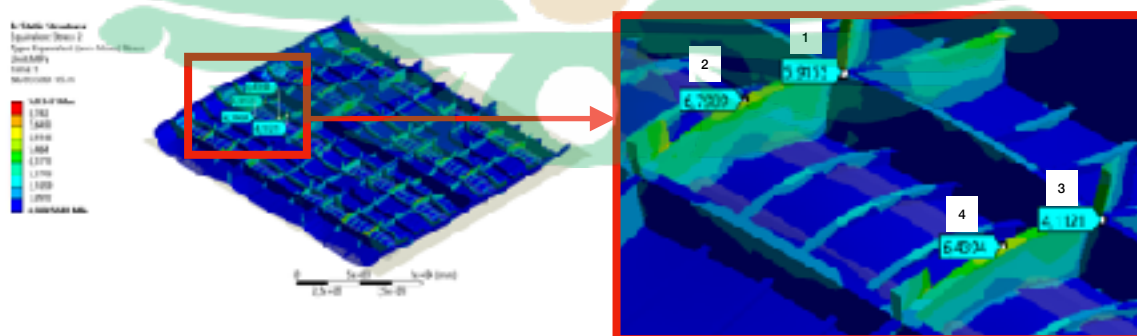
Hasil nilai deformasi yang dialami konstruksi *bottom* kapal pada titik acuan *two row arrangement* model 1 dimuat dalam Table 3.9 sebagai berikut

Tabel 3.9 Tabular Data Deformasi pada Titik Acuan *Two Row Arrangement* Model 1

Titik	Deformasi (mm)
1	0.1211
2	0.14886
3	0.11545
4	0.14237

3.2.2. *Two Row Arrangement* Model 2

Dengan menggunakan koordinat tersebut pada *layout two row arrangement* model 2, maka didapatkan hasil tegangan dan deformasi seperti Gambar 3.19 dan 3.20 sebagai berikut

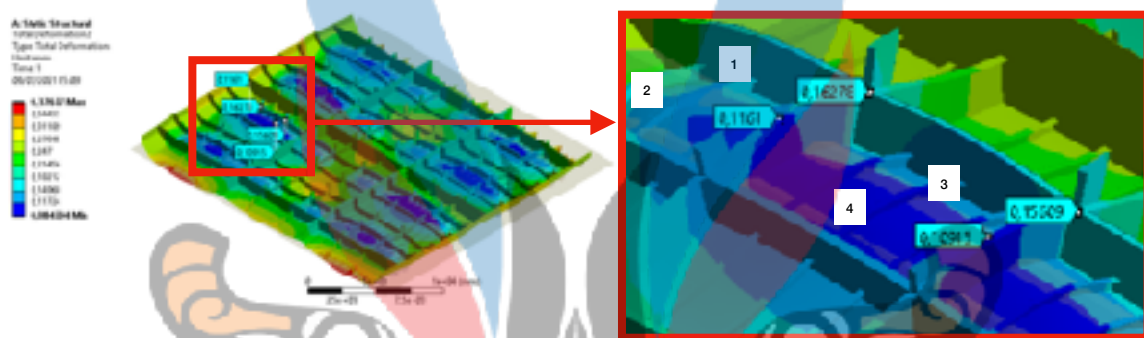


Gambar 3.19 Hasil Tegangan pada Koordinat Titik Acuan *Layout Two Row Arrangement* Model 2

Hasil nilai tegangan yang dialami konstruksi *bottom* kapal pada titik acuan *two row arrangement* model 2 dimuat dalam Table 3.10 sebagai berikut

Tabel 3.10 Tabular Data Tegangan pada Titik Acuan *Two Row Arrangement* Model 2

Titik	Tegangan (MPa)
1	5.9153
2	6.7989
3	4.1121
4	6.4394



Gambar 3.20 Hasil Deformasi pada Koordinat Titik Acuan *Layout Two Row Arrangement* Model 2

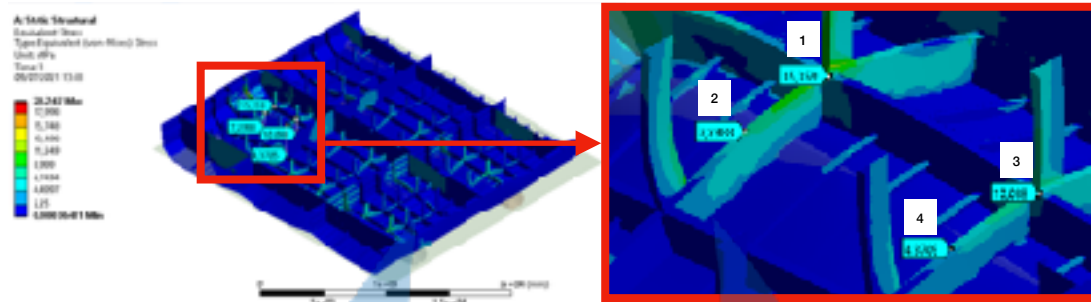
Hasil nilai deformasi yang dialami konstruksi *bottom* kapal pada titik acuan *two row arrangement* model 2 dimuat dalam Table 3.11 sebagai berikut

Tabel 3.11 Tabular Data Deformasi pada Titik Acuan *Two Row Arrangement* Model 2

Titik	Deformasi (mm)
1	0.16278
2	0.1161
3	0.15609
4	0.10915

3.2.3. Cross Over Arrangement Model 1

Dengan menggunakan koordinat tersebut pada *layout cross over arrangement* model 1, maka didapatkan hasil tegangan dan deformasi seperti Gambar 3.21 dan 3.22 sebagai berikut



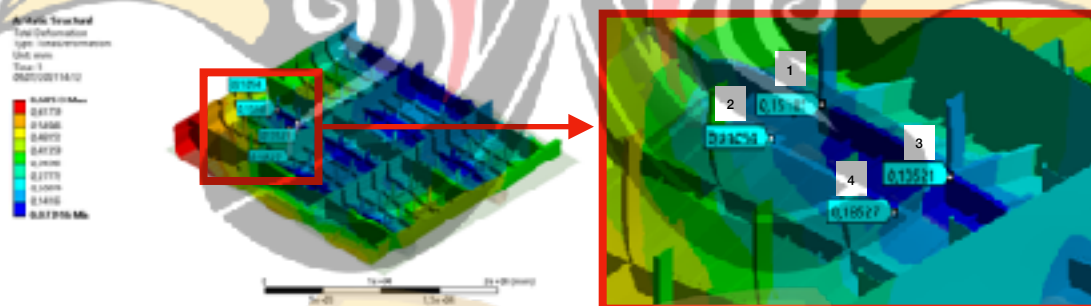
Gambar 3.21 Hasil Tegangan pada Koordinat Titik Acuan *Layout Cross Over Arrangement* Model 1

Hasil nilai tegangan yang dialami konstruksi *bottom* kapal pada titik acuan *cross over arrangement* model 1 dimuat dalam Table 3.12 sebagai berikut

Tabel 3.12 Tabular Data Tegangan pada Titik Acuan *Cross Over Arrangement* Model 1

Titik	Tegangan (MPa)
1	15.359
2	7.2988
3	10.088
4	4.3705

Hasil nilai deformasi yang dialami konstruksi *bottom* kapal pada titik acuan *cross over*



Gambar 3.22 Hasil Deformasi pada Koordinat Titik Acuan *Layout Cross Over Arrangement* Model 1

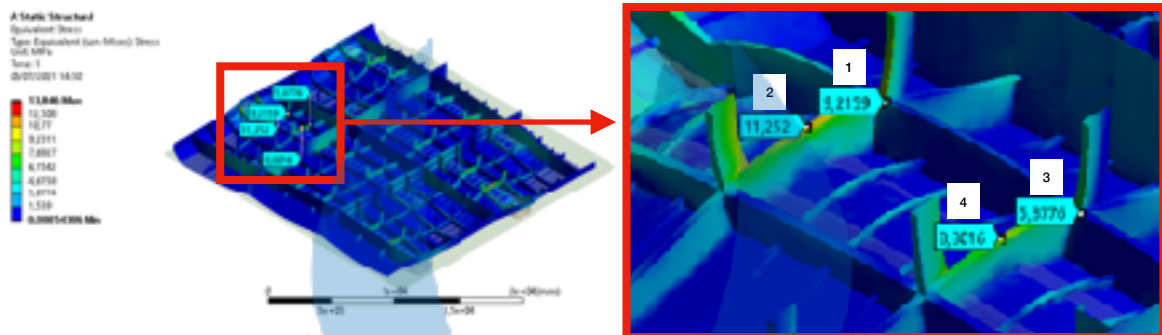
arrangement model 1 dimuat dalam Table 3.13 sebagai berikut

Tabel 3.13 Tabular Data Deformasi pada Titik Acuan *Cross Over Arrangement* Model 1

Titik	Deformasi (mm)
1	0.15181
2	0.21054
3	0.13521
4	0.18527

3.2.4. Cross Over Arrangement Model 2

Dengan menggunakan koordinat tersebut pada *layout cross over arrangement* model 2, maka didapatkan hasil tegangan dan deformasi seperti Gambar 3.23 dan 3.24 sebagai berikut

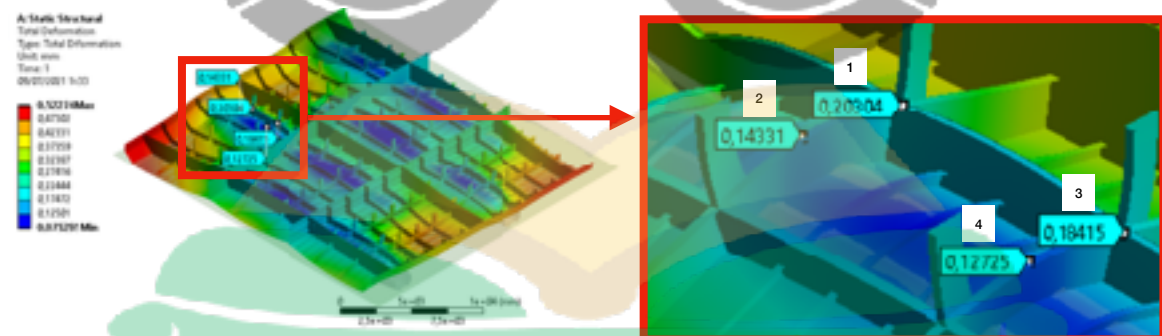


Gambar 3.23 Hasil Tegangan pada Koordinat Titik Acuan *Layout Cross Over Arrangement* Model 2

Hasil nilai tegangan yang dialami konstruksi *bottom* kapal pada titik acuan *cross over arrangement* model 2 dimuat dalam Table 3.14 sebagai berikut

Tabel 3.14 Tabular Data Tegangan pada Titik Acuan *Cross Over Arrangement* Model 2

Titik	Tegangan (MPa)
1	9.2159
2	11.252
3	5.8776
4	8.8016



Gambar 3.24 Hasil Deformasi pada Koordinat Titik Acuan *Layout Cross Over Arrangement* Model 2

Hasil nilai deformasi yang dialami konstruksi *bottom* kapal pada titik acuan *cross over arrangement* model 2 dimuat dalam Table 3.15 sebagai berikut

Tabel 4.22 Tabular Data Deformasi pada Titik Acuan *Cross Over Arrangement* Model 2

Titik	Deformasi (mm)
1	0.20304
2	0.14331
3	0.18415
4	0.12725

3.3. Tegangan Euler

Dengan menggunakan persamaan 2.17 diperoleh nilai Tegangan Tekuk Euler (σ_E) dimana,

σ_E = tegangan tekuk Euler (N/mm²)

b = lebar terkecil dari pelat

E = modulus elastisitas

t_1 = ketebalan pelat bottom

t_2 = ketebalan pelat deck

t_3 = ketebalan pelat sisi

ν = *Poisson's ratio*, $\nu = 0.3$

k = Konstanta tergantung pada kondisi batas pelat dan rasio aspek (rasio b) untuk $a/b > 1$, $k = 4$

1828.8	mm
200000	N/mm ²
12.5	mm
14	mm
11	mm
0.3	
4	

maka diperoleh hasil untuk jarak frame 1828.8 mm pada pelat *bottom* tegangan tekuk Euler sebesar 42.18 N/mm², pada pelat *deck* sebesar 52.91 N/mm² dan pada pelat sisi sebesar 32.66 N/mm².

3.4. Analisa Kekuatan Konstruksi Global pada Model

3.4.1 Tegangan

Dari hasil perhitungan tegangan dengan menggunakan *software* berbasis elemen hingga pada konstruksi global model, didapatkan bahwa tegangan maksimum berada pada bagian *bottom* kapal. Tegangan maksimum yang diperoleh dari masing-masing *layout* dan model kemudian dibandingkan dengan tegangan *ultimate*, *yield* material menurut sertifikat material berdasarkan BKI Vol V 2019 *Sec 4 B 6.5* dan tekuk Euler seperti pada Tabel 4.25 berikut,

Tabel 4.25 Perbandingan Tegangan Maksimum Model dengan Tegangan *Ultimate*, *Yield* dan Tekuk Euler

No	Layout	Tegangan Maksimum Simulasi [MPa]	Tegangan <i>Ultimate</i> Material [MPa]	Tegangan <i>Yield</i> Material [MPa]	Tegangan Tekuk Euler [MPa]	Status Tegangan
1	<i>Two Row Model 1</i>	11.62	440	355	42.18	Memenuhi

2	<i>Two Row Model 2</i>	9.8347	440	335	42.18	Memenuhi
3	<i>Cross Over Model 1</i>	20.247	440	335	42.18	Memenuhi
4	<i>Cross Over Model 2</i>	13.846	440	335	42.18	Memenuhi

3.4.2 Deformasi

Berdasarkan hasil pengamatan simulasi, defromasi yang terjadi adalah berupa bending atau tekukan yang menyebabkan pelat dan profil mengalami cekungan dengan kedalaman tertentu. Dari hasil perhitungan deformasi dari konstruksi global model dengan menggunakan *software* berbasis elemen hingga diperoleh deformasi maksimum pada masing-masing layout dan model yang kemudian dibandingkan dengan deformasi ijin BKI Vol II 2019 *Sec. 3 F 3.1* maka didapatkan Tabel 26 sebagai berikut,

Tabel 4.26 Status Kedalaman Deformasi

No	Layout	Kedalaman Deformasi [mm]	Batas Deformasi [mm]	Status
1	<i>Two Row Model 1</i>	0.548	10	Aman
2	<i>Two Row Model 2</i>	0.37677	10	Aman
3	<i>Cross Over Model 1</i>	0.68533	10	Aman
4	<i>Cross Over Model 2</i>	0.52274	10	Aman

3.5 Analisa Kekuatan Lokal pada Konstruksi *Bottom*

3.5.1 Tegangan

Berdasarkan hasil pengamatan titik acuan pada konstuksi *bottom* untuk setiap *layout* dan model pada Gambar 4.20.1, 4.21.1, 4.22.1 dan 4.23.1, didapatkan bahwa ketika *airbag* menekan konstruksi *bottom* pada *frame* (model 1) maupun diantara *frame* (model 2), dihasilkan tegangan yang lebih besar dari pada daerah-daerah yang tidak ditumpu *airbag* (tidak tertekan *airbag*). Sehingga bisa dinyatakan bahwa tegangan yang dihasilkan ketika konstruksi *bottom* kapal terkena *airbag* adalah lebih besar dari pada bagian konstruksi yang tidak terkena *airbag*.

3.5.2 Deformasi

Berdasarkan hasil pengamatan titik acuan ada konstuksi *bottom* untuk setiap *layout* dan model pada Gambar 4.20.2, 4.21.2, 4.22.2 dan 4.23.2, didapatkan bahwa ketika *airbag* menekan konstruksi *bottom* pada *frame* (model 1) maupun diantara *frame* (model 2), dihasilkan deformasi yang lebih kecil dari pada daerah-daerah yang tidak ditumpu *airbag*. Sehingga bisa dinyatakan bahwa deformasi yang dihasilkan ketika konstruksi *bottom* kapal terkena *airbag* adalah lebih kecil dari pada bagian konstruksi yang tidak terkena *airbag*.

3.6 Safety Factor Konstruksi

Material yang digunakan adalah pelat baja A36 dan perhitungan *safety factor* mengacu pada sertifikat material berdasarkan BKI Vol V 2019 *Sec 4 B 6.5*. Perhitungan *safety factor* (*SF*) dilakukan dengan membandingkan hasil tegangan simulasi dengan tegangan *yiled* sertifikat material seperti pada persamaan berikut,

$$SF = \frac{\text{Tegangan Yiled Material}}{\text{Tegangan Simulasi}} \quad (8)$$

Sehingga didapatkan hasil perhitungan *safety factor* seperti pada Tabel 4.27 berikut,

Tabel 4.27 Perhitungan *Safety Factor* Menurut Sertifikat Material BKI

<i>Layout</i>	Tegangan Maksimum Simulasi [MPa]	Tegangan <i>Ultimate</i> Material [MPa]	Tegangan <i>Yield</i> Material [MPa]	<i>Safety Factor</i>	Keterangan
<i>Two Row Model 1</i>	11.62	440	355	30.55	Aman
<i>Two Row Model 2</i>	9.8347	440	335	34.06	Aman
<i>Cross Over Model 1</i>	20.247	440	335	16.55	Aman
<i>Cross Over Model 2</i>	13.846	440	335	24.19	Aman

Didapatkan nilai *safety factor* seperti pada Tabel 4.27 yang berarti nilai tersebut diatas standar keamanan material yaitu 1. Sehingga dapat dikatakan bahwa status konstruksi kapal adalah aman jika ditumpu *airbag* ketika akan melakukan peluncuran.

4. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil perhitungan dan pengujian yang telah dilakukan sebelumnya maka dapat dihasilkan kesimpulan bahwa :

1. Jumlah *airbag* yang digunakan pada *layout two row* dan *cross over arrangement* adalah 14 buah dan 28 dengan jarak antar *airbag* yang bernilai 5.49 m. Status *airbag* pada *layout two row* dan *cross over arrangement* terhadap pembebanan adalah aman, tidak pecah atau mampu menahan berat konstruksi kapal.
2. Dari hasil simulasi ini didapatkan bahwa tegangan lebih besar terjadi pada daerah *bottom* kapal yang bersentuhan langsung dengan *airbag*. Tegangan maksimum yang terjadi pada konstruksi kapal secara global masih dalam keadaan memenuhi atau di bawah tegangan yang diijinkan. Kemudian deformasi yang dihasilkan dari simulasi menyatakan bahwa deformasi lebih besar terjadi pada daerah-daerah yang tidak ditumpu oleh *airbag*. Hasil nilai deformasi maksimum yang dihasilkan pada konstruksi kapal secara global untuk *layout two row* dan *cross over arrangement* masih di bawah deformasi ijin BKI.
3. *Safety Factor* yang dihasilkan dari perbandingan tegangan *yield* material terhadap tegangan maksimal simulasi menyatakan bahwa peluncuran dengan menggunakan *air bag* pada *layout two row* dan *cross over arrangement* adalah aman untuk konstruksi kapal. Nilai *safety factor* terkecil untuk *layout two row arrangement* adalah 30 dan *layout cross over arrangement* adalah 16.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan berlimpah terimakasih kepada Tuhan YME, Orangtua, Keluarga, Bapak/Ibu Dosen ITK maupun Program Studi Teknik Perkapalan, Senior, serta keluarga besar ENDEAVOUR 17 yang selalu mendukung selama proses perkuliahan.

Daftar Pustaka

- Aziz, Bahtiyar. 2019. Analisa Kebutuhan *Airbag* Untuk Peluncuran Kapal Ponton di PT Kukar Mandiri Shipyard. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Bangunan Kapal PPNS : Surabaya
- Biro Klaifikasi Indonesia. 2019. *Rules for Hull Volume II part 1*. BKI. Indonesia
- Biro Klaifikasi Indonesia. 2019. *Rules for Material Volume V part 1*. BKI. Indonesia

- CB/T 3837-1998 *Technological Requirements for ship Upgrading or Launching Relying on Airbags (Shipbuilding Industry Standard, PRC)*
- CB/T 3795-1996 / CB/T 3795-2009 *Airbag for ship up to or down to launching way (Shipbuilding Industry Standard, PRC)*
- Cahyo, Indro Dwi. 2014. Fungsi Kurva Bonjean Pada Peluncuran Kapal Secara End Launching. PSD III Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
- Huges, Owen F., Joem Kee Paik. 2010. *Ship Structural Analysis and Desain. The Society of Naval Architects and Marine Engineers* 601 Pavonia Avenue, Jersey City : New Jerrsey 07306
- Irwanto, Zulis, Navik Puryantini, Bahrudin Ali, Budi Setyo Prasodjo. 2019. Kajian Eksperimental Peluncuran Kapal Menggunakan *Airbag*. P-ISSN 1410-3680 / E-ISSN 2541-1233. Deputi Teknologi Industri Rancang Bangun dan Rekayasa – BPPT : Balai Teknologi Hidrodinamika
- ISO 14409:2011 *Ships and marine technology — Ship launching airbags*
- ISO 17682:2013 *Ships and marine technology — Methodology for ship launching utilizing airbags*
- Limbong, Sucipto Riady. 2016. Analisa ASTM A36 Akibat Pengaruh Suhu dan *Quenching* Terhadap Nilai Ketangguhannya. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 43 Tahun 1965 Tentang Penyelenggaraan dan Pengawasan Perindustrian Maritim.
- Rahma, Saeni. 2019. Penentuan Kebutuhan dan Tata Letak *Airbag* pada Peluncuran Kapal Tongkang 280 FT. Tugas Akhir. Politeknik Batam
- Rauf, Abdul. 2015. Analisis Kekuatan Struktur Kapal pada saat Peluncuran (kasus Peluncuran Nesitor VII). Tugas Akhir. Program Studi Teknik Perkapalan Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Univeristas Hasanuddin Makassar
- Shah, Chandresh. 2002. *Mesh Discretization Error and Criteria for Accuracy of Finite Element Solutions*.
- Shama, M. 2013. *Buckling of Ship Structures*. New York : Springer.
- Volenyuk, L. S., A. S. Rashkovskiy. 2017. *Ship Stability Analysis During Launching From Longitudinal Sloping Slipway by Pneumatic Airbags*. Department of Shipbuilding Technology, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev, 54025, Ukraine
- Wisnawa, Tri Sukrisna. 2017. Analisa Risiko Terjadinya Kerusakan Kapal Pada Proses Penurunan Dengan Metode Airbag. Tugas Akhir. Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Instirur Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- Žgomba, Daniel. 2019. *Longitudinal Ship Launching*. ISSN 0554-6397 Stručni članak Professional paper. University of Rijeka, Faculty of Engineering, Vukovarska 58, 51000 Rijeka, Croatia